



**TICYANE PEREIRA FREIRE SABINO**

**MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS COMO REFORÇO EM  
TIJOLO SOLO-CIMENTO**

**LAVRAS-MG**

**2019**

**TICYANE PEREIRA FREIRE SABINO**

**MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS COMO REFORÇO EM TIJOLO SOLO-  
CIMENTO**

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

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes  
Orientador  
Prof. Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro  
Co-orientador

**LAVRAS-MG**

**2019**

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

Sabino, Ticyane Pereira Freire.

    Materiais lignocelulósicos como reforço em tijolo solo-cimento  
/ Ticyane Pereira Freire Sabino. - 2019.  
    84 p.

    Orientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

    Coorientador(a): André Geraldo Cornélio Ribeiro.

    Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

    Bibliografia.

    1. Conforto térmico. 2. compósito. 3. tijolo ecológico. I.  
Mendes, Rafael Farinassi. II. Ribeiro, André Geraldo Cornélio. III.  
Título.

**TICYANE PEREIRA FREIRE SABINO**

**MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS COMO REFORÇO EM TIJOLO SOLO-  
CIMENTO**

**LIGNOCELLULOSIC MATERIALS AS REINFORCEMENT IN BRICK SOIL-  
CEMENT**

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

APROVADA em 18 de fevereiro de 2019  
Dr. Rafael Farinassi Mendes – UFLA  
Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa - UFLA  
Dr. David Cardoso Dourado - UNIFESSPA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes  
Orientador  
Prof. Dr. André Geraldo Cornélio Ribeiro  
Co-orientador

**LAVRAS-MG**

**2019**

*Aos meus pais e ao meu marido.  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por mais essa conquista e peço a ele que me dê sabedoria para conquistar muito mais. A Nossa Senhora por interceder a Deus por mim e sempre estar ao meu lado.

Aos meus pais e meus irmãos agradeço pelo carinho e por todo apoio, agradeço ainda por não medirem esforços para que eu chegasse até aqui. Ao meu afilhado, Joaquim, por alegrar meus dias.

Ao meu marido Paulo Henrique por todo carinho e por sempre me impulsionar em direção às vitórias dos meus desafios.

A todos os amigos e familiares que compartilharam da minha caminhada e àqueles que mesmo distantes torceram por mim.

Ao Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes pela orientação, atenção, pela amizade e generosidade ao me ajudar em todas as etapas deste e demais trabalhos.

Agradeço a todos os amigos e colegas que tive a oportunidade de trabalhar durante todo o mestrado, em especial à Nayhara, Nayane, Nayra, Carol, Stefânia, Juliana, Alan e Tony por me ajudarem sempre que precisei.

Agradeço também a Universidade Federal de Lavras, a FAPEMIG, CAPES e CNPq por disponibilizar uma excelente estrutura para o desenvolvimento do meu trabalho, bem como pela concessão da bolsa de estudo.

Finalmente, a todos que fizeram parte diretamente ou indiretamente desta minha jornada, os meus mais sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Os tijolos solo-cimento são formados pela mistura de solo, cimento e água, que após a homogeneização passam pelo processo de prensagem e tem seu processo de cura em temperatura ambiente, o que o torna um produto ecológico por dispensar o processo de queima. O resultado é um produto com boas propriedades físico-mecânicas aplicadas nas mais diversas obras do mundo a fora. Uma alternativa que vem sendo estudada objetivando estabilizar o solo utilizado na fabricação dos tijolos é a incorporação de materiais lignocelulósicos, devido as boas propriedades do material e fácil obtenção, uma vez que são produzidos em grande quantidade e não apresentam muitas das vezes uma destinação adequada. Dentro desse contexto, este estudo visou avaliar diferentes tipos e porcentagens de partículas vegetais sobre as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e microestruturais do tijolo solo-cimento. Foram caracterizadas as propriedades químicas, de retração, compactação, limites de consistência e granulometria para o solo, as propriedades anatômicas, químicas e físicas para as partículas lignocelulósicas. Foram avaliados tijolos produzidos com partículas de bambu, casca de arroz e casca de café nas porcentagens de 1,5 e 3,0%, além de um tratamento controle sem utilização de partícula. Os tijolos foram prensados em uma prensa automática para adquirir o tamanho desejado e foram caracterizados quanto à densidade, absorção de água, porosidade, perda de massa por imersão, ensaio de durabilidade, resistência à compressão e condutibilidade térmica. Pode-se concluir que os tijolos produzidos com 3,0% de casca de arroz apresentaram os melhores resultados comparado aos demais tratamentos. Os materiais lignocelulósicos geraram impactos significativos na resistência mecânica, absorção de água e porosidade dos tijolos. A inclusão da casca de arroz, casca de café e bambu melhorou significativamente as propriedades de isolamento térmico dos mesmos.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, compósito, tijolo ecológico, resíduos vegetais.

## ABSTRACT

The soil-cement bricks are formed by the mixture of soil, cement and water, which after the homogenization pass through the pressing process and has its curing process at room temperature, which makes it an ecological product because it does not burn. The result is a product with good physical-mechanical properties applied in the most diverse works of the world outside. An alternative that has been studied aiming to stabilize the soil used in the manufacture of bricks is the incorporation of lignocellulosic materials, due to the good properties of the material and easy to obtain, since they are produced in large quantity and do not often have a suitable destination. In this context, this study aimed to evaluate different types and percentages of plant particles on the physical, mechanical, thermal and microstructural properties of soil-cement brick. The chemical properties, retraction, compaction, limits of consistency and granulometry for the soil, the anatomical, chemical and physical properties for the lignocellulosic particles were characterized. Bricks produced with bamboo particles, rice hulls and coffee husks were evaluated in percentages of 1.5 and 3.0%, in addition to a control treatment without particle use. The bricks were pressed in an automatic press to achieve the desired size and were characterized for density, water absorption, porosity, immersion loss, durability test, compressive strength and thermal conductivity. It can be concluded that the bricks produced with 3.0% of rice hull presented the best results compared to the other treatments. The lignocellulosic materials generated significant impacts on the mechanical resistance, water absorption and porosity of the bricks. The inclusion of rice hulls, coffee hulls and bamboo has significantly improved the thermal insulation properties of the hulls.

**Key words:** Thermal Comfort, composite, ecologic brick, greenery residues.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1 - Classificação TRB (*Transportation Research Board*).....19
- Figura 2 - Representação da estrutura da parede celular de uma célula vegetal .....21

### CAPÍTULO II

- Figura 1 – Processo de produção dos tijolos solo-cimento. ....40
- Figura 2– Esquema do equipamento para teste de isolamento térmico.....41
- Figura 3 – Relação umidade x Densidade dos solos. ....45
- Figura 4 – Histograma - Largura das partículas de casca de arroz.....47
- Figura 5 – Histograma – Comprimento das partículas de casca de arroz.....48
- Figura 6 – Histograma - Largura das partículas de casca de café .....48
- Figura 7 – Histograma - Comprimento das partículas de casca de café.....49
- Figura 8 – Histograma - Largura das partículas de bambu.....49
- Figura 9 – Histograma - Largura das partículas de bambu.....50
- Figura 10 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento do tratamento casca de café após o envelhecimento acelerado.....55
- Figura 11 – Valores médios de densidade aparente em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento .....55
- Figura 12 – Valores médios de densidade aparente em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento.....56
- Figura 13 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento do tratamento com casca de arroz após o envelhecimento acelerado .....57
- Figura 14 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento controle e tratados com resíduos.....59
- Figura 15 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura e envelhecidos .....60
- Figura 16 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura e envelhecidos .....63
- Figura 17 – Valores médios de absorção de água em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento .....63
- Figura 18 – Valores médios de absorção de água em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento.....64

Figura 19 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com casca de arroz aos 28 dias de cura e envelhecidos .....	67
Figura 20 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com resíduos aos 28 dias de cura.....	68
Figura 21 – Valores médios de perda de massa por imersão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos.....	69
Figura 22 – Valores médios de perda de massa por imersão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos .....	69
Figura 23 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento controle e com resíduos aos 28 dias de cura.....	71
Figura 24 – Valores médios de resistência à compressão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento .....	72
Figura 25 – Valores médios de resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento .....	72
Figura 26 – Valores médios de resistência à compressão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos .....	73
Figura 27 – Valores médios de resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos .....	74
Figura 28 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento.....	76

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1 – Teor de cimento sugerido para a compactação.....	18
---	----

### CAPÍTULO II

Tabela 1 - Metodologias utilizadas para caracterização química das partículas.....	38
Tabela 2- Análises físicas e metodologias que serão utilizadas nas partículas .....	38
Tabela 3- Delineamento experimental.....	39
Tabela 4 – Textura do solo .....	43
Tabela 5 – Granulometria do solo. ....	43
Tabela 6 – Limites de Consistência.....	44
Tabela 7 – Valores médios de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo.....	45
Tabela 8 – Retração do solo (mm).....	46
Tabela 9 – Largura média, comprimento médio e índice de esbeltez dos resíduos .....	50
Tabela 10 – Caracterização química dos resíduos lignocelulósicos.....	51
Tabela 11 – Caracterização física dos resíduos lignocelulósicos.....	52
Tabela 12 – Densidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas.....	54
Tabela 13 – Desdobramento da densidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas envelhecidos ( $\text{g.cm}^{-3}$ ).....	57
Tabela 14 – Porosidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas.....	58
Tabela 15 – Valores médios de porosidade aparente em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos aos 28 dias de cura (%) .....	60
Tabela 16 – Valores médios de porosidade aparente em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos envelhecidos (%).....	60
Tabela 17 – Absorção de água dos tijolos solo-cimento-partículas .....	62
Tabela 18 – Desdobramento da absorção de água dos tijolos solo-cimento-partículas envelhecidos (%).....	64
Tabela 19 – Perda de massa por imersão dos tijolos solo-cimento-partículas .....	66
Tabela 20 – Valores médios de perda de massa por imersão em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos (%).....	67
Tabela 21 – Resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-partículas .....	70
Tabela 22 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas .....	75
Tabela 23 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas ( $\text{W.m}^{-1}\text{C}^{-1}$ ) .....	76

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	12
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 Tijolo solo-cimento.....	14
2.2 O solo.....	15
2.3 Técnicas para melhorar a estabilidade do solo .....	17
2.3.1 Estabilização mecânica .....	17
2.3.2 Estabilização química .....	18
2.3.3 Estabilização física.....	20
2.4 Casca de arroz.....	23
2.5 Casca de café .....	24
2.6 Bambu.....	24
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	26
REFERÊNCIAS .....	27
<b>CAPÍTULO II – ARTIGO</b> .....	33
1 INTRODUÇÃO .....	35
2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	37
2.1 Matérias-primas .....	37
2.2 Caracterização do solo.....	37
2.3 Caracterização das partículas lignocelulósicas.....	38
2.4 Produção dos tijolos solo-cimento.....	38
2.5 Caracterização dos tijolos solo-cimento .....	40
2.6 Análise dos dados .....	42
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
3.1 Caracterização do solo.....	43
3.2 Caracterização das partículas lignocelulósicas.....	47
3.3 Caracterização dos tijolos solo-cimento .....	53
3.3.1 Caracterização física dos tijolos solo-cimento.....	53
3.3.2 Caracterização mecânica dos tijolos solo-cimento .....	70
3.3.3 Caracterização térmica dos tijolos solo-cimento .....	75
4 CONCLUSÃO .....	78

REFERÊNCIAS .....	79
-------------------	----

## CAPÍTULO I

### 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores de maior importância econômica, gerando infraestrutura física para o funcionamento dos demais setores e atendendo as diversas necessidades básicas da população. Entretanto, é responsável por gerar grandes impactos ao meio ambiente.

Diante disso, o emprego de materiais sustentáveis na fabricação de elementos construtivos é uma possibilidade para reduzir esse impacto gerado pela construção civil, que contém indicadores alarmantes referentes ao consumo de recursos não renováveis, gasto energético e geração de resíduos sólidos.

Nesse contexto, os tijolos solo-cimento vêm se destacando devido ao seu caráter ecológico, uma vez que seu processo de cura se dá em temperatura ambiente, dispensando a queima e evitando assim a liberação de poluentes na atmosfera, condizendo com a preservação ambiental, diferentemente dos tijolos convencionais. Outra vantagem do produto é a utilização do solo como matéria prima, por ser um material abundante e de fácil manuseio.

O tijolo solo-cimento tem ganhado espaço na construção civil, por ser uma alternativa que ajuda a suprir a carência habitacional, por apresentar custo reduzido da construção, buscando valorizar os materiais naturais. O tijolo solo cimento é a mistura de solo, cimento Portland e água em proporções adequadas, que após preparada a mistura desses materiais é levada para prensagem, dando o formato e tamanho desejado, apresentando excelentes propriedades físicas e mecânicas.

A produção de produtos ecológicos utilizando em sua composição materiais lignocelulósicos tem aumentado a cada dia, devido à alta disponibilidade desses materiais e também devido ao acréscimo gerado nas propriedades físicas, mecânicas e principalmente por atribuir aos compósitos maior isolamento térmico-acústico e menor densidade. Uma vez que quanto mais adequadas às propriedades térmicas do produto, menos energia elétrica é necessária para aquecer ou resfriar uma edificação, condizendo com a preservação ambiental.

O grande desafio de se utilizar os materiais lignocelulósicos se dá devido às propriedades dos compósitos dependerem do tipo de matriz e das propriedades das fibras ou partículas utilizadas, como também da interação entre a fibra/partícula e a matriz. Contudo, é necessário identificar as melhores e mais viáveis proporções a serem utilizadas no produto

final, bem como o melhor tipo de resíduo, objetivando além de permitir uma destinação adequada ao material e agregação de valor ao mesmo.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de diferentes tipos de partículas vegetais (casca de café, casca de arroz e bambu) em associação com diferentes concentrações sobre a qualidade do tijolo do tipo solo-cimento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Tijolo solo-cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2000), o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento Portland e água que, compactados ao teor ótimo de umidade e sob a máxima densidade, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.

A utilização do solo-cimento no Brasil iniciou-se em 1940 com a construção do Aeroporto Santos Dumont, em 1942 foi construída a pista do aeroporto de Petrolina e em 1945 foi construída a primeira parede de solo-cimento nas casas de bombas para abastecimento das obras do aeroporto de Santarém-PA (SOARES *et al.*, 2004). O solo-cimento foi utilizado em habitações a partir de 1948, em experiências desenvolvidas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), nesse ano foram construídas casas no Vale Florido, na Fazenda Inglesa em Petrópolis, Rio de Janeiro (SILVA, 1994).

O bom estado de conservação de muitas edificações construídas com solo cimento demonstra claramente a qualidade do material e da técnica construtiva. A partir daí, o uso do solo-cimento tem sido consideravelmente ampliado devido às vantagens técnicas e econômicas que o material oferece.

Esse material tem sido aplicado na indústria da construção com as mais diversas finalidades como, por exemplo, em camadas de fundações e base para pavimentos rígidos e flexíveis de estradas e aeroportos, proteção de encostas e aterros e principalmente na fabricação de tijolos para alvenarias (ESTABRAGH *et al.*, 2011; TENNANT *et al.*, 2013), principal foco desse trabalho.

No mundo atual, os tijolos são considerados um dos materiais mais procurados dentro do setor da construção civil. Souza *et al.* (2008) mencionam que a produção de tijolos maciços de solo-cimento condiz com a diretrizes do desenvolvimento sustentável, uma vez que utiliza baixo consumo de energia e não passa pelo processo de queima, como é o caso dos tijolos produzidos convencionais que lançam na atmosfera uma grande quantidade de CO<sub>2</sub>.

Devido a essa característica os tijolos de solo-cimento são comumente chamados de tijolos ecológicos (FIAIS e SOUZA, 2017). Estes são encontrados em variados tamanhos e modelos e apresentam-se maciços ou furados, e com ou sem canaleta (PISANI, 2005).

Sua resistência à compressão apresenta-se como outro fator positivo desse material, uma vez que comparado aos tijolos convencionais apresentam boa resistência à compressão,



assim como a qualidade final, pois possui dimensões regulares e faces planas e lisas (FERREIRA, 2003 e MOTA, 2010).

O mesmo é indicado para ser usado de forma aparente ou de acordo com a criatividade do projetista e do cliente, podendo ser pintado ou recoberto por uma camada fina de gesso. O tijolo de solo-cimento apresenta-se como uma excelente alternativa na construção civil urbana ou rural por apresentar inúmeras vantagens em seu emprego na alvenaria e por permitir ainda, facilidades para a incorporação de resíduos (FREIRE e BERALDO, 2003 e OLIVEIRA et al., 2014).

A respeito das dificuldades para o uso do solo-cimento, Casanova (1988) diz que, ao contrário do concreto, cujos materiais que o compõe (areia e brita) são facilmente obtidos com a pureza e os atributos físicos e químicos requeridos, o solo é altamente variável. A presença de algumas substâncias no processo de cimentação, como o húmus, cloretos e sulfatos dificultam a aplicação do solo, uma vez que necessita de constantes análises do material.

## **2.2 O solo**

Os solos são um dos elementos mais importantes no setor na construção, quer quando em seu estado natural, recebendo as cargas das edificações e dando sustentação, quer quando utilizados como material de construção.

Desde a antiguidade que o solo é utilizado como material de construção devido à sua afluência e fácil obtenção. A eficiência desse material é comprovada pela existência de construções feitas há vários séculos que resistem às intemperes e preservam sua estabilidade estrutural (GRANDE, 2003; SOUZA, 2006).

O solo é formado por partículas sólidas, minerais e orgânicas e espaços vazios (poros), preenchidos por ar ou água. A matéria mineral é formada através de fenômenos designados por intemperismo e resultante da ação de agentes físicos, químicos e biológicos. Já a matéria orgânica é resultado de organismos vivos ou em decomposição, sejam eles de origem animal ou vegetal (CAPUTO, 1988). Há uma grande variação entre os solos encontrados, isso ocorre devido a diferentes fatores que influenciam na sua formação, como o clima, material de origem e o relevo (PINTO, 2006), portanto conhecer suas características se torna uma das etapas essenciais na fabricação de tijolos solo-cimento.

Para a fabricação do solo cimento, existem algumas especificações encontradas em literatura que dão as características ideais para o solo ser utilizado. A Associação Brasileira de Cimento Portland (1985) menciona que não devem ser empregadas as camadas mais

superficiais do solo, pois estas são formadas por matéria orgânica e estes materiais absorvem muita água e são muito compressíveis.

O solo que apresenta característica arenosa é indicado como os mais adequados na fabricação de solo-cimento. Por ser um material inerte com função apenas de enchimento, a presença de areia grossa se torna excelente, devido a sua maior área superficial, que favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores (SOUZA et al., 2008; KER *et al.*, 2012).

Os solos mais adequados para a fabricação de elementos construtivos de solo-cimento são os que possuem as seguintes características: 100% passando na peneira ABNT 4,8 mm; 10 a 50% passando na peneira ABNT 0,075 mm; limite de liquidez  $\leq 45\%$  e índice de plasticidade  $\leq 18\%$ , ou seja, solos considerados da classe textural arenosa (ABCP, 1986). Para a ABCP (1985) o solo mais adequado deve conter de 50 a 90% de areia e para a *Portland Cement Association* (PCA, 1969) silte mais argila variando de 10 a 35%. O solo ainda deve apresentar uma retração máxima de 20 mm segundo o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED, 1984).

Os siltes presentes no solo são materiais que apresenta variações de coesão de acordo com seu teor de água, apresentando boa coesão quando úmidos, quando seco ao ar apresentam pouca plasticidade e baixa resistência mecânica ao solo, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995). Já as argilas mostram comportamentos muito variáveis em função do teor de água, sendo consideradas instáveis. Contudo, as argilas apresentam plasticidade e coesão na presença de água. Quando o solo tem pequena quantidade de argilas, estas trabalham como ligante, assegurando a coesão do solo. Em contrapartida, solos com grandes quantidades desse material são muito instáveis, o que o torna impróprios para construção, devido à grande capacidade de absorção da água, o que leva à mudança do seu volume. Já os seixos e areias são elementos sem eficiência de coesão e para serem utilizados é necessária a inclusão de ligantes (LORENZO e BERGADO, 2004; BERNUCCI et al., 2006).

O solo apesar de apresentar características aglomerantes quando úmido e rigidez quando seco, suas propriedades não são as ideais, pois sua resistência tanto mecânica quanto aos agentes atmosféricos é reduzida. Quando o solo é utilizado unicamente, ou seja, sem a presença de outros materiais para estabiliza-lo, obrigam a construção de peças de grande espessura (BAUER, 1995). Por isso, torna-se necessário utilizar técnicas capazes de estabilizar o solo, melhorando suas propriedades físicas e mecânicas.

## 2.3 Técnicas para melhorar a estabilidade do solo

Os solos que não possuem as características desejadas para um determinado tipo de aplicação podem ser melhorados acrescentando-se a eles um ou mais estabilizante (FERREIRA, 2003; FREIRE e BERALDO, 2003). Segundo Torgal et al. (2014), na alteração das características do solo, com o objetivo de torná-lo mais resistente para aplicação final, existem três formas de consolidação: a mecânica, a física e a química.

A consolidação mecânica baseia-se na compactação do solo de forma a originar um rearranjo das partículas e reduzir os vazios. A consolidação física baseia-se através da adição de fibras ou partículas no solo, tais como casca de arroz, palha, entre outro, ou pela correção da composição granulométrica do solo. A consolidação química baseia-se na adição de ligantes (cimento ou cais) ou aditivos aos solos (TORRAL et al., 2014).

O processo de estabilização confere ao solo uma resposta mais adequada ante as deformações quando ele é submetido ao efeito de cargas aplicadas (HOUBEN e GUILLAUD, 1994).

### 2.3.1 Estabilização mecânica

As propriedades físico-mecânicas finais do solo cimento estão intimamente relacionadas com a compactação do material. Quanto mais compactado, maior a sua densidade e por consequência melhor serão suas propriedades físico mecânicas.

O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada (LIMA, 2004). A compactação do solo também é definida como uma alteração no arranjo de suas partículas (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

Nos solos, a variação da umidade afeta substancialmente sua resistência, principalmente no ramo úmido da curva de compactação. A quantidade de água presente no solo no momento de sua compactação afeta seu massa específica aparente seco ( $\gamma_d$ ), índice de vazios ( $e$ ) e grau de saturação ( $S\%$ ), além de alterar sua microestrutura (NOGAMI e VILLIBOR, 1995; LUZ e PARREIRA, 2003).

Segundo Picchi et al. (1990) na confecção do solos cimento, é importante trabalhar com a umidade em torno do teor ótimo. O teor ótimo é aquele que a quantidade de água é a ideal para se ter a melhor compactação (maior massa específica aparente seca), pois quanto mais denso o sistema, maior a sua resistência.

Uma alternativa para avaliar o teor ótimo de umidade do solo é o ensaio de Proctor Normal. Esse se baseia no fato de que a densidade no qual um solo é compactado, sob determinada energia de compactação, depende da umidade do solo no momento da compactação (PROCTOR, 1933).

### 2.3.2 Estabilização química

Na estabilização química de alguns solos as aplicações de teores de cimento variam de 5% a 13% dependendo da composição granulométrica do solo (ABCP, 1986). Para teores abaixo de 3,0% ocorre apenas uma melhoria das características estruturais do solo, não havendo a sua estabilização (HOUBEN E GUILLAUD, 1994). Segundo Pentead e Marinho (2011) os teores de cimento entre 5 e 10% são suficientes para estabilizar o solo e conferir propriedades de resistência desejadas para o solo-cimento.

A ABCP (1986) dispõe uma tabela para definir a melhor quantidade de cimento (Tabela 1) de acordo com a classificação do solo conforme a *Transportation Research Board* (Figura 1).

Tabela 1 – Teor de cimento sugerido para a compactação

<b>Classificação HRB</b>	<b>Teor de cimento em massa</b>
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	8
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (1986).

Figura 1 – Classificação TRB (*Transportation Research Board*)

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 min.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da fração passando na peneira Nº 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

\* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

Fonte: AASHTO (DNER, 1996).

A norma ASTM D 3282 (ASTM, 2004) classifica os solos do grupo A1 como uma mistura classificada de fragmentos de pedra ou cascalho, areia grossa, areia fina e um aglutinante de solo não plástico ou pouco plástico. O grupo A2 inclui uma grande variedade de materiais granulares contendo 35% ou menos passando na peneira nº 200 (75 µm). O material do grupo A3 é composto de areia fina sem argila e com uma quantidade muito pequena de silte não plástico. O material do grupo A4 é um tipo de solo moderadamente plástico, com 75% ou mais passando na peneira nº 200 (75 µm). O solo do grupo A5 é semelhante ao descrito no Grupo A4, diferindo por ser altamente elástico. O grupo A6 é composto por um solo de argila plástica com 75% ou mais passando na peneira nº 200 (75 µm). Este grupo também inclui misturas de argila fina com até 64% de areia e cascalho retidos na peneira nº 200. Já o material do grupo A7 é semelhante ao descrito no Grupo A6, exceto por apresentar limites líquidos elevados característicos do Grupo A5 e por serem elásticos.

Na estabilização do solo com o cimento, ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo-lhe resistência inicial, paralelamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado (MILANI e FREIRE, 2006; GRANDE, 2003).

O cimento Portland é o estabilizador mais indicado para solos com baixos teores de argila, com os quais se obtém um material de solo-cimento de alta resistência mecânica, assim como resistência à água (baixa capacidade de absorção à água), ao inchamento e à contração. Para solos argilosos, com altos teores de limite de liquidez, a cal (hidróxido de cálcio) é o agente estabilizador mais indicado (FREIRE, 2003).

Embora quase todos os solos possam ser estabilizados com cimento, somente aqueles que necessitam de teores de cimento relativamente baixos são considerados solos economicamente empregáveis. O acréscimo dos teores de silte e areia, bem como a uniformidade da granulometria da areia acarretam elevação no teor de cimento (FERREIRA e OLIVEIRA, 2006).

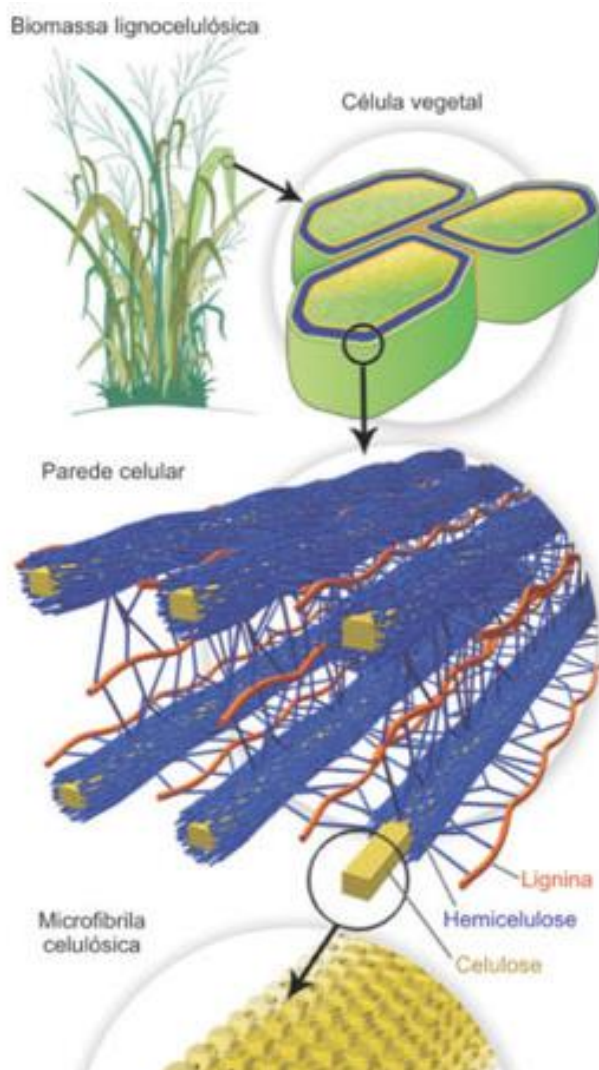
### **2.3.3 Estabilização física**

O sistema de produção do solo cimento possibilita a inserção de resíduos em sua composição, como por exemplo, de material lignocelulósico, seja com a função de correção do solo, como substituição parcial do cimento ou do solo ou como reforço da matriz.

Os materiais lignocelulósicos possuem diversas vantagens, como a abundância na natureza, o custo reduzido, a flexibilidade durante o processo de fabricação, a baixa densidade, a alta elasticidade, módulo de flexão e a atoxicidade (SILVA et al., 2015; KOMURIAH et al., 2014).

Produzidos nos mais diversos lugares do mundo, os materiais lignocelulósicos são compostos basicamente de lignina, celulose e hemicelulose (Figura 2) (MTIBE et al., 2015).

Figura 2 - Representação da estrutura da parede celular de uma célula vegetal



Fonte: Adaptação de Kondo (1997)

De acordo com Komuraiah et al. (2014), a celulose contém uma unidade repetitiva constituída por duas moléculas de glicose esterificadas por ligações  $\beta$ -1,4-glicosídicas, designadas celobiose. Essas moléculas compreende três grupos hidroxilas que estabelecem interações de hidrogênio intra e intermolecular, promovendo uma grande tendência da celulose em formar cristais insolúveis em água e na maioria dos solventes orgânicos.

A celulose possibilita que as células das plantas resistam à pressão osmótica e é responsável por excelentes propriedades mecânicas de resistência à tração e ao cisalhamento, associada a uma densidade reduzida (WEI e MEYER, 2015).

Caracterizada como um polissacarídeo associado à celulose nas paredes celulares das plantas, a hemicelulose apresenta característica hidrofílica e amorfa, constituída por diversos

monossacarídeos polimerizados, como, xilose, galactose, glucose (KOMURAI AH et al., 2014).

A lignina é um material hidrofóbico e extremamente ramificado, sendo classificada como um polifenol. Considerada uma resina amorfa, funciona como “cimento” entre as fibrilas e agente endurecedor na parte interna das mesmas (KOMURAI AH et al., 2014).

As propriedades estruturais e mecânicas dos materiais lignocelulósicos tem relação direta com o emprego satisfatório do mesmo em materiais compósitos. Essas propriedades sofrem influência do local de origem, das condições climáticas, da idade das plantas e dos métodos de extração utilizados (KABIR et al., 2012).

Alguns estudos relacionados a adições de materiais lignocelulósicos na mistura de solo cimento foram realizadas por: Zak et al. (2016), que utilizaram fibras de cânhamo e linho; Ashour et al., (2015) utilizaram trigo e palha de cevada; Khedari et al. (2005) utilizaram fibras de coco, dentre outros.

As fibras de sisal, coco, bambu, juta, curauá entre outras, consideradas não poluentes e renováveis, são tidas como alternativas na utilização de reforço em materiais compósitos, substituindo à utilização de materiais convencionais industrializados, que necessitam de elevados recursos financeiros, consumindo grande quantidade de energia durante o processo produtivo (ARDANUY et al., 2015).

A inclusão de elementos de reforço nos solos para melhoria de suas propriedades já era do conhecimento de povos da antiguidade. As muralhas de Ziggurat de Agar Quf, na Mesopotâmia (1400 a.C.), construída utilizando-se camadas intercaladas de solo e mantas de raízes, confirmam a existência desse conhecimento. Os Incas utilizavam lã de lhama misturada ao solo na construção de estradas resistentes ao tempo. No Brasil, são conhecidas aplicações de mantas de folhas e galhos sobre camadas de solos moles, antes da construção de aterros nestes solos (PALMEIRA, 1992). Os egípcios, já na antiguidade, visando minimizar a presença de fissuras no material, utilizavam fibras vegetais como reforço na fabricação de adobe (CARVALHO e BERALDO, 2000).

Nos dias de hoje, a procura por materiais de construção civil à base de cimento reforçado com materiais lignocelulósicos tem aumentado rapidamente. A justificativa para isto é a possibilidade de produção de materiais leves, esbeltos, com excelente desempenho mecânico e principalmente que geram maior conforto térmico e acústico, uma vez que com o aumento das áreas urbanas e das temperaturas, há uma tendência por parte da população para usar materiais que garantam melhor conforto térmico.



Todos os elementos de uma estrutura são responsáveis pelo conforto térmico, porém depois da cobertura, a parede é o principal elemento responsável pela absorção de calor existente no interior da edificação (FROTA e SCHIFFER, 1995). A intensidade de radiação solar transferida para o interior dependerá da capacidade de conservar calor da envoltória e das características dos materiais de revestimento (ROMERO, 2001).

Diante disso, a confecção de tijolos solo cimento com adição de materiais lignocelulósicos vem de encontro com esta proposta, pois esses materiais apresentam menor densidade e por consequência devem apresentar uma menor condução de calor, gerando assim um maior conforto térmico no interior das edificações.

Além do mais, cabe ressaltar a grande disponibilidade de resíduos agrícolas no país, como das fibras de coco, fibra de açaí, bagaço de cana, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, bambu, partículas de madeira, dentre outros. Nesse trabalho optou-se por utilizar a casca de arroz, a casca de café e o bambu, devido à disponibilidade desses resíduos na região, como também a do seu grande potencial para aplicação em compósitos.

## **2.4 Casca de arroz**

O arroz (*Oryza sativa*) é considerado como um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, exercendo papel estratégico em níveis econômico e social (WALTER et al., 2008). A produção de arroz no Brasil alcançou 11,8 milhões de toneladas no ano de 2017, sendo que a área a ser colhida é de aproximadamente 2 milhões de hectares (IBGE, 2017).

A casca de arroz é um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento do grão, de baixa massa específica e elevado volume. É um material fibroso, cujos maiores constituintes são celulose (50%), lignina (30%) e compostos inorgânicos (20%), apresentando ainda um alto teor de sílica (POUEY, 2006).

De acordo com Akasaki e Silva (2001), diversos trabalhos têm sido realizados utilizando a casca de arroz com o intuito de melhorar as características físico-mecânicas de argamassas e/ou de materiais de construção baseados em terra crua. A granulometria da casca de arroz é relativamente uniforme, o que facilita a dosagem do compósito.

Ferreira et al. (2008) avaliaram a incorporação de casca de arroz e de braquiária em tijolos solo-cimento a fim de verificar suas propriedades físicas e mecânicas. Nos tratamentos, foi adotado o teor de 10% da combinação de cimento e resíduo (% em relação à massa do solo seco). Os teores de cimento e resíduo variaram desde 10% de cimento e 0% de resíduo, até

6% de cimento e 4% de resíduo. Os autores observaram que, em termos de resistência à compressão simples e de absorção de água, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos com substituição de 1% de resíduos vegetais, tanto para a casca de arroz quanto para a braquiária, em relação ao teor de cimento.

## **2.5 Casca de café**

O café é a segunda bebida mais consumida no mundo perdendo apenas para água (BATISTA, 2010). O Brasil é o maior produtor de café, seguido do Vietnã e da Colômbia (CONAB, 2019). A área cultivada de café no país corresponde a aproximadamente 2.220.000 hectares. Dentro desta grande produção nacional, o estado de Minas Gerais ocupa uma posição de destaque no ranking nacional, sendo responsável por aproximadamente 55% da produção brasileira (BRASIL, 2015).

A estimativa para a produção da safra cafeeira no Brasil para 2019 é de 50,48 a 54,48 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado (CONAB, 2019). Durante o processamento do café, gera-se cerca de 50% de cascas, um subproduto composto pela casca, polpa, mucilagem e o pergaminho, em uma única fração denominada casca de café, que na maioria das vezes são descartadas de forma inadequada (ESQUIVEL e JIMÉNEZ, 2012; DAL-BÓ, 2016), sendo considerada uma impureza pelo regulamento técnico de identidade e de qualidade para classificação do café beneficiado grão cru, segundo à ANVISA (BRASIL, 2003).

Com isso, a casca de café tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores na fabricação de novos produtos, como placas cerâmicas para revestimento (DULTRA, 2010); na fabricação de painéis (MDP) (ARAUJO, 2015); dentre outras, haja vista a grande produção cafeeira existente no país, que implica a geração exacerbada deste resíduo.

## **2.6 Bambu**

O bambu é considerado uma das plantas de maior crescimento entre os vegetais, uma vez que leva pequeno tempo para ser renovado, comparado às demais espécies vegetais de grande porte (CARDOSO JUNIOR, 1999).

O Brasil é o país com a maior riqueza conhecida de espécies de bambu entre os países das Américas, com 65% das espécies listadas para o continente (GALVÃO et al. 2009), o que

engloba 45 gêneros e 267 espécies, distribuídas em todos os biomas brasileiros (FILGUEIRAS et al. 2013).

Considerado uma real fonte sustentável de matéria-prima, apesar de sua grande disponibilidade, a utilização desse material na construção civil ainda é pequena (GEISS e DAMO, 2018; LIMA NETO et al., 2010). Sua cadeia produtiva industrial, no país, encontra-se em fase inicial, com poucos processos industriais empregando a matéria-prima (PEREIRA e RAMOS, 2014).

Guimarães, Novack e Botaro (2010) estudando a anatomia do *Bambusa vulgaris* bem como as relações entre as dimensões da fibra concluíram que as fibras possuem potencial para utilização em compósitos de matriz polimérica, passando ou não por tratamentos superficiais, concorrendo com fibras usualmente utilizadas como: linho, sisal e curauá, na produção de diversos produtos para as indústrias automotivas, eletroeletrônica, náutica, aeroespacial, embalagens, dentre outras.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Buscando reduzir os impactos ambientais causados pela construção civil, uma alternativa é a utilização do tijolo solo-cimento associado à outros materiais de fontes renováveis, como é o caso das partículas vegetais. Com isso, pretende-se com esse trabalho, melhorar as características físicas e mecânicas dos tijolos e principalmente diminuir a condução térmica com a incorporação das partículas lignocelulósicas, além de dar uma destinação adequada a materiais de grande disponibilidade, como é o caso da casca de arroz, casca de café e partículas de bambu.

Essa incorporação é resultado de pesquisas recentes que vem ganhando destaque devido aos bons resultados encontrados por pesquisadores, no entanto ainda é necessário classificar os melhores materiais para essa utilização, bem como a melhor porcentagem a ser utilizada, sendo o principal foco desse estudo.

## REFERÊNCIAS

AKASAKI, J. L.; SILVA, A. P. Estudo de composições do solo estabilizado com cal e resíduos agroindustriais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3282**: Standard practice for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. West Conshohocken, PA, United States, 2004.

ARAÚJO, I. I. **Caracterização físico- mecânica de Painéis de Partículas de Bambu com adição de casca de café**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia de Bauru, São Paulo, 2015.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. **Construction e building materials**. Edinburgh, v, 79, p. 115-128, mar. 2015.

ASHOUR, T.; KORJENIC, A.; KORJENIC, S.; WU, W. (2015b) – Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes, cement and gypsum. **Energy and Building**, 104, p. 139-146, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Guia de construções rurais à base de cimento. São Paulo – SP, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Dosagem das misturas de solo-cimento – normas de dosagem. São Paulo: ABCP, **Estudo Técnico ET - 35**, 1986. 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

BAUER, L. A. FALCÃO. **Materiais de Construção**, v.1, Rio de Janeiro, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – **ANVISA**. Resolução RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial [da] União, Poder Executivo, São Paulo, 26 dez. Seção 1, p. 33. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – **MAPA**. **Culturas: café**. 2015.

BATISTA, E. E. **A importância da cafeicultura para a permanência dos sítiantes na terra: uma análise dos bairros rurais da Laranja Azeda e da Limeira em Lerroville**. Tese (Doutorado). Universidade Federal Paulista, Presidente Prudente, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica, formação básica para engenheiros**. 1a. ed. Rio de Janeiro. PETROBRAS; ABEDA. 2006. 504 p.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, p. 132, 1997.

CONAB | **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE CAFÉ** | v. 5 - Safra 2019, n. 2 - primeiro levantamento, janeiro 2019.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos**, v. 1, 6. ed., p.233, 1988.

CARDOSO JUNIOR, R. O Por que da Utilização do Bambu. Campo Grande, 1999. **Boletim Técnico**, 9p. Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal.

CARVALHO, J.V., BERALDO, A. L. Efeito de variáveis nas características de compósito Eucalipto-cimento. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Fortaleza, 2000.

CASANOVA, Francisco José. Tijolos Solo-cimento com resíduos de construção. Artigo **Revista Techne**. 1988.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED, 1984. 116p.

DAL-BÓ, VANESSA. **Potencialidades para o aproveitamento de biomassa de casca de café robusta para a geração de energia**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, 2016.

DULTRA, E. J. V., ACCHAR, W. **Incorporação de Cinzas da Casca de Café na Produção de Placas Cerâmicas para Revestimento**. Dissertação de Mestrado. UFRN-PPGEM, Natal, 2010.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, Barking, v. 46, n. 2, p. 488-495, 2012.

ESTABRAGH, A. R.; BEYTOLAHPOUR, I.; JAVADI, A. A. Effect of Resin on the Strength of Soil-Cement Mixture. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, n. 7, p. 969-976, 2011.

FERREIRA, R. de C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e minipainéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 204 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FERREIRA, R. de C.; GOBO, J. C. 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**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, jan./mar. 2008.

FERREIRA, R. de C.; OLIVEIRA, M.F. Incorporação de resíduos vegetais e seus efeitos sobre o desempenho físico-mecânico de solo-cimento. In: **Congresso Latino-Americano Y Del Caribe De Ingeniería Agrícola**, 7., 2006, Chillán. Proceedings ... Ciudad del México: ALIA, 2006. 1 CD-ROM.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. de. Construção Sustentável com Tijolo Ecológico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v.2, n.1, 2017.

FILGUEIRAS, T. S., LONGHI-WAGNER, H. M., VIANA, P. L., ZANIN, A., OLIVEIRA, R. C., CANTO-DOROW, T. S., SHIRASUNA, R. T., VALLS, J. F. M., OLIVEIRA, R. P., RODRIGUES, R. S., SANTOSGONÇALVES, A. P., WELKER, C. A. D. e FERREIRA, F. M. 2013. **Poaceae - Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB102232>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, cap.6, p.145-90, 2003.

FROTA, A.F.; SCHIFFER, S.R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GALVÃO, F., AUGUSTIN, C. R., DOMANOWSKI, B. P., KOZERA, C., SAWCZUK, A. T. e BONNET, A. Autoecologia de *Guadua* aff. *paraguayana* (POACEAE). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.58, p.5-16, 2009.

GEISS, C. M.; DAMO, R. G. Análise de viabilidade econômica perante técnicas construtivas para uma estrutura geodésica de bambu. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v.4, n.1, p.57-65, 2018.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 165, 2003.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Bilbao, v. 1, n. 7, p. 442-456, 2010.

HOUBEN, H. e GUILLAUD, H. Earth construction – A comprehensive guide. **Intermediate Technology publications**, London. 42, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Indicadores IBGE – **Estatística da Produção Agrícola (Fevereiro 2017)**. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201702.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201702.pdf). Acesso em junho/2018.

KABIR, M. M.; LAU, H. W. K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant based natural fibre reinforced polymer composites. **Composites: Part B**, Louisiana, v. 43, p. 2883-2892, oct. 2012.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; TORRADO, P. V.: **Pedologia Fundamentos**. 1. ed. Viçosa, Minas Gerais: SBCS, 2012. 343 p.

KHEDARI, J.; WATSNASATHAOIRN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil cement block with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, v.27, p. 111-116, 2005.

KOMURAI AH, A.; KUMAR, N. S.; PRASAD, B. D. Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. **Mechanics of composite materials**, Letônia, v.50, n.3, p.509-528, jul. 2014.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 70p., 2004.

LIMA NETO, M. C. L.; NETO, E. B. et al. Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.251-257, 2010.

LORENZO, G. A.; BERGADO, D. T. Fundamental parameters of cement-admixed clay—New approach. **Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering**, v. 130, n. 10, p. 1042-1050, 2004.

LUZ, M.P. e PARREIRA, A. B. Estudo da influência da umidade pós-compactação no índice de suporte CBR de solos do subleito de rodovias do interior de São Paulo. 34ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPV, Campinas, p. 153-167, 2003.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.26, n.1, p.1-10, 2006.

MOTA J. D., Oliveira D. F., De Sousa A. A. P., Laranjeira E., Monteiro M. R. S.. **Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solocimento**. 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido, 2010.

MTIBE, A. et al. A comparative study on properties of micro and nanopapers produced from cellulose and cellulose nanofibers. **Carbohydrate Polymers**, Londres, n. 118, p. 1-8, oct. 2015.

NOGAMI, J. S e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. Villibor. São Paulo, SP , p.240, 1995.

OLIVEIRA, J. R.; AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M. Incorporação de resíduos sólidos de torneiras mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento. **Nativa**, Sinop, V.02, n. 01, p. 53-57, jan/mar. 2014.

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos: tipos e evolução nos últimos anos**. Seminário sobre aplicações de geossintéticos em geotecnia, Brasília, p. 1-20, 1992.

PENTEADO, P. T.; MARINHO R. C. **Análise Comparativa de Custo e Produtividade dos Sistemas Construtivos: Alvenaria de Solo-Cimento, Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto na Construção de uma Residência Popular**. Monografia. Curitiba - PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

PEREIRA, M. A. R. e RAMOS, B. P. F., 2014, “Curvatura de Bambu Laminado Colado”, In: **11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2014, Gramado, vol. 1, pp. 2044-2055.



PICCHI, F.A.; CINCOTTO, M.A.; BARROS, J.M.C. Tijolos de solo-cal. **Revista A Construção**, São Paulo, p.93-8, 1990.

PINTO, C. de S. Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. São Paulo: **Oficina de textos**, p. 367, 2006.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. In: **SINERGIA**. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION – PCA. **Soil-Cement Construction handbook**. Illinois, 1969. 42 p.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 345f., 2006.

PROCTOR, R.R. 1933. Fundamental Principles of Soil Compaction. **Engineering News Record**, 111(3): 245-248.

ROMERO, B.M.A. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: UnB, 2001.

SILVA, E. J. et. al. Degradação da fibra de coco imersa em soluções alcalinas de cimento e NaOH. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.10, p.981–988, set. 2015.

SILVA, M. R. (1994) O solo-cimento, In: Bauer L. A. F., 5ª Edição, **Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.**, Rio de Janeiro, 1994, Cap. 24, p. 704-729.

SOARES, J. M. D; TOMAZETTI, R. R.; PINHEIRO, R. B. Habitação em paredes monolíticas de solo-cimento. Teoria e Prática na Engenharia Civil, São Paulo, Brasil, n.5, p.51,57, Agosto, 2004.

SOUZA, F. L. dos S. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**. ENTAC. 2006. Florianópolis. Santa Catarina. p. 4227-4236. 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, , Campina Grande, v.12, n.2, p.205–212, 2008.

TENNANT, A. G.; FOSTER, C. D.; REDDY, B. V. V. Verification of Masonry Building Code to Flexural Behavior of Cement-Stabilized Soil Block. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, p. 303-307, 2013.

TORGAL, F. P.; LOURENÇO, P.; LABRINCHA J. e KUM, S. “Eco-efficient masonry bricks and blocks: design, properties and durability”. **Woodhead Publishing**, 2014; 290.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, Aug. 2008.

WEI, L.; MEYER, C. Degradation Mechanisms of Natural Fiber in the Matrix of Cement Composites. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 73, p. 1-16, jul. 2015.

ZAK, P. at al. The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. **Construction and Building Materials**, v. 106, p. 179–188, 2016.

## CAPÍTULO II – ARTIGO

### MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS COMO REFORÇO EM TIJOLO SOLO-CIMENTO

#### RESUMO

A busca por materiais cada vez mais sustentáveis e ecológicos e a necessidade da preservação ambiental fazem com que a construção civil adquira novos conceitos e soluções técnicas visando à sustentabilidade de suas atividades. Os tijolos solo-cimento, formados pela mistura homogênea de solo, cimento e água apresentam boas propriedades físico-mecânicas e são considerados um produto ecológico por não passar pelo processo de queima, evitando a emissão de dióxido de carbono. Estudos que utilizam partículas vegetais vêm se destacando entre as pesquisas, pois as partículas auxiliam na absorção de energia do compósito, fazendo com que o mesmo tenha maior resistência aos esforços de tração e deformação, proporcionando uma menor densidade e melhor isolamento térmico-acústico, além de dar uma destinação adequada e agregar valor a esse material considerado um resíduo. Dentro desse contexto, este estudo visou avaliar diferentes tipos e porcentagens de partículas vegetais sobre as propriedades físicas, mecânicas e térmicas do tijolo solo-cimento. Foram caracterizadas as propriedades químicas, de retração, compactação, limites de consistência e granulometria para o solo, as propriedades anatômicas, químicas e físicas para as partículas lignocelulósicas. Foram avaliados tijolos produzidos com partículas de bambu, casca de arroz e casca de café nas porcentagens de 1,5 e 3,0%, além de um tratamento controle sem utilização de partícula. Os tijolos foram prensados em uma prensa automática para adquirir o tamanho desejado e foram caracterizados quanto à densidade, absorção de água, porosidade, perda de massa por imersão, ensaio de durabilidade, resistência à compressão e condutibilidade térmica. Dentre os tratamentos avaliados, os tijolos produzidos com 3,0% de casca de arroz apresentaram os melhores resultados comparado aos demais tratamentos. A inclusão da casca de arroz, casca de café e bambu gerou perda de resistência mecânica e aumento da absorção de água e porosidade dos tijolos. Porém, a inclusão das partículas lignocelulósicas melhorou as propriedades de isolamento térmico dos tijolos, uma vez que diminuiu a condução térmica dos mesmos.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, compósito, tijolo ecológico, resíduos vegetais.

## ABSTRACT

The search for increasingly sustainable and ecological materials and the need for environmental preservation means that civil construction acquires new concepts and technical solutions aiming at the sustainability of its activities. Soil-cement bricks, formed by the homogeneous mixture of soil, cement and water, have good physico-mechanical properties and are considered an ecological product because they do not go through the burning process, avoiding the emission of carbon dioxide. Studies using plant particles have been emphasized among the researches, because the particles help in the energy absorption of the composite, making it more resistant to the tensile and deformation efforts, providing a lower density and better thermal and acoustic insulation, besides to give a suitable destination and add value to this material considered a waste. In this context, this study aimed to evaluate different types and percentages of plant particles on the physical, mechanical and thermal properties of soil-cement brick. The chemical properties, retraction, compaction, limits of consistency and granulometry for the soil, the anatomical, chemical and physical properties for the lignocellulosic particles were characterized. Bricks produced with bamboo particles, rice hulls and coffee husks were evaluated in percentages of 1.5 and 3.0%, in addition to a control treatment without particle use. The bricks were pressed in an automatic press to achieve the desired size and were characterized for density, water absorption, porosity, immersion loss, durability test, compressive strength and thermal conductivity. Among the evaluated treatments, the bricks produced with 3.0% of rice hull presented the best results compared to the other treatments. The inclusion of rice husk, coffee husk and bamboo resulted in loss of mechanical strength and increased water absorption and porosity of the bricks. However, the inclusion of the lignocellulosic particles improved the thermal insulation properties of the bricks, since it decreased the thermal conduction of the same.

**Key words:** Thermal Comfort, composite, ecologic brick, greenery residues.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é destaque dentro dos setores da economia e um dos seus principais desafios é conciliar o desenvolvimento sustentável com sua lucratividade, devido ao grande consumo de materiais não renováveis e a geração de grandes quantidades de entulhos e rejeitos de materiais usados (SOUZA et al., 2016; SOUZA et al., 2008; LOPES et al., 2018).

Com isso, a busca por materiais mais sustentáveis que necessite de uma menor quantidade de energia para sua produção, que utilize matérias primas naturais e garantam o avanço econômico, social e ecológico é de grande interesse. Entre as técnicas construtivas e materiais que apresentam baixo impacto ambiental, o tijolo solo-cimento tem-se destacado devido ao seu caráter ecológico, uma vez que diferentemente dos sistemas construtivos tradicionais, não necessita do processo de queima, evitando a liberação de gases nocivos ao meio ambiente, além de utilizar como principal matéria prima o solo, que é um material abundante na natureza (NASCIMENTO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2014).

Nos últimos anos observa-se um incentivo para o desenvolvimento de compósitos reforçados com materiais lignocelulósicos, devido a maior consciência ecológica da sociedade e ao caráter promissor das fibras presentes nesses materiais. Essas partículas lignocelulósicas utilizadas nos compósitos podem ser até mesmo resíduos agroindustriais que são muitas das vezes descartados de maneira ilícita no meio ambiente (MONTEIRO et al., 2006; TARGA et al., 2009; GARCEZ et al., 2017; TORKAMAN et al., 2014; BERTOLINI et al., 2014).

Os tijolos solo-cimento apresentam grande potencial para inserção de resíduos em sua matriz para ganho de resistência e a melhoria de suas propriedades mecânicas (OLIVEIRA et al., 2014; SOUZA et al., 2008; TURGUT e GUMUSCU, 2013). A casca de arroz, a casca de café e o bambu tem apresentado bons resultados na confecção de alguns compósitos e apresentam como vantagem a sua alta disponibilidade (FERREIRA et al., 2008; BEKALO E REINHARDT, 2010; BELINI et al., 2014). Porém, a grande dificuldade na fabricação de compósitos utilizando resíduos lignocelulósicos está na adesão entre as fibras ou partícula e a matriz, uma vez que influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas do compósito, sendo necessário portanto avaliar o melhor tipo de material lignocelulósico para cada matriz e a quantidade ideal (CARVALHO e CAVALCANTE, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de diferentes tipos de partículas vegetais (casca de café, casca de arroz e bambu) com diferentes porcentagens (1,5 e

3,0%) sobre as propriedades térmicas, físicas, mecânicas e microestruturais do tijolo do tipo solo-cimento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Matérias-primas

O solo utilizado na confecção dos tijolos solo-cimento foi coletado na Universidade Federal de Lavras, no ponto de coordenadas 21°14'7" Sul, 44°58'21" Oeste, no município de Lavras situado na região sul do Estado de Minas Gerais, Brasil. Após a coleta, o solo foi peneirado para eliminar os materiais indesejáveis e prejudiciais ao processo de moldagem de acordo com a norma NBR 10833 (ABNT, 1989). O cimento utilizado foi o CII-F, comumente utilizado na fabricação dos tijolos solo-cimento. Também foram utilizadas partículas vegetais de bambu (*Bambusa vulgaris*), fornecida por uma indústria de palitos da cidade de Perdões; casca de arroz fornecida por uma indústria de beneficiamento da cidade de Lavras e casca de café pela indústria de beneficiamento da cidade de Machado, ambas as cidades situadas no Estado de Minas Gerais, Brasil. Os resíduos vegetais foram escolhidos devido ao seu alto volume e produção na região e devido a necessidade de dar uma destinação adequada a este.

### 2.2 Caracterização do solo

O ensaio de retração do solo foi realizado conforme os procedimentos relatados pelo CEPED (1984), feito com o objetivo de conferir se havia a presença de argilas expansivas na composição dos solos, uma vez que estas prejudicam o desempenho do material devido a retração na hora da secagem.

Para se obter os valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima foi realizado o ensaio de compactação pelo método de Proctor Normal, de acordo com as normas NBR 7182 (ABNT, 2016) e NBR 12023 (ABNT, 2012).

Os limites de consistência foram determinados de acordo com os procedimentos expostos nas normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

Seguindo os procedimentos descritos na NBR 7181 (ABNT, 2016) e NBR 5734 (ABNT, 1989), foi determinada a composição granulométrica do solo, realizada pela combinação de sedimentação e peneiramento. Também foi realizada a análise textural do solo, conforme procedimentos destacados por Gee e Bauder (1986).

Foram realizadas análises químicas para a caracterização do solo. Além das determinações de pH (em água na proporção de 1: 2,5), foram efetuadas análises de cálcio (Ca) e matéria orgânica conforme referências da EMBRAPA (BRASIL, 1997).

### 2.3 Caracterização das partículas lignocelulósicas

Para a caracterização morfológicas das amostras foi utilizado o software *ImageJ*® (*Powerful Image Analysis*). Para obter as informações relativas ao comprimento, diâmetro e índice de esbelte das partículas, foram coletadas 30 medições de comprimento e 30 de largura para cada tipo de partícula.

Para a realização da caracterização química, as amostras foram moídas em um moinho de rotor (Willy) e classificada em peneiras de 40 e 60 mesh, utilizando as partículas retidas na peneira de 60 mesh. Após climatizadas em uma sala com 20°C e 65% de umidade relativa foram empregadas as metodologias apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Metodologias utilizadas para caracterização química das partículas

<b>Análises químicas</b>	<b>Metodologias</b>
Extrativos totais	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Lignina	NBR 7989 (ABNT, 2010)
Holocelulose	[100-(LT + ET + CZ)]
Teor de cinza	NBR 13999 (ABNT, 2017)

As metodologias utilizadas para a realização das análises físicas das partículas estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2- Análises físicas e metodologias que serão utilizadas nas partículas

<b>Análises físicas</b>	<b>Metodologias</b>
Densidade aparente	AZZINI et al. (1981)
Densidade básica	NBR 11941 (ABNT 2003)
Porosidade aparente	ASTM D 167 (2004)
Absorção máxima de água	ASTM D 570 (2018)

### 2.4 Produção dos tijolos solo-cimento

Foi utilizado o delineamento experimental apresentado na Tabela 3 para a mistura dos constituintes, variando a porcentagem de partículas em substituição ao solo.



Tabela 3- Delineamento experimental

<b>Material de Reforço</b>	<b>% de reforço*</b>	<b>Cimento (%)</b>	<b>Solo (%)</b>
Sem reforço	-	7	93
Casca de arroz	1,5 e 3,0	7	91,5 e 90
Casca de café	1,5 e 3,0	7	91,5 e 90
Bambu	1,5 e 3,0	7	91,5 e 90

\*% em massa seca

Para a produção dos corpos de prova, os constituintes dos tijolos foram pesados e misturados manualmente. Logo após, a água foi adicionada promovendo uma nova homogeneização, levando em consideração a umidade ótima obtida pelo ensaio de Proctor Normal. Esta mistura foi transferida para a prensa automática para adquirir a forma de tijolos. Foram seguidas as recomendações do Boletim Técnico 111 (ABCP, 2000) e do Estudo Técnico-35 (ABCP, 1986) para a fabricação dos tijolos de solo-cimento-partícula. Os corpos de prova foram fabricados nas dimensões de 20 x 9,5 x 5 cm (comprimento, largura e espessura) (Figura 1).

Posteriormente a produção dos tijolos solo-cimento, os mesmos foram acondicionados dentro de uma caixa com umidade de 98%, à sombra e em local coberto e protegido, conforme indicação da ABCP (1985). Os tijolos foram submetidos a processos de molhagem diária, durante 7 dias consecutivos com 2 ciclos de molhagem por dia.

Figura 1 – Processo de produção dos tijolos solo-cimento



A) Mistura solo, cimento e partícula; B) Mistura seca homogênea; C) Mistura homogênea e úmida sendo depositada na prensa mecanizada; D) Aplicação de pressão; E) Retirada de pressão; F) Tijolo prensado; G) Tijolos em câmara úmida; H) Tijolos no processo de cura à temperatura ambiente; I) Tijolos após o processo de cura.

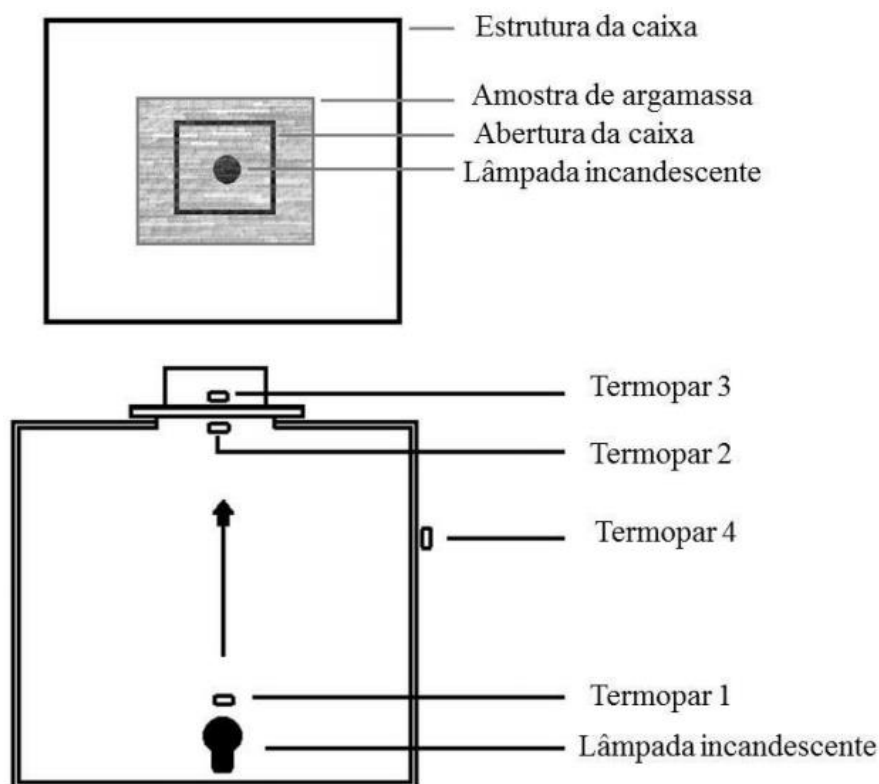
## 2.5 Caracterização dos tijolos solo-cimento

O teste de absorção de água e densidade aparente foi realizado de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 8492 (ABNT, 2012). A determinação porosidade aparente foi realizada de acordo a ASTM C20 (2000). A perda de massa por absorção de acordo com a norma ME- 61 (ME, 2003).

Para caracterização da resistência mecânica, os tijolos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, conforme os procedimentos descritos pela NBR 8492 (ABNT, 2012). Com o objetivo de avaliar a resposta e comportamento dos tijolos após prolongado período de exposição a intempéries foi realizado o envelhecimento acelerado conforme os procedimentos descritos pela norma NBR 13.554 (ABNT, 1996), que classifica o material por molhagem e secagem. Os corpos de prova foram submetidos a seis ciclos de molhagem e secagem, cada ciclo corresponde à 5h em água com temperatura ambiente e 42h em estufa com temperatura de 71°C, com variação de  $\pm 2^\circ\text{C}$ , posteriormente foram avaliados quanto à resistência à compressão, absorção de água, porosidade e perda de massa.

Para a determinação do isolamento térmico dos tijolos solo-cimento foi utilizado um módulo com atuadores de calor na parte inferior, mantendo a temperatura de 45°C e sensores capazes de capturar as temperaturas na parte superior do módulo, ou seja, a temperatura que atravessa o tijolo (Figura 2). Em todo módulo havia materiais isolantes térmicos para a mínima interferência do ambiente externo. A razão de aquecimento foi de  $1^\circ\text{C}/\text{min}$  e o ciclo de ensaio para cada tratamento é de 7 horas e 30 minutos. Posteriormente as respostas foram enviadas ao computador para comparação e armazenagem de dados.

Figura 2– Esquema do equipamento para teste de isolamento térmico



Fonte: VILELA (2016).

O objetivo deste ensaio foi a obtenção do fluxo de calor que atravessa o tijolo solo-cimento a partir da taxa de transferência de calor ( $q$ ) de superfície plana constituída pelos tijolos. A condutividade térmica foi calculada através da fórmula descrita abaixo.

$$\lambda = (270 * e) \Delta T$$

$\lambda$  = condutividade térmica (W/ (m. °C))

$e$  = espessura do tijolo (m)

$\Delta T$  = variação da Temperatura do painel

Para a caracterização microestrutural dos tijolos solo-cimento foi realizada uma avaliação através de um Microscópio Estereoscópio com Epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon), com um aumento de 7,5x – 112,5x no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Estrutural do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

Tal caracterização visou avaliar a distribuição dos elementos nas amostras, antes e após o envelhecimento acelerado, observando o efeito das adições de materiais lignocelulósicos a conformação da matriz, comparando aos resultados obtidos pelos ensaios físicos-mecânicos.

## 2.6 Análise dos dados

Para a análise dos dados foi empregado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2 (três tipos de partículas lignocelulósicas – casca de arroz, casca de café e bambu em associação com duas porcentagens de reforço – 1,5 e 3,0%), além de um tratamento controle sem adição de materiais de reforço. Foi realizada análise de variância e de teste de média de Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

Os dados obtidos foram confrontados com a norma de comercialização para compressão simples NBR 8492 (ABNT, 2012), absorção de água NBR 8492 (ABNT, 2012) e perda de massa por imersão (ME-61, 2003).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização do solo

A Tabela 4 apresentam as porcentagens de argila, silte e areia (grossa e fina) encontradas no solo coletado antes e após a correção granulométrica.

Tabela 4 – Textura do solo

	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia Grossa</b>	<b>Areia Fina</b>
	(%)	(%)	(%)	(%)
<b>Solo</b>	60	6	21	13
<b>Solo corrigido</b>	34	3	61	2

Na primeira análise textural realizada no solo coletado (sem correção), pode-se observar a necessidade do aumento do teor de areia presente, uma vez que o solo apresentava 34% de areia, sendo a porcentagem ideal, segundo a ABCP (1985) para produção de solo-cimento, entre 50% a 90% e segundo Ferreira Filho (2015) entre 60 e 80%. Após a correção, o solo apresentou-se com 65% de areia, valor ideal para fabricação de tijolos solo-cimento. O solo corrigido foi classificado segundo o diagrama de Feret como solo arenoso-argiloso.

Milani e Barboza (2016) avaliando solo-cimento na aplicação de paredes monolíticas utilizou um solo com composição granulométrica de 77% de areia e 23% de finos (argila + silte). Ferrari et al. (2014) também na fabricação de tijolos solo-cimento, utilizaram solo arenoso, com 78% de areia, 19% de argila e 3% de silte, os autores consideraram a porcentagem acima de 70% de areia ideal para a fabricação de tijolo solo cimento.

A distribuição dos variados tamanhos de grãos e as porcentagens retidas em cada peneira, obtidas pelo ensaio de granulometria, estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Granulometria do solo

<b>Malha peneiras</b>	<b>%</b>
<b>(mm)</b>	<b>retida</b>
<b>4,800</b>	0
<b>2,000</b>	1,82
<b>0,420</b>	60,17
<b>0,075</b>	34,83
<b>Fundo</b>	3,18

Observa-se que a maior porcentagem de grãos presentes no solo utilizado apresenta uma granulometria entre 0,42mm à 2mm e em menor quantidade grãos com dimensões entre 2mm à 4,8mm, para a peneira com abertura de 4,8mm os solos foram 100% passante. As partículas lignocelulósicas utilizadas junto ao solo apresentam granulometria entre 0,250 a 0,420mm.

A Tabela 6 apresentam os valores encontrados para limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade do solo e do solo com partículas lignocelulósicas.

Tabela 6 – Limites de Consistência

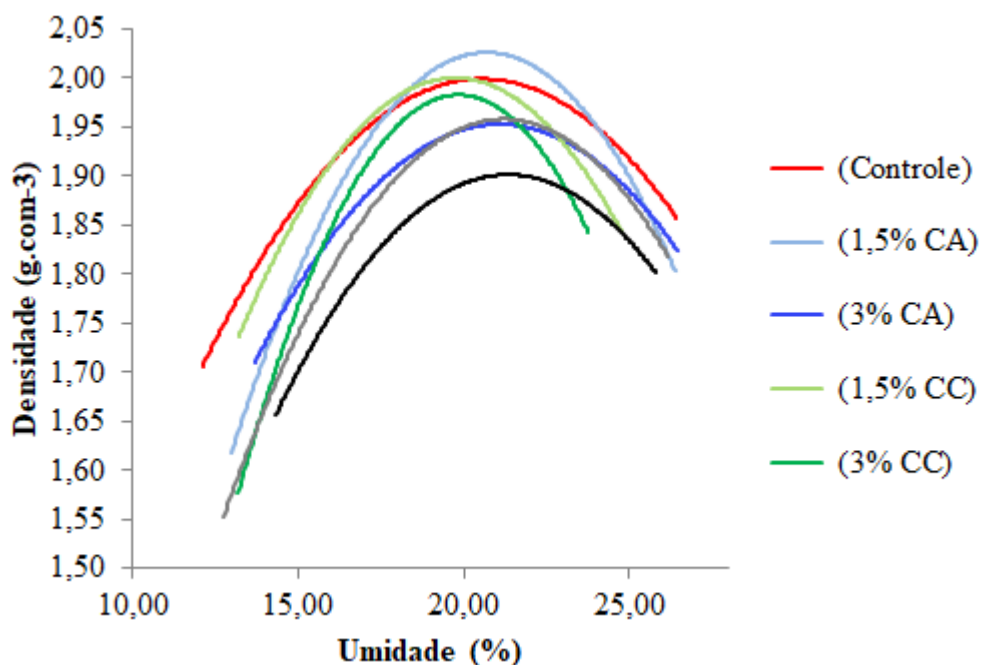
<b>Material</b>	<b>Limite de Liquidez (%)</b>	<b>Limite de Plasticidade (%)</b>	<b>Índice de Plasticidade (%)</b>
<b>Solo</b>	37,59 <sup>(1,20)</sup>	26,84 <sup>(0,82)</sup>	10,75 <sup>(0,33)</sup>
<b>Solo + 1,5% de Casca de Arroz</b>	35,66 <sup>(0,57)</sup>	28,75 <sup>(0,42)</sup>	6,91 <sup>(0,48)</sup>
<b>Solo + 3,0% de Casca de Arroz</b>	37,49 <sup>(0,37)</sup>	27,43 <sup>(1,35)</sup>	10,06 <sup>(0,19)</sup>
<b>Solo + 1,5% de Casca de Café</b>	38,61 <sup>(0,79)</sup>	30,52 <sup>(0,49)</sup>	8,15 <sup>(0,53)</sup>
<b>Solo + 3,0% de Casca de Café</b>	40,91 <sup>(0,46)</sup>	28,42 <sup>(0,59)</sup>	9,01 <sup>(0,36)</sup>
<b>Solo + 1,5% de Partículas de Bambu</b>	38,67 <sup>(0,75)</sup>	27,19 <sup>(1,20)</sup>	11,42 <sup>(1,12)</sup>
<b>Solo + 3,0% de Partículas de Bambu</b>	37,43 <sup>(1,9)</sup>	28,26 <sup>(0,84)</sup>	12,65 <sup>(0,80)</sup>

Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Observa-se que o índice de plasticidade do solo, comparando os solos com 1,5% e 3,0% de partículas lignocelulósicas, aumenta com o aumento da porcentagem de resíduo, isso significa que o solo pode ter uma maior variação da umidade mantendo o seu estado plástico. Para todos os solos analisados os limites de liquidez (LL) e os índices de plasticidade (IP) atenderam as especificações da ABCP (1986), que estipula um LL e um IP menores que 45% e 18%, respectivamente. Com os resultados de limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria o solo foi classificado como A2, segundo o HRB (Highway Research Board) e, portanto, de acordo com a ABCP (1986) o teor de cimento ideal utilizado foi 7%.

Na Figura 3 estão representados os valores de umidade e densidade obtidos no ensaio de compactação do solo para cada tratamento.

Figura 3 – Relação umidade x Densidade dos solos



A Tabela 7 apresenta para cada tratamento a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo encontrada no ensaio de compactação.

Tabela 7- Valores médios de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo

<b>Tratamento</b>	<b>Umidade ótima (%)</b>	<b>Peso específico aparente seco máximo (g.cm-3)</b>
<b>Solo</b>	20,59	1,87
<b>Solo + 1,5% de Casca de arroz</b>	20,60	1,84
<b>Solo + 3,0% de Casca de arroz</b>	21,26	1,86
<b>Solo + 1,5% de Casca de café</b>	19,70	1,88
<b>Solo + 3,0% de Casca de café</b>	19,96	1,83
<b>Solo + 1,5% de Bambu</b>	21,08	1,82
<b>Solo + 3,0% de Bambu</b>	21,29	1,84

Observa-se com relação às umidades ótimas obtidas durante o ensaio de compactação, que os tratamentos utilizando casca de café obtiveram teores de umidade ótima abaixo do

tratamento controle, enquanto os tratamentos com partículas de bambu apresentaram teores de umidade ótima acima do tratamento controle. Para o tratamento com 1,5% de casca de arroz o teor de umidade ótima foi próximo ao tratamento controle, enquanto para o tratamento com 3,0% de casca de arroz apresentou uma umidade ótima acima do controle. Esse aumento do teor de umidade se dá devido a capacidade higroscópica das partículas lignocelulósicas (HABLOT et al., 2013). Com exceção do tratamento com 1,5% de casca de café, observa-se que o peso específico alcançado diminuiu com a inclusão de partículas lignocelulósicas isso se deve à baixa densidade das partículas lignocelulósicas que absorvem mais água e geram mais poros vazios diminuindo o peso específico aparente seco do material compactado.

Miranda et al. (2011), avaliando o potencial do grits na produção de tijolos solo-cimento observaram que havia uma tendência de aumento no teor de umidade ótima e redução no peso específico de matéria seca, a medida em que se aumentava o teor de grits, os autores associaram os resultados a maior absorção de água pelas partículas de grits.

A Tabela 8 apresentam os valores encontrados para retração do solo e dos solos com partículas utilizados na fabricação dos tijolos solo-cimento.

Tabela 8 – Retração do solo (mm)

<b>Solo</b>	<b>Solo + 1,5% CA</b>	<b>Solo + 3,0% CA</b>	<b>Solo + 1,5% CC</b>	<b>Solo + 3,0% CC</b>	<b>Solo + 1,5% Bambu</b>	<b>Solo + 3,0% Bambu</b>
23 <sup>(1,33)</sup> B	18 <sup>(0,67)</sup> A	18 <sup>(0,67)</sup> A	19 <sup>(0,67)</sup> A	20 <sup>(1,33)</sup> A	18 <sup>(0,67)</sup> A	17 <sup>(1,33)</sup> A

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Observa-se que todos os tratamentos se diferenciaram do tratamento controle, apresentando retrações menores. O solo apresentou retração de 23 mm, acima, portanto, do limite recomendado pelo CEPED (1984), que recomenda a utilização de um solo com retração inferior a 20 mm. Observou-se ainda a ocorrência de uma fenda na parte central da amostra, o ensaio foi realizado novamente e ainda assim ocorreu a fenda na parte central. Os solos com adição de resíduo não apresentaram fendas na parte central e suas retrações variaram de 17 à 20 mm, valores estes dentro do estipulado ideal pelo CEPED (1984). Logo, para o solo com resíduos houve uma redução na retração, resultado este significativo, uma vez que a retração linear provoca o surgimento de trincas e apresentam perda da capacidade de suporte, influenciando na qualidade das alvenarias (SOUZA et al., 2008).

Souza et al. (2008), encontraram para o solo utilizado na fabricação de tijolo solo-cimento, uma retração de 24 mm e as amostras apresentaram uma fenda na parte central. Já



para o solo com adição de resíduo de concreto, a retração foi de apenas 7,9 mm, atendendo as especificações.

O solo coletado para fabricar os tijolos solo-cimento apresenta uma taxa de matéria orgânica de 0,15%, contudo o valor obtido está abaixo do limite considerado por BLUCHER (1951) que especifica que o teor de matéria orgânica presente no solo deve ser bem baixo e considera que o limite máximo seguro é de 2%, apesar de existirem casos bem sucedidos de estabilização com solos contendo até 5%, logo o solo utilizado encontrasse dentro do limite ideal. A presença de matéria orgânica influencia na qualidade do solo-cimento, fazendo com que a resistência mecânica atinja valores muito pequenos, devido à presença de açúcares e ácido húmico, portanto é indesejável a sua presença (BLUCHER, 1951).

Com relação ao pH, o solo utilizado apresentou um pH de 5,6 concedendo um caráter ácido para o solo e segundo Ingles (1968) os solos ácidos tem dificuldade de se estabilizar com o cimento, portanto é desejável a utilização de solos com pH neutro ou básico.

Com relação ao cálcio, a quantidade de íons livres de cálcio no solo foi de 0,29  $\text{cmolc.dm}^{-3}$ , dependendo dos tipos de cimentos empregados na mistura, os íons cálcio podem neutralizar os efeitos nocivos da presença de matéria orgânica proporcionando um melhor equilíbrio do pH da mistura (CLARE e FARRAR, 1956 e INGLES e METCALF, 1972).

### 3.2 Caracterização das partículas lignocelulósicas

Nas Figuras 4 e 5 estão representados os valores encontrados para comprimento e largura das partículas de casca de arroz.

Figura 4 – Histograma - Largura das partículas de casca de arroz

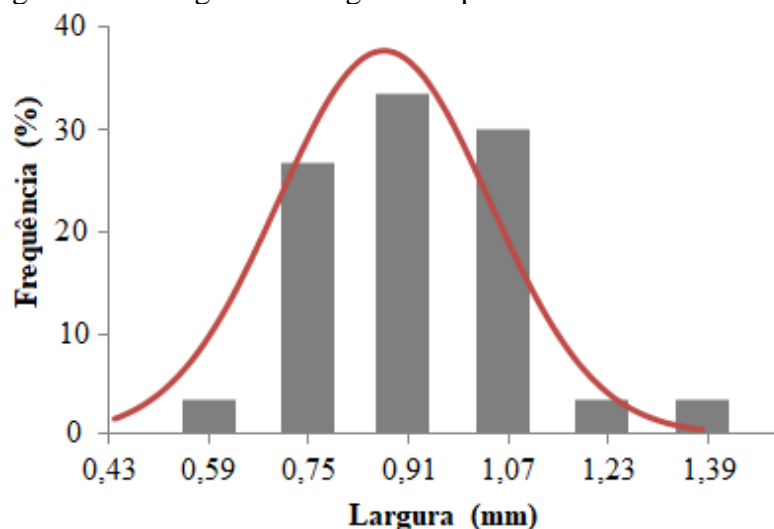
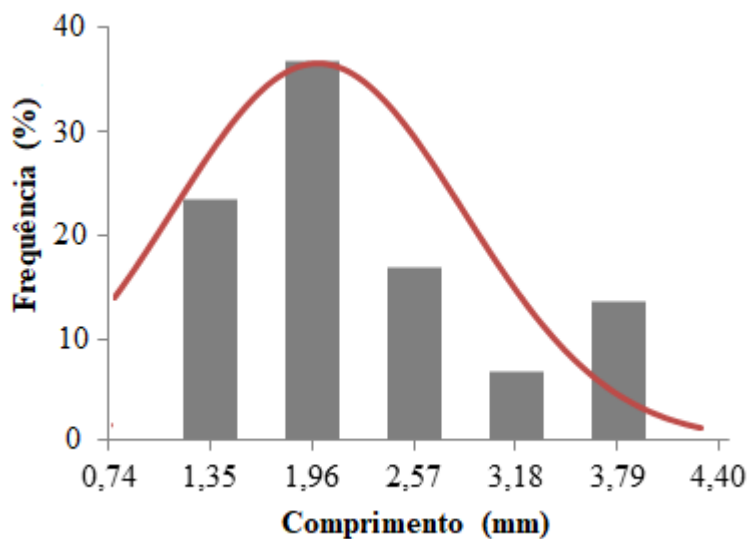


Figura 5 – Histograma – Comprimento das partículas de casca de arroz



Observa-se pela curva normal que a maior parte das partículas de casca de arroz apresenta largura próxima de 0,9 mm e comprimento de 1,95 mm.

Nas Figuras 6 e 7 estão representados os valores encontrados para comprimento e largura das partículas de casca de café.

Figura 6 – Histograma - Largura das partículas de casca de café

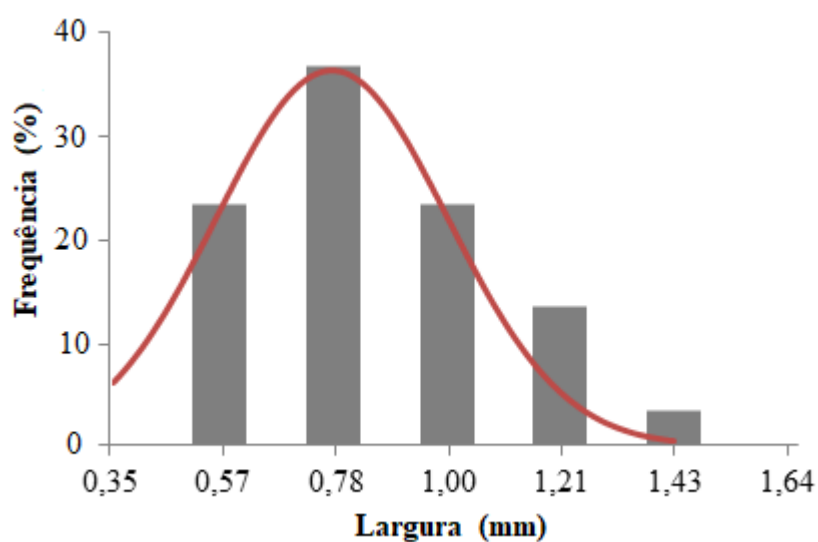
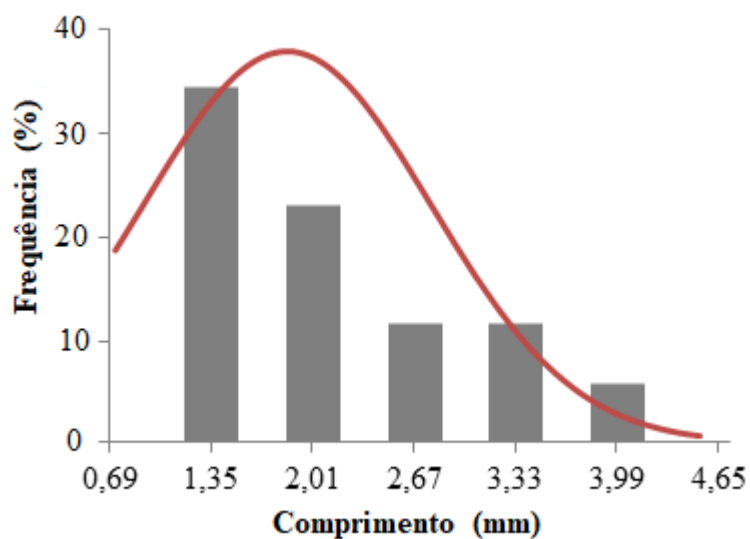


Figura 7 – Histograma - Comprimento das partículas de casca de café



Observa-se pela curva normal que a maior parte das partículas de casca de café apresenta largura próxima de 0,78 mm e comprimento de 2 mm.

Nas Figuras 8 e 9 estão representados os valores encontrados para comprimento e largura das partículas de bambu.

Figura 8 – Histograma - Largura das partículas de bambu

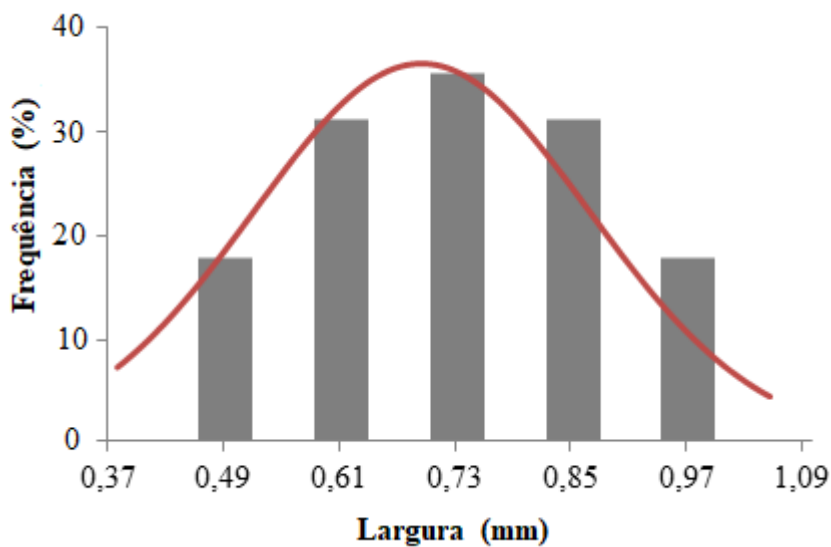
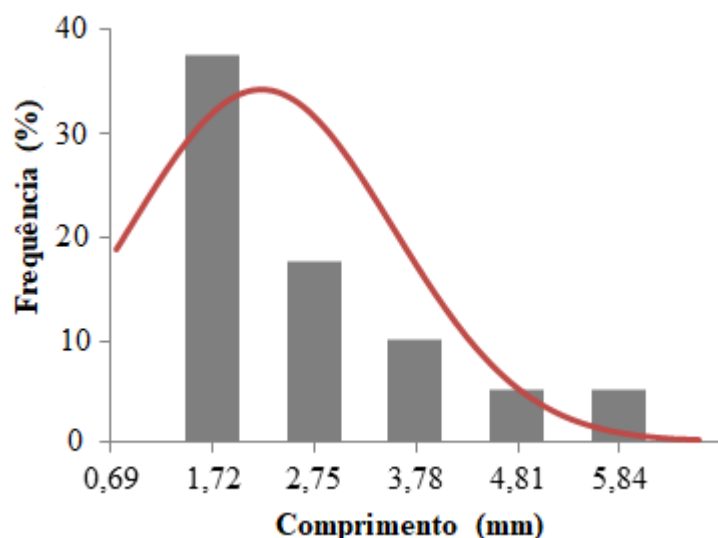


Figura 9 – Histograma - Largura das partículas de bambu



Observa-se que há uma maior distribuição em relação à largura das partículas de bambu, enquanto à maior parte das partículas apresentam um comprimento aproximado de 2,2mm.

Na Tabela 9 encontram-se os valores médios de comprimento e largura dos resíduos utilizados, bem como os valores de índice de esbeltez médio encontrados.

Tabela 9 – Largura média, comprimento médio e índice de esbeltez dos resíduos

<b>Tratamento</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Índice de Esbeltez</b>
<b>Casca de Arroz</b>	1,99 <sup>(0,69)</sup> A	0,87 <sup>(0,13)</sup> A	2,35 <sup>(0,86)</sup> B
<b>Casca de Café</b>	1,84 <sup>(0,80)</sup> A	0,77 <sup>(0,17)</sup> B	1,38 <sup>(1,17)</sup> C
<b>Bambu</b>	2,21 <sup>(1,06)</sup> A	0,70 <sup>(0,14)</sup> B	3,11 <sup>(1,12)</sup> A

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para o comprimento das partículas de resíduo, observa-se que não houve diferença estatística, no entanto para a largura a casca de café e o bambu se diferenciaram da casca de arroz apresentando partículas com menor largura. Com relação ao índice de esbeltez, todos os resíduos se diferenciaram entre si, sendo que o maior índice foi do bambu, seguido da casca de arroz e da casca de café, respectivamente. O índice de esbeltez é um parâmetro que pode exercer influência sobre a área de contato entre partícula e matriz, uma vez que quanto maior essa área de contato, melhor será a aderência da partícula a matriz e maior a estabilidade

dimensional do compósito, produzindo conseqüentemente compósitos com melhores propriedades mecânicas (BALDIN et al., 2016).

Os valores médios para os componentes químicos dos resíduos lignocelulósicos (casca de arroz, casca de café e bambu) estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Caracterização química dos resíduos lignocelulósicos

Tratamento	Extrativos	Lignina	Celulose	Hemicelulose	Cinzas
	%				
<b>Casca de Arroz</b>	8,36 <sup>(0,51)</sup> C	27,9 <sup>(1,05)</sup> A	21,95 <sup>(0,77)</sup> C	44,13 <sup>(0,58)</sup> A	9,60 <sup>(0,91)</sup> A
<b>Casca de Café</b>	30,50 <sup>(0,31)</sup> A	20,58 <sup>(0,4)</sup> B	26,3 <sup>(0,45)</sup> B	22,51 <sup>(0,45)</sup> B	7,42 <sup>(0,27)</sup> B
<b>Bambu</b>	9,95 <sup>(0,43)</sup> B	27,7 <sup>(0,5)</sup> A	37,18 <sup>(0,63)</sup> A	26,70 <sup>(0,48)</sup> B	3,70 <sup>(0,01)</sup> C

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Com relação aos extrativos, observa-se que todos os resíduos se diferenciaram entre si. Os menores valores de extrativos foram da casca de arroz, seguido do bambu e da casca de café, respectivamente. A presença de extrativos em grandes quantidades pode afetar a cura do cimento e por conseqüência, afetar a interação entre as partículas dos resíduos com a matriz cimentícia (CHECHIN et al., 2018; ALMEIDA et al., 2013). Os dados demonstram um elevado teor de extrativos na casca de café, o que é bastante indesejável para a produção dos tijolos solo-cimento.

Com relação à lignina, observa-se que a casca de arroz e o bambu, foram iguais estatisticamente, diferenciando da casca de café que apresentou um teor menor de lignina. Maiores teores são desejáveis, uma vez que a lignina é considerada uma substância incrustante que exerce a função de adesivo entre os tecidos dos materiais lignocelulósicos e por conseqüência tendem a aumentar a resistência mecânica dos compósitos, além de protegerem as partículas de eventuais degradações (VANHOLME et al., 2012).

Observa-se para a celulose, que todos os resíduos se diferenciaram entre si e os maiores valores foram encontrados, respectivamente, para o bambu, a casca de café e a casca de arroz. Altos teores de celulose podem ser benéficos, uma vez que introduzem aos compósitos excelentes propriedades mecânicas (CHENG et al., 2018; WEI; MEYER, 2015).

Com relação à hemicelulose a casca de café e o bambu foram iguais estatisticamente e se diferenciaram da casca de arroz, que apresentou maior o valor médio. Segundo Frybort et

al. (2008), a hemicelulose é uma substância inibidora que retarda a adesão das partículas ao cimento, impedindo a formação adequada do compósito, além de ser um dos componentes químicos que mais absorve água, logo, altos teores de hemicelulose podem ser prejudiciais.

Observa-se para as cinzas, que todos os resíduos se diferenciaram entre si, e o maior valor encontrado foi para a casca de arroz, seguido da casca de café e do bambu, respectivamente.

No estudo realizado por Azevedo et al. (2016), foram encontrados para a casca de arroz, valores médios para celulose, hemicelulose e lignina de 30,36%, 31,17% e 21,20%, respectivamente.

Teodoro et al. (2015), avaliaram a composição química do bambu (*Bambusa vulgaris*) e encontraram valores médios para teor de extrativos de 9,24%; lignina de 24,06% e holocelulose de 65,36%. Canilha et al. (2011) estudando a casca de café encontrou 9,1% de extrativos, 45% de celulose, 25,8% de hemicelulose, 19,1% de lignina e 1,4% de cinzas. As propriedades das partículas ou fibras naturais dependem principalmente da sua composição química. No entanto, devido a diversos fatores como localização geográfica, clima, tipo de fibra, condições do solo, dentre outras variáveis, faz com que sua composição química varie de fibra para fibra, até mesmo dentro de uma mesma espécie (CHIRAYIL et al., 2014).

Os valores encontrados para a densidade básica, porosidade e absorção máxima dos resíduos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Caracterização física dos resíduos lignocelulósicos

<b>Resíduo</b>	<b>Densidade Básica (g.cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>Densidade Aparente (%)</b>	<b>Absorção de Água (%)</b>
<b>Casca de Arroz</b>	0,368 <sup>(0,01)</sup> A	0,395 <sup>(0,04)</sup> A	279 <sup>(15,42)</sup> A
<b>Casca de Café</b>	0,154 <sup>(0,02)</sup> C	0,170 <sup>(0,05)</sup> C	374 <sup>(3,76)</sup> B
<b>Bambu</b>	0,250 <sup>(0,01)</sup> B	0,272 <sup>(0,04)</sup> B	414 <sup>(4,06)</sup> C

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Observa-se que tanto para a densidade básica, quanto para a aparente todos os resíduos se diferenciaram estatisticamente, e a menor densidade foi obtida para a casca de café, seguido do bambu e da casca de arroz, respectivamente. A baixa densidade das partículas lignocelulósicas pode diminuir a densidade final dos compósitos e melhorar as propriedades de isolamento térmico (COSTA et al., 2006; MAGALHÃES e ALMEIDA, 2010), sendo características de grande relevância, uma vez que há uma grande procura por materiais mais leves e eficientes.

Rosa et al., (2016), encontraram uma densidade básica para o bambu (*Bambusa vulgaris*) entre 0,30 e 0,80 g.cm<sup>-3</sup>, com média de 0,50 g.cm<sup>-3</sup>. Faria et al. (2013) encontraram para a casca de arroz uma densidade básica média de 0,233 g.cm<sup>-3</sup>, valor abaixo do encontrado nesse trabalho. Mendes et al. (2010) encontraram para a casca de café uma densidade básica de 0,195 g/cm<sup>3</sup>. Essa variabilidade pode se dar devido às diferenças de idades entre os indivíduos analisados, procedência, local de origem, espaçamento de plantio, taxa de crescimento, dentre outras variáveis (VALÉRIO et al., 2008).

Para a absorção de água, observa-se que todos os resíduos se diferenciaram entre si e os maiores valores de absorção foram do bambu, seguido da casca de café e da casca de arroz, respectivamente. Apesar da casca de arroz apresentar uma maior quantidade de hemicelulose, que é um composto químico hidrofílico, a absorção de água das partículas foi pequena e esse fato pode ser associado a maior quantidade de cinzas presente na casca de arroz, que indica a presença de uma cera protetora que envolve a partícula, fazendo com que ela absorva menos água (SLUITER et al., 2005).

A alta absorção de água de materiais lignocelulósicos é um obstáculo considerável, pois pode resultar em um inchamento das partículas e afetar a propriedades físicas e mecânicas dos compósitos (NOGUEIRA et al., 2018; GOMES et al., 2017; PASQUINI et al., 2006).

### **3.3 Caracterização dos tijolos solo-cimento**

#### **3.3.1 Caracterização física dos tijolos solo-cimento**

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios de densidade aparente para cada um dos tratamentos avaliados, antes e após o envelhecimento acelerado. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

Tabela 12 – Densidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas

<b>Tratamento</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Δ (%)</b>	<b>Densidade Aparente Envelhecido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Δ (%)</b>
<b>1,5% C.A.</b>	1,56 <sup>(0,10)</sup> ns b	6,71	1,48 <sup>(0,01)</sup> ns a	2,78
<b>3,0% C.A.</b>	1,47 <sup>(0,01)</sup> * a	-1,34	1,45 <sup>(0,01)</sup> ns a	0,69
<b>1,5% C.C.</b>	1,52 <sup>(0,01)</sup> ns a	2,01	1,47 <sup>(0,01)</sup> ns a	2,08
<b>3,0% C.C.</b>	1,44 <sup>(0,01)</sup> * b	-3,36	1,37 <sup>(0,01)</sup> * a	-4,86
<b>1,5% B.</b>	1,46 <sup>(0,01)</sup> * b	-2,01	1,42 <sup>(0,01)</sup> * a	-1,39
<b>3,0%B.</b>	1,41 <sup>(0,01)</sup> * a	-5,37	1,39 <sup>(0,01)</sup> * a	-3,47
<b>Controle</b>	1,49 <sup>(0,03)</sup> a		1,44 <sup>(0,05)</sup> a	

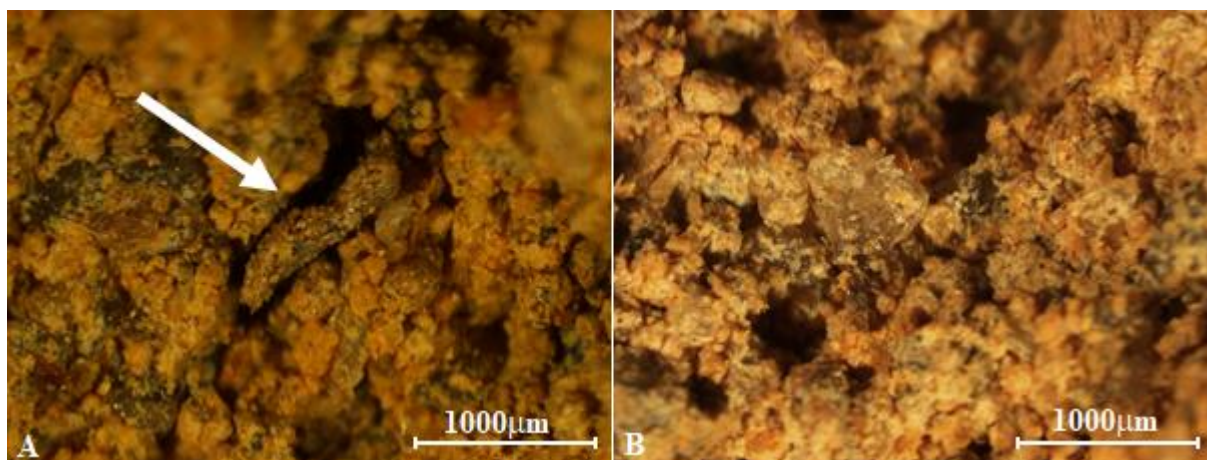
\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a propriedade densidade aparente dos tijolos após 28 dias de cura, somente os tijolos com 1,5% de casca de arroz e 1,5% de casca de café não apresentaram efeito significativo em comparação ao tratamento controle. Os demais tratamentos apresentaram diminuição na densidade, com variação entre -1,34 a -5,37%. Já para os tijolos envelhecidos, os tratamentos com 1,5% e 3,0% de casca de arroz e 1,5% de casca de café não apresentaram efeito significativo em comparação ao tratamento controle. Os demais tratamentos apresentaram diminuição na densidade, com variação entre -1,39 a -4,86%. O fato da maior parte dos tratamentos utilizando a casca de arroz não apresentarem efeito significativo com relação à densidade do tratamento controle, pode ser associado à maior densidade apresentada pela partícula lignocelulósica de casca de arroz. Vale lembrar que a densidade do compósito afeta diretamente suas propriedades, uma vez que quanto maior a densidade melhor será sua resistência mecânica, no entanto menor será sua capacidade de isolamento térmico.

Comparando os tijolos aos 28 dias de cura com os envelhecidos dentro de cada tratamento, observa-se que os tratamentos com 1,5% de casca de arroz, 3,0% de casca de café e 1,5% de bambu apresentaram uma redução na densidade aparente após os ciclos de envelhecimento. Esse resultado se deve à perda de aderência entre as partículas e a matriz devido a degradação sofrida durante os ciclos de envelhecimento, que deslocaram as partículas formando poros, como pode ser observado na Figura 10. Farrapo et al. (2017) também observaram na produção de compósitos à base de cimento com fibras de celulose, que os ciclos de molhagem e secagem geram perda parcial da aderência da celulose à matriz de cimento.



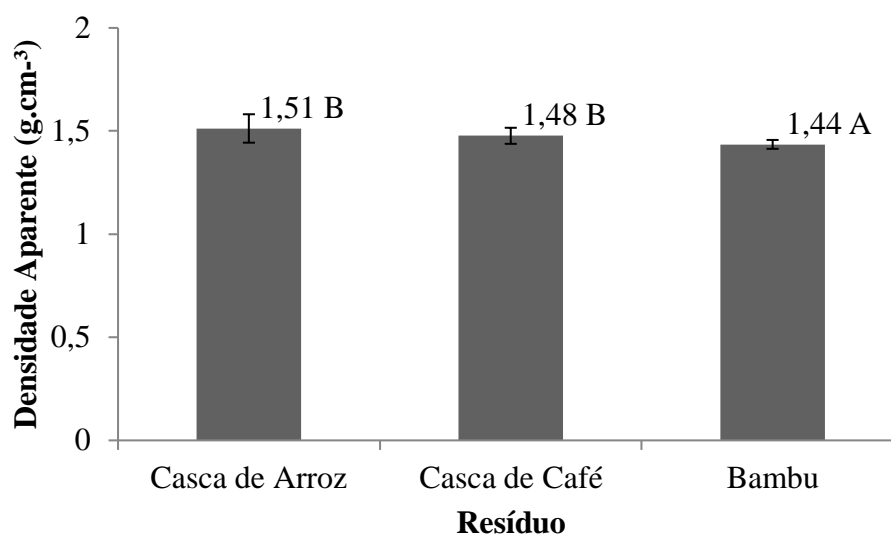
Figura 10 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento envelhecido e não envelhecido



A) Partícula de casca de café não aderida a matriz do tijolo solo-cimento após o envelhecido. B) Tijolo solo-cimento com casca de café não envelhecido.

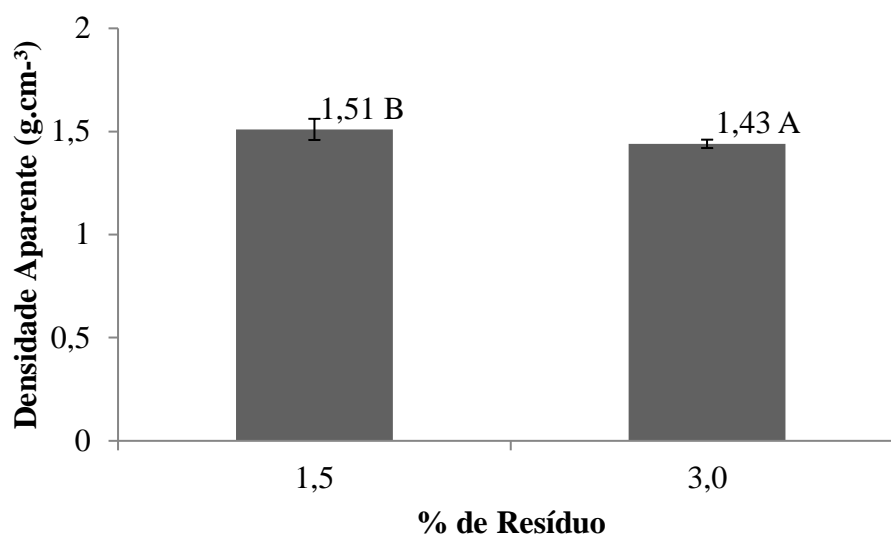
Com relação aos resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%), não foi observada interação para a densidade aparente dos tijolos aos 28 dias de cura. Na Figura 11 e 12 podem ser visualizados os valores médios de densidade aparente em função do tipo de resíduo e das porcentagens de reforço.

Figura 11 – Valores médios de densidade aparente em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Figura 12 – Valores médios de densidade aparente em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Na Figura 11, quando avaliada a densidade aparente em função dos resíduos, observa-se que os tratamentos com casca de arroz e a casca de café foram iguais estatisticamente e que se diferenciaram do tratamento com bambu, que apresentou uma menor densidade aparente. Com relação à avaliação da densidade em função das porcentagens de resíduos (Figura 12), nota-se que houve diferença estatística e os maiores valores de densidade aparente foram dos tratamentos com 1,5% de resíduo. Esse resultado está associado a menor densidade das partículas lignocelulósicas, que garantem aos compósitos uma menor densidade aparente. Zak et al. (2016) avaliando a misturas de solo, cimento, gesso e fibras de linho e cânhamo, também, observaram o decréscimo da densidade do compósito a partir da introdução de matéria vegetal.

Ainda sobre os dados, foi observada interação entre os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens aplicadas (1,5% e 3,0%) para os tijolos envelhecidos. Os desdobramentos dos dados para densidade aparente podem ser visualizados na Tabela 13.

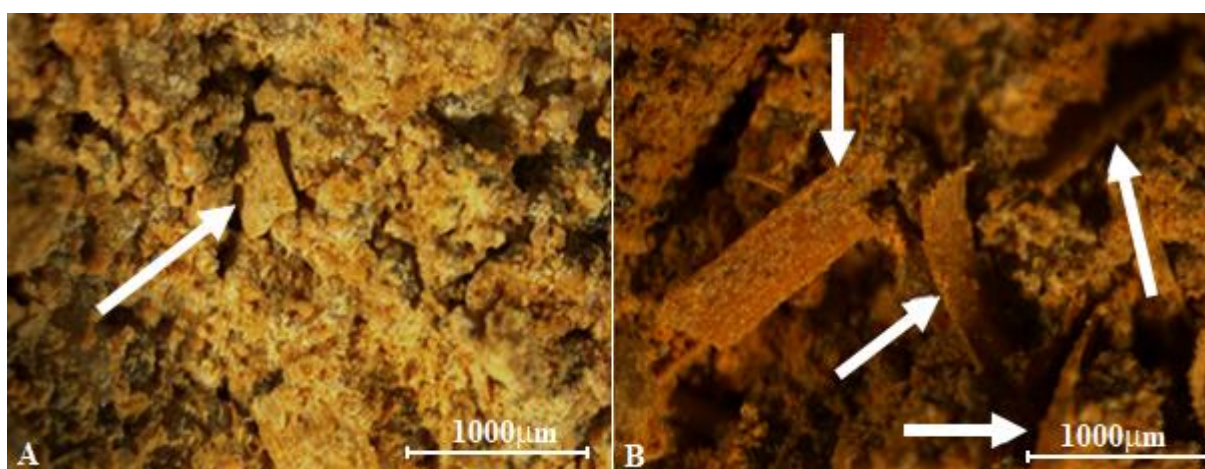
Tabela 13 – Desdobramento da densidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas envelhecidos ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

Tratamento	Casca de Arroz	Casca de Café	Bambu
1,5%	1,48 <sup>(0,01)</sup> Bb	1,47 <sup>(0,01)</sup> Bb	1,42 <sup>(0,01)</sup> Ba
3,0%	1,45 <sup>(0,01)</sup> Ac	1,37 <sup>(0,01)</sup> Aa	1,39 <sup>(0,01)</sup> Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a densidade aparente dos tijolos envelhecidos, avaliando as porcentagens (1,5% e 3,0%) dentro de cada resíduo utilizado (casca de arroz, casca de café e bambu), nota-se que para todos os resíduos houve diferença estatística entre as porcentagens, e os maiores valores de densidade foram observados para os tratamentos com 1,5% de resíduo. Esse fato está ligado à baixa densidade das partículas lignocelulósicas, uma vez que quanto maior a quantidade aplicada de resíduo menor a densidade final do compósito, além da necessidade de maiores teores água, para alguns tratamentos, para atingir a consistência ideal de moldagem dos tijolos, sendo que quanto maior a quantidade de água maior a formação de poros (BENTCHIKOU et al., 2012; ZAK et al., 2016). Podemos associar ainda à perda de aderência entre as partículas lignocelulósicas e a matriz, devido aos ciclos de envelhecimento que geram maior formação de poros, observados na Figura 13, e conseqüentemente redução da densidade do compósito.

Figura 13 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento do tratamento com casca de arroz após o envelhecimento acelerado



A) Formação de poros devido à perda de aderência entre a partícula e a matriz no tijolo solo-cimento com 1,5% de casca de arroz envelhecido; B) Formação de poros devido à perda de aderência entre as partículas e a matriz no tijolo solo-cimento com 3,0% de casca de arroz envelhecido.

Com relação aos tipos de resíduos dentro de cada porcentagem avaliada (Tabela 13), observa-se que tanto para a porcentagem de 1,5% quanto para a de 3,0% houve diferença estatística. Para 1,5% de resíduo, o bambu se diferenciou dos demais, apresentando uma menor densidade aparente. Para a porcentagem de 3,0%, todos os resíduos se diferenciaram entre si, sendo os maiores valores médios de densidade dos tijolos produzidos com casca de arroz, bambu e casca de café, respectivamente. Apesar das partículas de café apresentarem uma menor densidade comparada ao bambu, os compósitos fabricados com bambu apresentaram menor densidade, podemos relacionar esse resultado com a necessidade de um teor maior de água para a produção dos tijolos com bambu.

Na Tabela 14 estão apresentados os valores médios da porosidade aparente dos tijolos, antes e após o envelhecimento acelerado, para cada um dos tratamentos avaliados. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

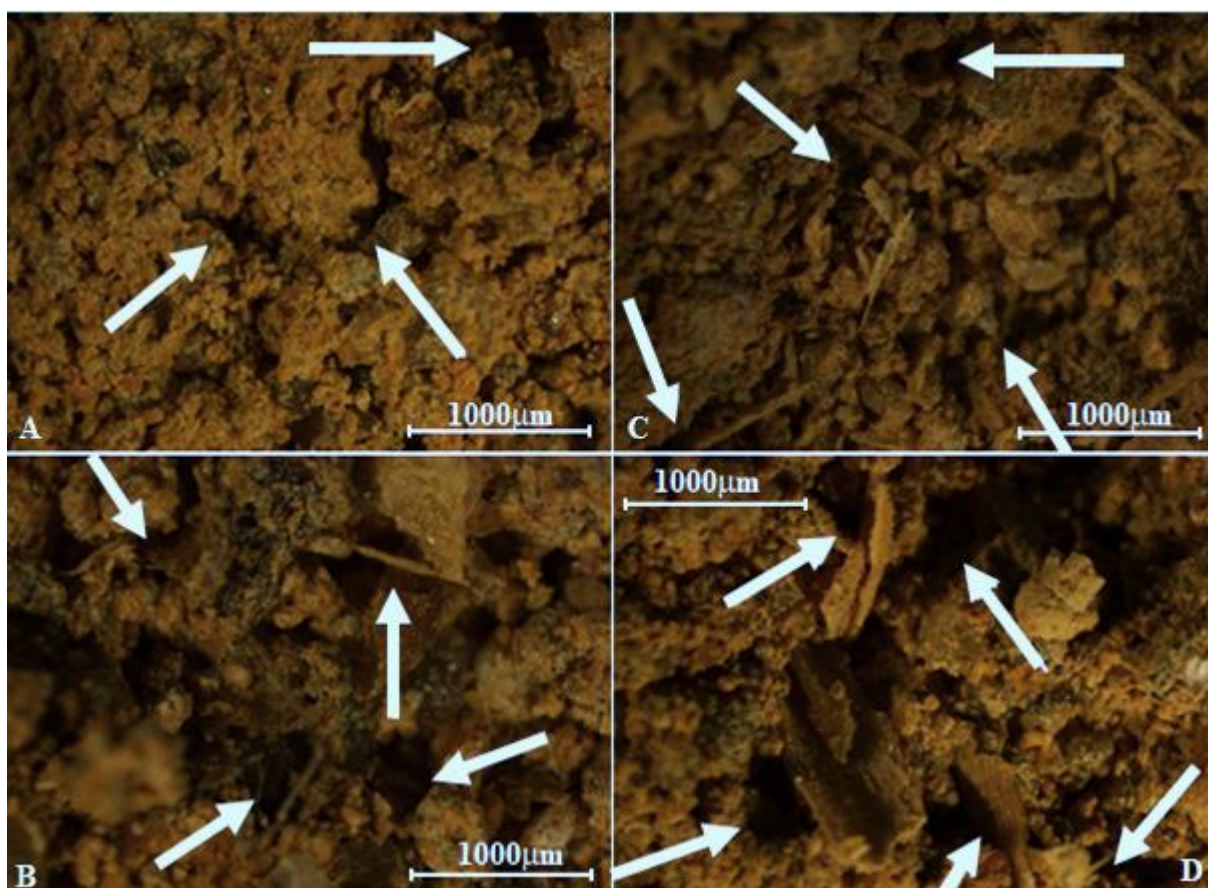
Tabela 14 – Porosidade aparente dos tijolos solo-cimento-partículas

<b>Tratamento</b>	<b>Porosidade Aparente (%)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>	<b>Porosidade Aparente Envelhecido (%)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>
<b>1,5% C.A.</b>	38,30 <sup>(1,16)</sup> * a	10,22	44,00 <sup>(0,57)</sup> * b	11,96
<b>3,0% C.A.</b>	37,18 <sup>(1,47)</sup> * a	6,99	43,43 <sup>(0,97)</sup> * b	10,51
<b>1,5% C.C.</b>	33,84 <sup>(0,76)</sup> ns a	-2,62	41,06 <sup>(0,54)</sup> * b	4,48
<b>3,0% C.C.</b>	41,06 <sup>(0,14)</sup> * a	18,16	46,73 <sup>(0,61)</sup> * b	18,91
<b>1,5% B.</b>	34,47 <sup>(1,17)</sup> ns a	-0,81	43,26 <sup>(0,61)</sup> * b	10,08
<b>3,0%B.</b>	41,18 <sup>(0,94)</sup> * a	18,50	47,76 <sup>(0,76)</sup> * b	21,53
<b>Controle</b>	34,75 <sup>(0,53)</sup> a		39,30 <sup>(0,58)</sup> b	

\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a propriedade porosidade aparente, somente os tratamentos com 1,5% de casca de café e 1,5% de bambu aos 28 dias de cura, não apresentaram efeito significativo em comparação ao tratamento controle. Os demais tratamentos apresentaram aumento na porosidade, com variação entre 6,99 a 18,50%. Para os tijolos envelhecidos, foi observado efeito significativo para todos dos tratamentos, com variação entre 4,48 a 21,53%. Resultados associados à expansão das partículas lignocelulósicas ao absorver água durante a confecção dos tijolos e retração após a secagem ao ar livre, fazendo com que surjam espaços vazios e perda de aderência, observados na Figura 14, aumentando a porosidade e a absorção de água (BOONSTRA E TJEERDSMA, 2006).

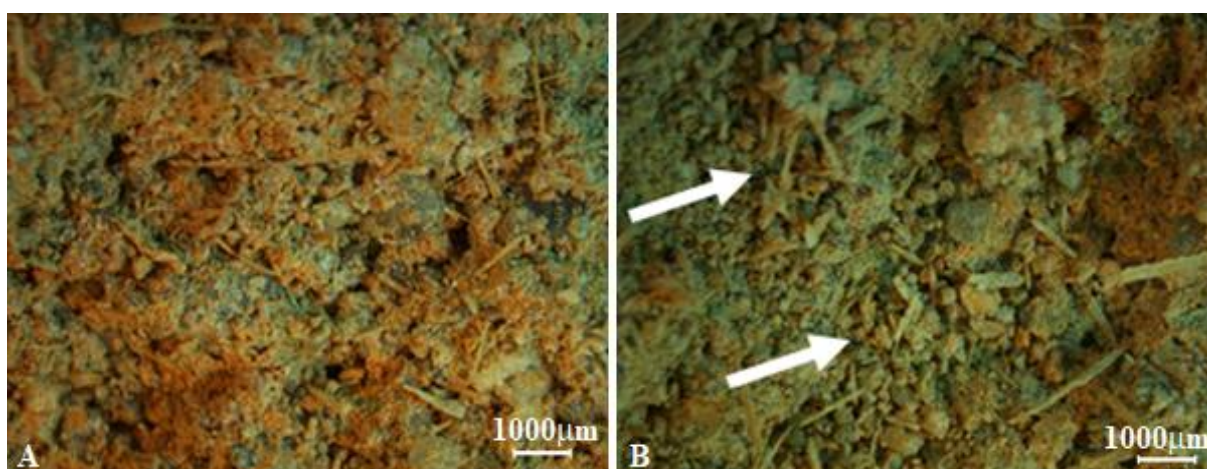
Figura 14 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento controle e tratados com resíduos aos 28 dias



A) Formação de poros no tijolo solo-cimento controle; B) Formação de poros no tijolo solo-cimento com 3,0% de casca de café; C) Formação de poros no tijolo solo-cimento com 1,5% bambu; D) Formação de poros no tijolo solo-cimento com 1,5% de casca de arroz

Comparando os tijolos após 28 dias de cura com os tijolos envelhecidos dentro de cada tratamento, nota-se que todos os tratamentos apresentaram diferença estatística para a taxa de porosidade, sendo os maiores valores encontrados para os tijolos envelhecidos, estando associado à movimentação dimensional sofrida durante os ciclos de envelhecimento, que afeta a interação das partículas com a matriz, deixando o compósito com aspecto mais granular, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura e envelhecidos



A) Tijolo solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura com maior interação entre as partículas e a matriz; B) Tijolo solo-cimento com bambu envelhecido com menor interação entre as partículas e a matriz (partículas não aderidas).

Ainda sobre os dados, foi observada interação entre os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens aplicadas (1,5% e 3,0%) tanto para os tijolos aos 28 dias de cura, quanto para os envelhecidos. Os desdobramentos dos dados de porosidade aparente dos tijolos aos 28 dias de cura e envelhecidos podem ser visualizados na Tabela 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 – Valores médios de porosidade aparente em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos aos 28 dias de cura (%)

<b>Tratamento</b>	<b>Casca de Arroz</b>	<b>Casca de Café</b>	<b>Bambu</b>
<b>1,5%</b>	38,30 <sup>(1,16)</sup> Ab	33,84 <sup>(1,15)</sup> Aa	34,47 <sup>(1,24)</sup> Aa
<b>3,0%</b>	37,18 <sup>(1,47)</sup> Aa	41,06 <sup>(0,14)</sup> Bb	41,18 <sup>(0,94)</sup> Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Tabela 16 – Valores médios de porosidade aparente em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos envelhecidos (%)

<b>Tratamento</b>	<b>Casca de Arroz</b>	<b>Casca de Café</b>	<b>Bambu</b>
<b>1,5%</b>	44,00 <sup>(0,57)</sup> Ab	41,06 <sup>(0,54)</sup> Aa	43,26 <sup>(0,61)</sup> Ab
<b>3,0%</b>	43,43 <sup>(0,97)</sup> Aa	46,73 <sup>(0,61)</sup> Bb	47,76 <sup>(0,76)</sup> Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Avaliando as porcentagens (1,5% e 3,0%) dentro de cada resíduo (casca de arroz, casca de café e bambu), tanto para os tijolos aos 28 dias de cura quanto para os envelhecidos, observa-se que apenas os tratamentos com casca de arroz não apresentaram diferença estatística, os tratamentos com casca de café e bambu se diferenciaram entre si e as maiores taxas de porosidade foram obtidas nos tratamentos com 3,0% de resíduo. A menor quantidade de extrativos presentes nas partículas de casca de arroz justificam a menor porosidade dos tijolos, uma vez que grandes quantidades de extrativos afetam a interação entre a matriz e as partículas, formando maior número de poros (ALMEIDA et al., 2013; FERREIRA et al., 2012).

Ao comparar os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) dentro de cada porcentagem (1,5% e 3,0%), tanto para os tijolos aos 28 dias de cura, quanto para os tijolos envelhecidos observou-se efeito significativo para a porosidade aparente. Ao utilizar 1,5% de resíduo, para os tijolos aos 28 dias de cura, nota-se que a casca de arroz apresentou maior porosidade comparada à casca de café e bambu, que foram iguais estatisticamente. Já para a porcentagem de 1,5%, para os tijolos envelhecidos, observa-se que a casca de arroz e o bambu foram iguais estatisticamente diferenciando da casca de café que apresentou uma menor taxa de porosidade.

Para a porcentagem de 3,0%, tanto para os tijolos aos 28 dias, quanto para os envelhecidos, a casca de arroz apresentou os menores valores médio de porosidade aparente se diferenciando da casca de café e o bambu que foram iguais estatisticamente. Portanto, concluiu-se que apesar de inicialmente a casca de arroz apresentar uma alta porosidade em comparação aos demais resíduos, com o aumento da porcentagem de resíduo há uma maior estabilização da taxa de porosidade quando se utiliza a casca de arroz, comparado aos demais resíduos, que tendem a aumentar de forma muito mais significativa. Esse resultado está associado à menor quantidade de extrativos presentes na casca de arroz que gera uma melhor aderência entre as partículas e a matriz comparado aos demais tratamentos. Uma maior porosidade acarreta prejuízos na instabilidade dos tijolos, diminuindo suas propriedades mecânicas e prejudicando sua vida útil, uma vez que os tijolos poderão degradar mais rapidamente (BITTENCOURT et al., 2016).

No estudo de Kasmi et al. (2016), foi utilizada a cinza de casca de arroz com diferentes porcentagens (5%, 10% e 15%) para a fabricação de tijolos, os autores constataram que a adição de cinza de casca de arroz aumentou a porosidade dos tijolos, fator que aumenta a absorção de água, mas contribui para a redução de peso do componente, além de melhorar o isolamento térmico.

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios da absorção de água dos tijolos, antes e após o envelhecimento acelerado, para cada um dos tratamentos avaliados. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

Tabela 17 – Absorção de água dos tijolos solo-cimento-partículas

Tratamento	Absorção de água (%)	$\Delta$ (%)	Absorção de água envelhecido (%)	$\Delta$ (%)
<b>1,5% C.A.</b>	22,12 <sup>(1,18)</sup> * a	10,99	25,79 <sup>(0,31)</sup> * b	11,07
<b>3,0% C.A.</b>	23,90 <sup>(0,73)</sup> * a	19,92	25,06 <sup>(0,55)</sup> * b	7,92
<b>1,5% C.C.</b>	20,57 <sup>(1,15)</sup> ns a	3,21	24,03 <sup>(0,40)</sup> ns b	3,49
<b>3,0% C.C.</b>	22,73 <sup>(0,22)</sup> * a	14,05	27,12 <sup>(0,44)</sup> * b	16,80
<b>1,5% B.</b>	22,57 <sup>(1,24)</sup> * a	13,25	24,78 <sup>(0,47)</sup> * a	6,72
<b>3,0%B.</b>	22,72 <sup>(2,02)</sup> * a	14,00	27,36 <sup>(0,56)</sup> * b	17,83
<b>Controle</b>	19,93 <sup>(0,80)</sup> a		23,22 <sup>(0,31)</sup> b	

\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

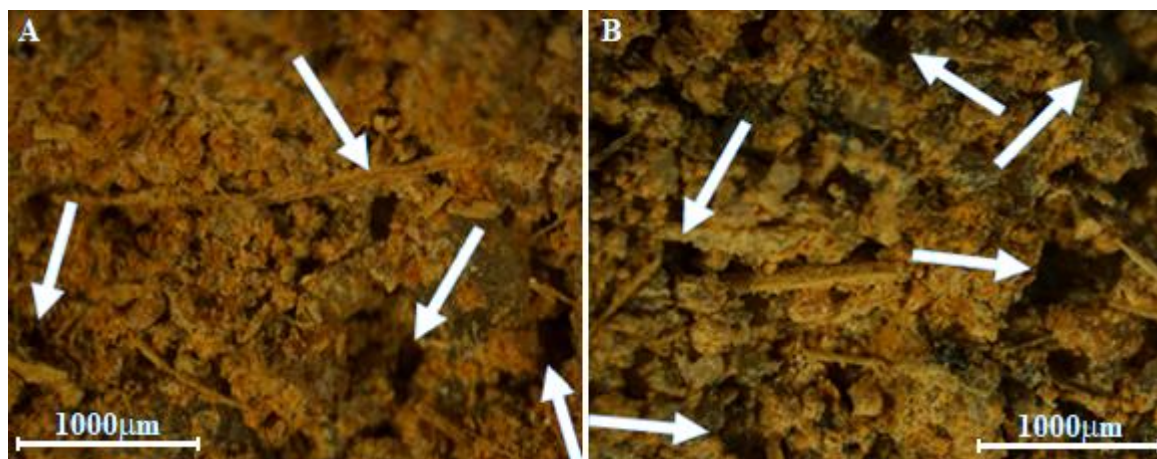
É possível observar tanto para os tijolos após 28 dias de cura quanto para os tijolos envelhecidos, que a substituição pelos resíduos não apresentou efeito significativo apenas para o tratamento com 1,5% de casca de café em comparação aos tijolos controle. Os demais tratamentos aos 28 dias de cura e envelhecidos obtiveram efeito significativo, sendo que a absorção de água foi maior comparado ao controle. A variação para os tijolos aos 28 dias de cura foi de 10,99 a 19,92, já para os tijolos envelhecidos foi de 6,72 a 17,83. A norma NBR 8491 (ABNT, 2012) determina uma taxa máxima de absorção de água de 20%, logo, apenas o tratamento controle aos 28 dias atendeu ao valor máximo, já os tijolos produzidos com resíduos não se enquadraram na faixa determinada. Essa maior absorção de água é justificada pelo aumento da porosidade dos tijolos com a inclusão das partículas lignocelulósicas, além da degradação sofrida ao longo dos ciclos de envelhecimento.

Comparando os tijolos aos 28 dias de cura com os envelhecidos, observa-se que apenas o tratamento com 1,5% de bambu não se diferenciou estatisticamente. Os demais tratamentos apresentaram maior absorção de água nos tijolos envelhecidos, esse fato pode estar relacionado ao caráter hidrofílico dos resíduos lignocelulósicos, uma vez que os resíduos apresentaram baixa porcentagem de lignina, constituinte químico que apresenta resistência à água e grande quantidade de hemicelulose e celulose que apresentam afinidade com a água (GALLIO et al., 2018; SENDNER et al., 2009). Além do fator relacionado a composição



química das partículas, os tijolos envelhecidos apresentaram maior porosidade, devido ao deslocamento de partículas e a formação de poros (Figura 16).

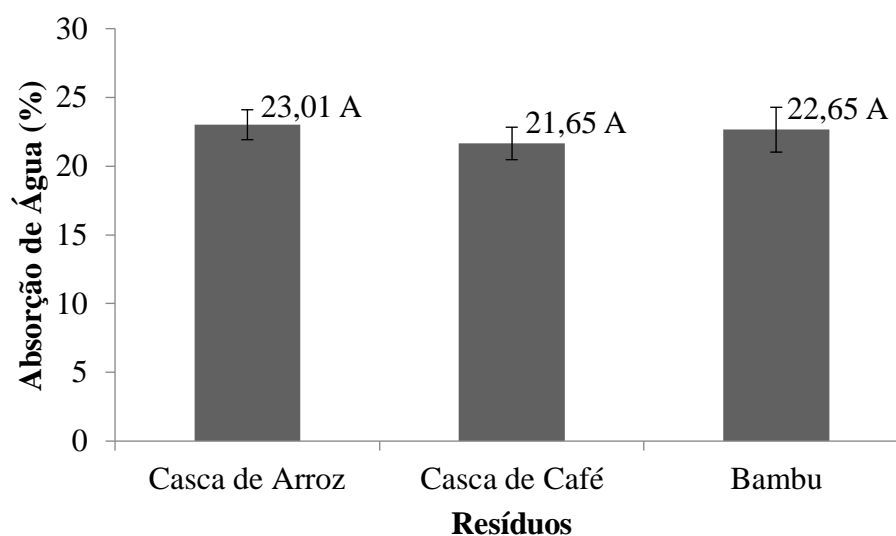
Figura 16 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura e envelhecidos



A) Poros nos tijolo solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura; B) Poros nos tijolo solo-cimento com bambu envelhecido.

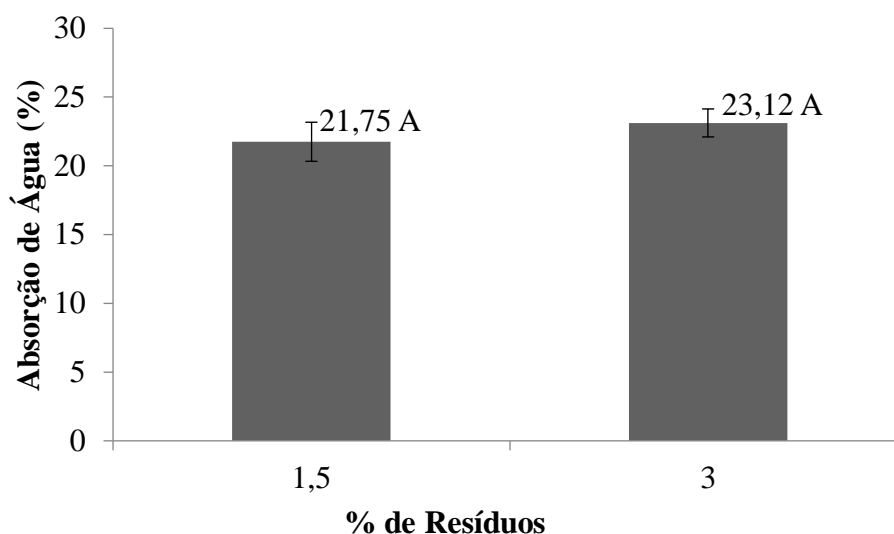
Não foi observada interação entre os três resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%) para a propriedade absorção de água dos tijolos aos 28 dias de cura. Na Figura 17 e 18 podem ser visualizados os valores médios de absorção de água em função do resíduo e das porcentagens.

Figura 17 – Valores médios de absorção de água em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Figura 18 – Valores médios de absorção de água em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Quando avaliada a absorção de água em função dos resíduos, observa-se que os valores médios foram estatisticamente iguais para os três resíduos utilizados. Com relação à avaliação da absorção de água em função das porcentagens de resíduos, nota-se que também não houve diferenciação estatística entre as porcentagens.

Ainda em relação aos dados, foi observada interação, para os tijolos envelhecidos, entre os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%). Os desdobramentos dos dados para absorção de água podem ser visualizados na Tabela 18.

Tabela 18 – Desdobramento da absorção de água dos tijolos solo-cimento-partículas envelhecidos (%)

Tratamento	Casca de Arroz	Casca de Café	Bambu
<b>1,5%</b>	25,79 <sup>(0,31)</sup> Ab	24,03 <sup>(0,40)</sup> Aa	24,78 <sup>(0,47)</sup> Aa
<b>3,0%</b>	25,06 <sup>(0,55)</sup> Aa	27,12 <sup>(0,44)</sup> Bb	27,36 <sup>(0,56)</sup> Bb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Avaliando as porcentagens (1,5% e 3,0%) dentro de cada resíduo (casca de arroz, casca de café e bambu), observa-se que apenas para a casca de café e o bambu houve diferença estatística e os maiores valores de absorção foram obtidos para os tratamentos com

3,0% de material lignocelulósico. Essa maior taxa de absorção se deve a maior porosidade dos compósitos devido à perda de aderência entre as partículas e a matriz e a grande afinidade apresentada pelos materiais lignocelulósicos com a água, que intensifica com a maior quantidade de partículas.

Ao comparar os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) dentro de cada porcentagem (1,5% e 3,0%) observou-se que ao utilizar 1,5% de resíduo os tijolos fabricados com casca de arroz apresentaram uma taxa de absorção de água superior aos demais tratamentos que foram iguais estatisticamente. Já para os tratamentos com 3,0% de resíduo, a casca de café e o bambu foram iguais estatisticamente se diferenciando da casca de arroz que apresentou menor absorção de água.

O aumento da porosidade do material compósito como resultado da adição de materiais lignocelulósicos é o principal fator responsável pela maior absorção de água. Assim como foi observado nos resultados de porosidade, a casca de arroz promoveu certa estabilização com relação à absorção de água comparada aos demais resíduos, a explicação para esse fato está na presença da cera que envolve a partícula de casca de arroz, que apesar de apresentar uma grande quantidade de hemicelulose, apresenta esse constituinte que bloqueia a absorção de água.

Cristina et al. (2018), avaliando a produção de tijolo solo-cimento com bucha vegetal em diferentes porcentagens (0, 5 e 10%) obteve uma absorção de água média variando de 9,70 a 10,31%. Silva et al. (2017), avaliaram tijolos solo-cimento contendo 4 porcentagens distintas (0%, 5%, 8% e 11%) de PET e obtiveram valores médios de absorção de água entre 19,01% a 21,95%, sendo que a medida em que se aumentava as porcentagens de resíduos, aumentava a absorção de água, devido ao aumento da formação de poros.

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios de perda de massa por imersão dos tijolos, antes e após o envelhecimento acelerado, para cada um dos tratamentos avaliados. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

Tabela 19 – Perda de massa por imersão dos tijolos solo-cimento-partículas

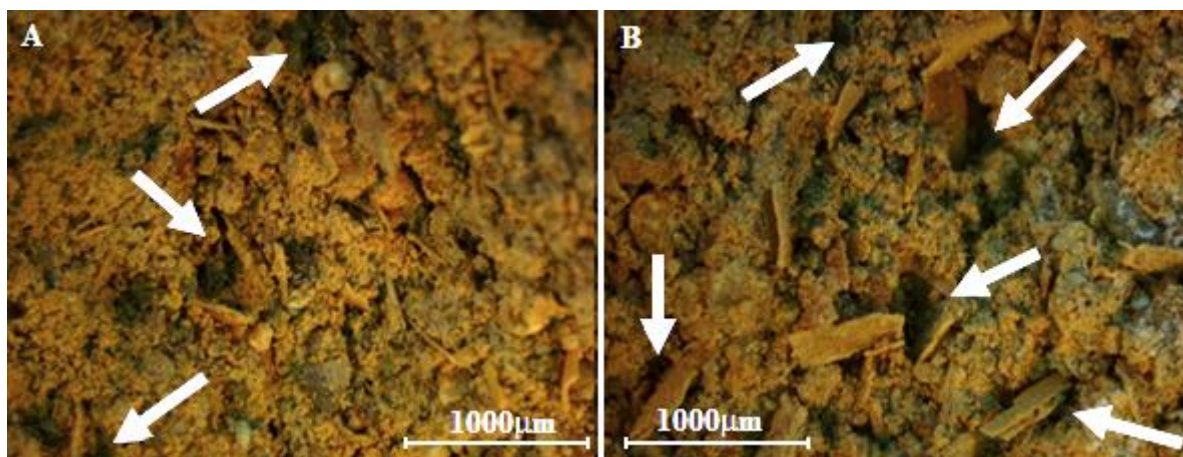
<b>Tratamento</b>	<b>Perda de Massa (%)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>	<b>Perda de Massa Envelhecido (%)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>
<b>1,5% C.A.</b>	4,52 <sup>(0,08)</sup> ns a	-3,42	7,00 <sup>(1,34)</sup> ns b	9,20
<b>3,0% C.A.</b>	3,50 <sup>(0,03)</sup> * a	-25,21	9,77 <sup>(0,46)</sup> ns b	52,42
<b>1,5% C.C.</b>	4,11 <sup>(0,04)</sup> * a	-12,18	7,20 <sup>(2,17)</sup> ns a	12,32
<b>3,0% C.C.</b>	3,66 <sup>(0,29)</sup> * a	-21,79	9,72 <sup>(1,57)</sup> ns b	51,64
<b>1,5% B.</b>	3,74 <sup>(0,10)</sup> * a	-20,09	7,65 <sup>(1,40)</sup> ns a	19,34
<b>3,0%B.</b>	4,45 <sup>(0,11)</sup> ns a	-4,91	6,87 <sup>(2,44)</sup> ns a	7,18
<b>Controle</b>	4,68 <sup>(0,20)</sup> a		6,41 <sup>(1,27)</sup> a	

\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a propriedade perda de massa por imersão dos tijolos aos 28 dias de cura, não foi observado efeito significativo para os tratamentos com 1,5% de casca de arroz e 3,0% de bambu comparado ao controle. Os demais tratamentos apresentaram diminuição na perda de massa, e obtiveram variação de -12,18 a -25,21%. A adição de resíduos aos compósitos dá maior estabilidade a matriz, por isso observa-se uma redução na perda de massa dos tijolos solo-cimento. Para os tijolos envelhecidos observou-se que não houve efeito significativo em relação a perda de massa para nenhum dos tratamentos comparados ao controle. Esse resultado está relacionado a perda de aderência das partículas com a matriz após o envelhecimento, fazendo com que se perca maior quantidade de material. Conforme a ABCP (1986) e a NBR 13.553 (ABNT, 1996), a perda de massa de tijolos solo-cimento, depois de submetidos aos ciclos de imersão e secagem, não deve ser superior a 10%. Constatou-se, portanto, que todos os traços foram aprovados em relação a esse limite.

Comparando os tijolos aos 28 dias de cura com os envelhecidos observa-se que apenas os tratamentos 1,5% e 3,0% de casca de arroz e 3,0% de casca de café apresentaram valores estatisticamente maiores quando envelhecidos. Resultado relacionado à degradação sofrida durante os ciclos de envelhecimento, que diminui a interação das partículas com a matriz resultando numa maior perda de massa, como pode-se observar na Figura 19.

Figura 19 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com casca de arroz aos 28 dias de cura e envelhecidos



A) Menor quantidade de poros e maior interação entre as partículas de casca de arroz e a matriz no tijolo solo-cimento aos 28 dias de cura; B) Maior quantidade de poros e menor interação entre as partículas de casca de arroz e a matriz no tijolo solo-cimento envelhecido.

Ainda em relação aos dados, foi observada interação entre os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens aplicadas (1,5% e 3,0%) para os tijolos aos 28 dias de cura. Os desdobramentos dos dados para perda de massa por imersão podem ser visualizados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores médios de perda de massa por imersão em função dos resíduos e das porcentagens dos tijolos (%)

<b>Tratamento</b>	<b>Casca de Arroz</b>	<b>Casca de Café</b>	<b>Bambu</b>
<b>1,5%</b>	4,52 <sup>(1,28)</sup> Ac	4,11 <sup>(1,15)</sup> Ab	3,74 <sup>(1,24)</sup> Ba
<b>3,0%</b>	3,50 <sup>(0,73)</sup> Ba	3,66 <sup>(0,22)</sup> Ba	4,45 <sup>(2,02)</sup> Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

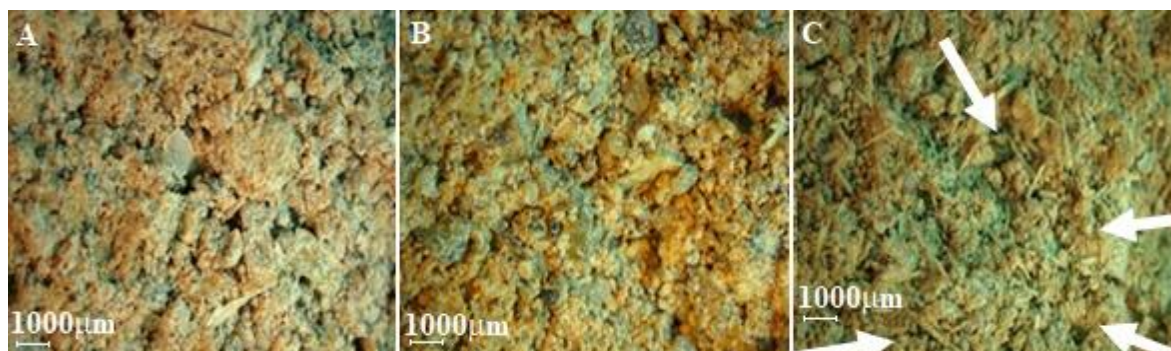
Para a perda de massa por imersão, avaliando as porcentagens (1,5% e 3,0%) dentro de cada resíduo (casca de arroz, casca de café e bambu), nota-se que todos os tratamentos se diferenciaram estatisticamente. Para o resíduo de casca de arroz e casca de café, os maiores valores de perda de massa por imersão foram observados quando se utilizou 1,5% de resíduo, esse fato está associado a maior estabilização do solo ao se utilizar maior quantidade de partículas, pois à medida que se aumenta a porcentagem de partículas, melhora a estruturação do solo, fazendo com que haja uma menor perda de massa. No entanto para o bambu o maior valor médio foi observado ao se utilizar 3,0%, esses resultados podem estar relacionados à

geometria das partículas de bambu que geraram uma menor interação com a matriz e por consequência produziu compósitos com maior taxa de porosidade, facilitando a perda de massa e a degradação dos tijolos.

Ao comparar os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) dentro de cada porcentagem (1,5% e 3,0%), observou-se efeito significativo para a perda de massa por imersão. Ao utilizar 1,5% de resíduo, nota-se que todos os resíduos se diferenciaram entre si, e que o bambu foi o que apresentou menor perda de massa, seguido da casca de café e da casca de arroz, respectivamente. Já ao se utilizar 3,0% de resíduo, a casca de arroz e a casca de café foram iguais estatisticamente e se diferenciaram do bambu que apresentou o maior valor médio.

Observa-se que apesar de inicialmente a casca de arroz e a casca de café apresentar maior perda de massa e com o aumento da porcentagem de resíduo há uma maior estabilização comparada ao bambu. Pela Figura 20 é possível perceber um aspecto mais granular dos tijolos feitos com bambu comparado aos tijolos confeccionados com casca de café e casca de arroz.

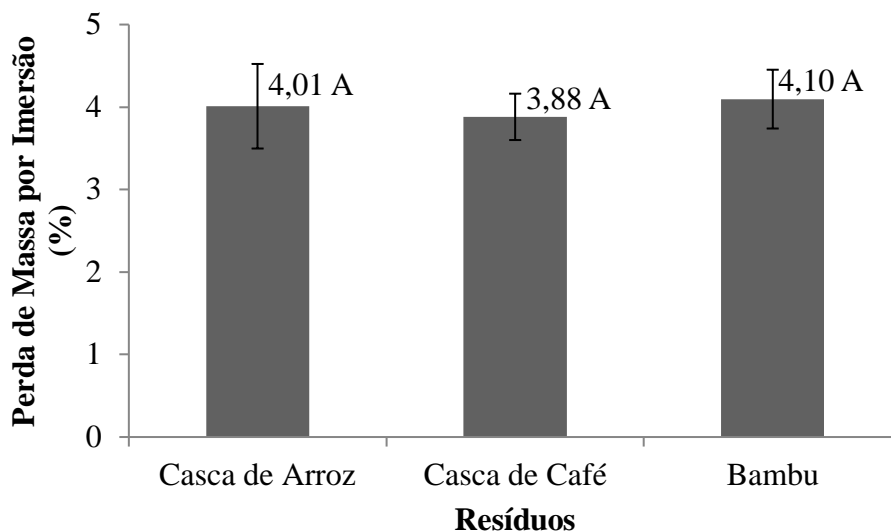
Figura 20 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento com resíduos aos 28 dias de cura



(a) Tijolo solo-cimento com 3,0% de casca de arroz aos 28 dias de cura; (b) Tijolo solo-cimento com 3,0% de casca de café aos 28 dias de cura; (c) Tijolos solo-cimento com 3,0% de bambu aos 28 dias de cura.

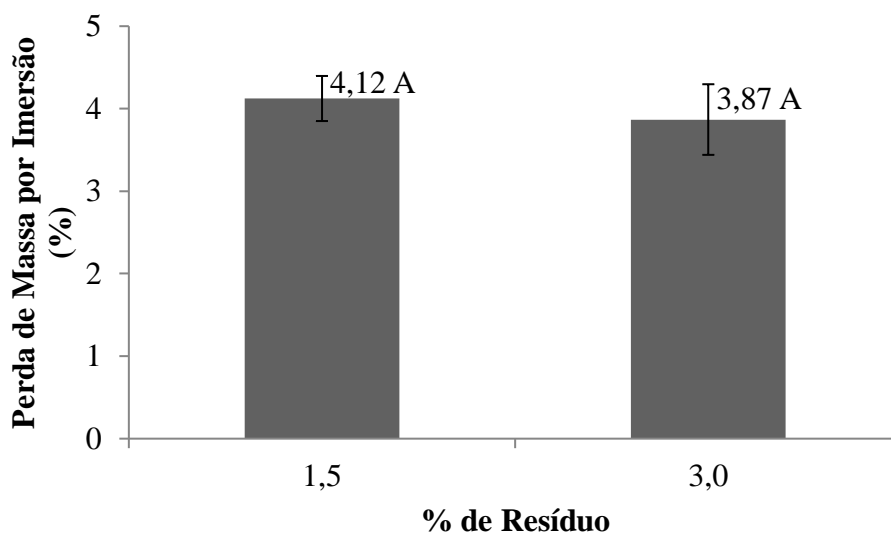
Não foi observada interação entre os três resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%) para a propriedade perda de massa por imersão dos tijolos envelhecidos. Na Figura 21 e 22 podem ser visualizados os valores médios de perda de massa em função do resíduo e das porcentagens.

Figura 21 – Valores médios de perda de massa por imersão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Figura 22 – Valores médios de perda de massa por imersão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Na Figura 21, quando avaliada a perda de massa por imersão em função dos resíduos, observa-se que os valores médios foram estatisticamente iguais para os três resíduos utilizados. Com relação à avaliação da perda de massa em função das porcentagens de resíduos (Figura 22), nota-se que também não houve diferenciação estatística entre as

porcentagens. Segundo Picchi et al. (1990) quanto maior for o efeito da estabilização do solo, menor deve ser a perda de massa, indicando que o componente construtivo possui durabilidade e resistência.

### 3.3.2 Caracterização mecânica dos tijolos solo-cimento

Na Tabela 21 estão apresentados os valores médios de resistência à compressão para cada um dos tratamentos avaliados, antes e após o envelhecimento acelerado. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

Tabela 21 – Resistência à compressão dos tijolos solo-cimento-partículas

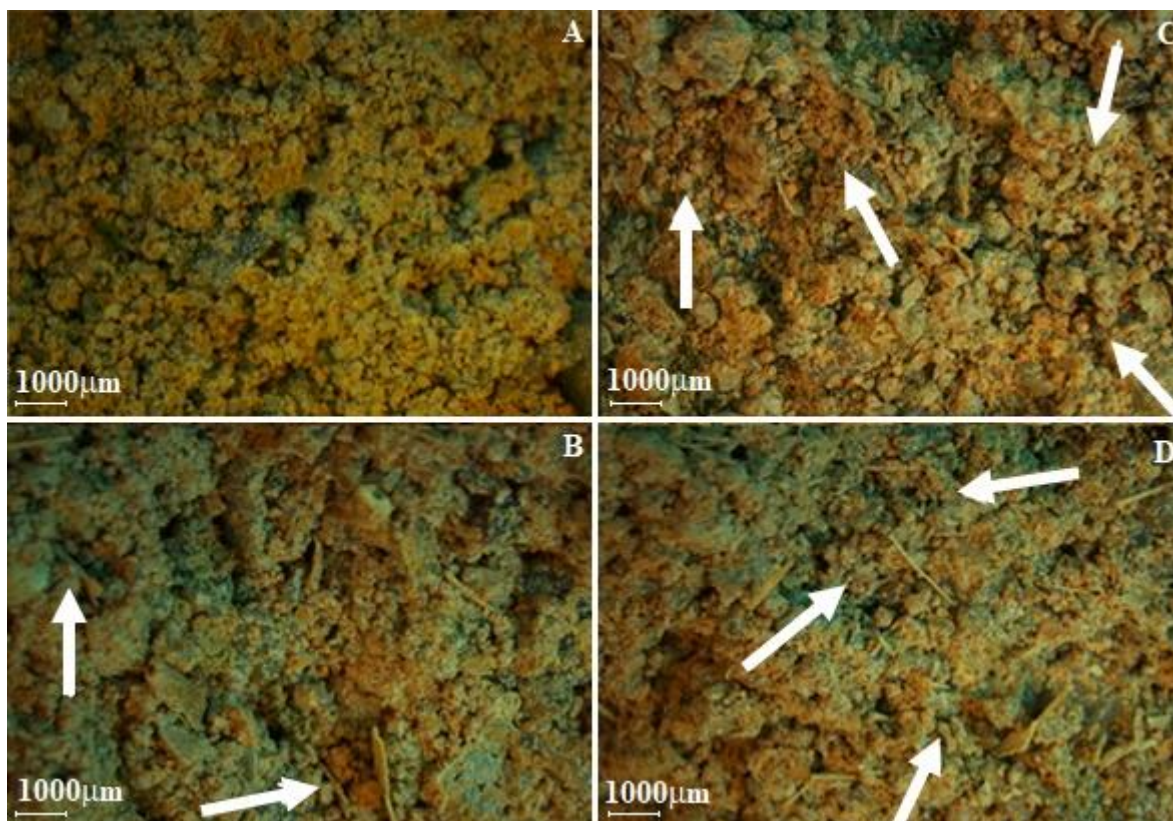
Tratamento	Resistência à Compressão (MPa)	$\Delta$ (%)	Resistência à Compressão Envelhecido (MPa)	$\Delta$ (%)
<b>1,5% C.A.</b>	1,75 (0,25) * a	-20,09	1,72 (0,07) * a	-16,10
<b>3,0% C.A.</b>	1,63 (0,24) * a	-25,57	1,47 (0,05) * a	-28,29
<b>1,5% C.C.</b>	1,39 (0,08) * a	-36,53	1,19 (0,19) * a	-41,95
<b>3,0% C.C.</b>	0,80 (0,03) * a	-63,47	0,83 (0,03) * a	-59,51
<b>1,5% B.</b>	1,57 (0,21) * a	-28,31	1,33 (0,28) * a	-35,12
<b>3,0%B.</b>	1,23 (0,03) * a	-43,84	1,46 (0,10) * a	-28,78
<b>Controle</b>	2,19 (0,29) a		2,05 (0,14) a	

\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a resistência à compressão, tanto para os tijolos aos 28 dias de cura quanto para os envelhecidos, todos os tratamentos apresentaram efeito significativo em comparação ao tratamento controle. Observou-se que a utilização dos resíduos na fabricação dos tijolos solo-cimento apresentou uma queda na resistência mecânica, com variação entre -20,09 a 63,47% para os tijolos com 28 dias de cura e -16,10 a -59,51% para os tijolos envelhecidos. Esse fato está relacionado à maior porosidade dos tijolos produzidos com resíduos lignocelulósicos e devido a sua menor densidade, uma vez que são fatores que influenciam diretamente as propriedades mecânicas de qualquer compósito. Podemos ainda relacionar os resultados obtidos para resistência à compressão ao aspecto granular apresentado pelos tijolos com fibras comparados ao tijolo controle, observado na Figura 23. Observa-se ainda que os valores médios encontrados para os tratamentos com resíduos não atenderam à norma NBR 8491 (ABNT, 2012), que estipula um valor mínimo de 2 MPa e que apenas os tratamentos controles, no estado natural e envelhecido superaram o valor mínimo.



Figura 23 – Imagem de microscopia óptica dos tijolos solo-cimento controle e com resíduos aos 28 dias de cura

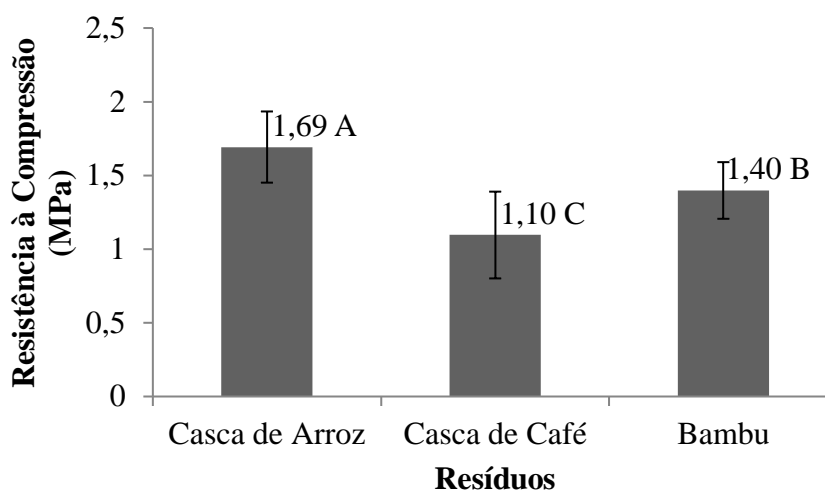


(a) Tijolo solo-cimento controle aos 28 dias de cura; (b) Tijolo solo-cimento com casca de arroz aos 28 dias de cura; (c) Tijolos solo-cimento com casca de café aos 28 dias de cura; (d) Tijolos solo-cimento com bambu aos 28 dias de cura.

Comparando os tijolos aos 28 dias de cura com os envelhecidos dentro de cada tratamento, nota-se que todos os tratamentos foram estatisticamente iguais, ou seja, os envelhecimentos aplicados aos tijolos não influenciaram significativamente na sua resistência à compressão.

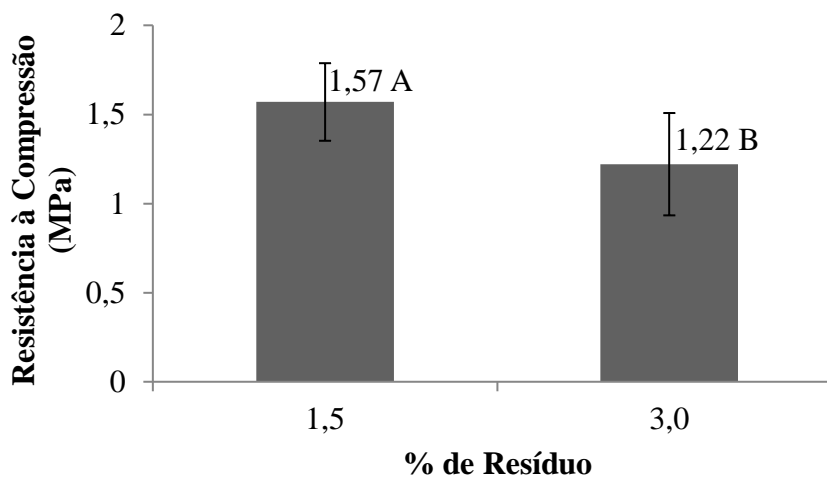
Não foi observada interação entre os três resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%) para a resistência á compressão dos tijolos aos 28 dias de cura. Na Figura 24 e 25 podem ser visualizados os valores médios de densidade aparente em função do resíduo e das porcentagens, respectivamente.

Figura 24 – Valores médios de resistência à compressão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Figura 25 – Valores médios de resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento



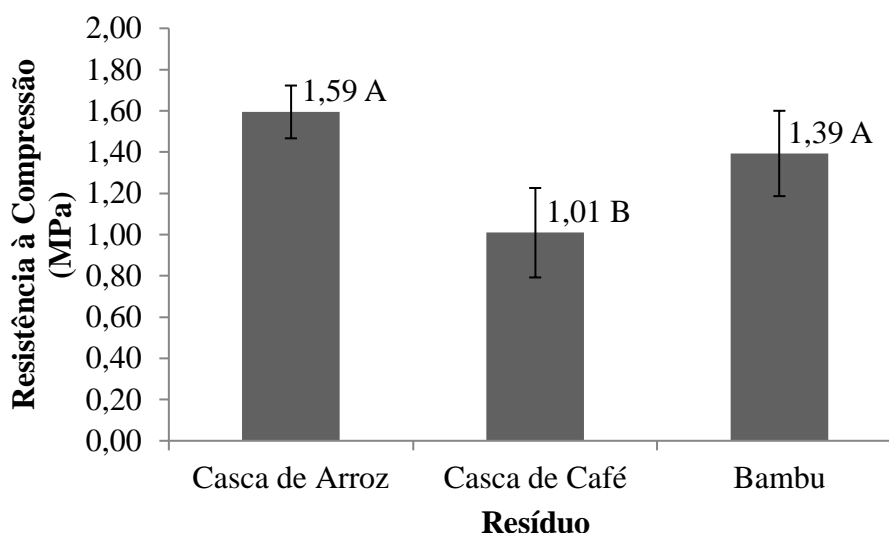
Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Na Figura 24, quando avaliada a resistência à compressão em função dos resíduos para os tijolos aos 28 dias de cura, observa-se que os valores médios foram estatisticamente diferentes para os três resíduos utilizados, sendo os maiores valores de resistência observados para os tijolos feitos com casca de arroz, seguido do bambu e da casca de café, respectivamente. Esses resultados estão associados à maior densidade das partículas de casca

de arroz e a pequena quantidade de extrativos presentes na mesma comparada aos demais resíduos, que fez com que houvesse maior interação entre a partícula e a matriz e consequentemente favorece as propriedades mecânicas dos compósitos. Com relação à avaliação da resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos (Figura 25), nota-se que também houve diferença estatística entre as porcentagens, sendo os maiores valores de resistência para os tratamentos com 1,5% de resíduo. Fato que está associado ao aumento da porosidade dos tijolos, com o aumento da quantidade de resíduos, que consequentemente diminui as propriedades mecânicas dos mesmos.

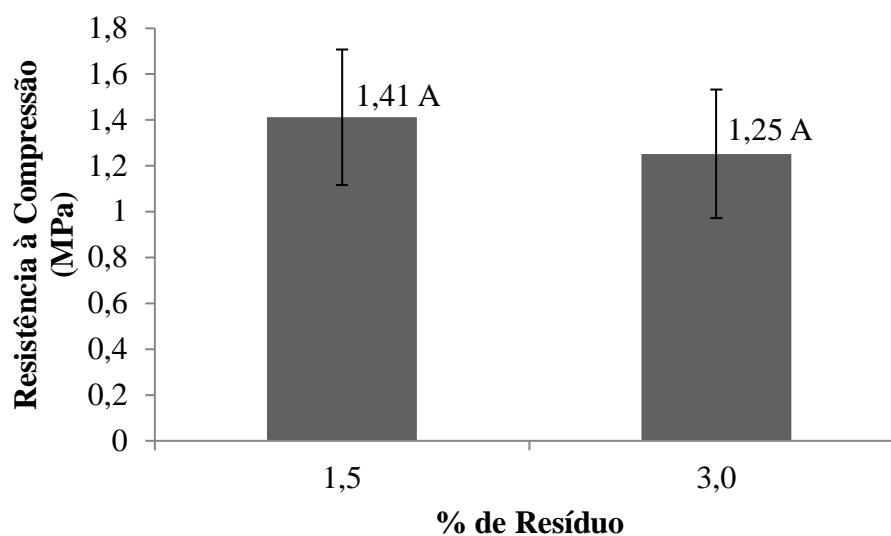
Ainda sobre os dados, também não foi observada interação entre os três resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens (1,5% e 3,0%) para a resistência a compressão dos tijolos envelhecidos. Na Figura 26 e 27 podem ser visualizados os valores médios de densidade aparente em função do resíduo e das porcentagens, respectivamente.

Figura 26 – Valores médios de resistência à compressão em função dos resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Figura 27 – Valores médios de resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos aplicados nos tijolos solo-cimento envelhecidos



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-knott, a um nível de significância de 5%.

Na Figura 26, quando avaliada a resistência à compressão em função dos resíduos para os tijolos envelhecidos, observa-se que o bambu e a casca de arroz foram iguais estatisticamente e que a casca de café apresentou diferença estatística, apresentando uma resistência a compressão menor. Esses resultados estão associados à melhor aderência da matriz com as partículas de casca de arroz e bambu, devido aos seus baixos teores de extrativos. Com relação à avaliação da resistência à compressão em função das porcentagens de resíduos (Figura 27), nota-se que não houve diferença estatística entre as porcentagens.

Cristina et al. (2018), avaliando a produção de tijolo solo-cimento com bucha vegetal em diferentes porcentagens (0, 5 e 10%) obteve resistência à compressão média variando de 0,30 a 1,55 MPa. Os autores observaram que à medida que se aumentava a quantidade de fibras de bucha vegetal, menor a resistência mecânica do tijolo solo-cimento.

Zak et al. (2016), avaliando a produção de tijolo solo-cimento com fibras naturais de linho e cânhamo, observaram que a medida em que se aumentava a quantidade de material lignocelulósico, diminuía a resistência a compressão dos tijolos. Os autores associaram a queda da resistência a maior formação de poros com a adição das fibras.

### 3.3.3 Caracterização térmica dos tijolos solo-cimento

Na Tabela 22 estão apresentados os valores médios de condutividade térmica para cada um dos tratamentos avaliados. Assim como também a variação dos valores médios dos tijolos feitos com resíduos em relação aos tijolos controle.

Tabela 22 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas

<b>Tratamento</b>	<b>Condutividade Térmica (W.m<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>)</b>	<b>Δ (%)</b>
<b>1,5% C.A.</b>	0,215 <sup>(0,025)</sup> *	-44,33
<b>3,0% C.A.</b>	0,209 <sup>(0,028)</sup> *	-46,04
<b>1,5% C.C.</b>	0,331 <sup>(0,015)</sup> *	-14,56
<b>3,0% C.C.</b>	0,258 <sup>(0,027)</sup> *	-33,31
<b>1,5% B.</b>	0,286 <sup>(0,012)</sup> *	-26,21
<b>3,0%B.</b>	0,356 <sup>(0,004)</sup> *	-8,18
<b>Controle</b>	0,387 <sup>(0,017)</sup>	

\*Difere estatisticamente pelo Teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Dunnett ( $\alpha=0.05$ ) do tratamento controle. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a condutividade térmica todos os tratamentos apresentaram efeito significativo em comparação ao tratamento controle. Observou-se que a inclusão dos resíduos na fabricação dos tijolos solo-cimento apresentou uma queda na condutividade térmica, com variação entre 0,209 a 0,387 W.m<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup>, considerado um resultado excelente, uma vez que quanto menor a condutividade térmica do tijolo, menor será a troca de temperatura entre a parte externa e interna da edificação.

A diminuição da condutividade térmica pode ser associada à menor densidade dos tijolos produzidos com partículas lignocelulósicas, uma vez que a condução é um processo de transferência de energia, ao longo do sistema, partícula a partícula. Uma partícula ao receber energia aumenta seu estado de vibração e dessa forma, acaba por transferir energia às partículas vizinhas. Assim, quanto mais partículas, mais rapidamente ocorre essa transferência, resultando em uma maior condutividade térmica (BARRETO et al., 2016).

Ainda sobre os dados, foi observada interação entre os resíduos (casca de arroz, casca de café e bambu) e as duas porcentagens aplicadas (1,5% e 3,0%). Os desdobramentos dos dados para condutividade térmica podem ser visualizados na Tabela 23.

Tabela 23 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento-partículas ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ )

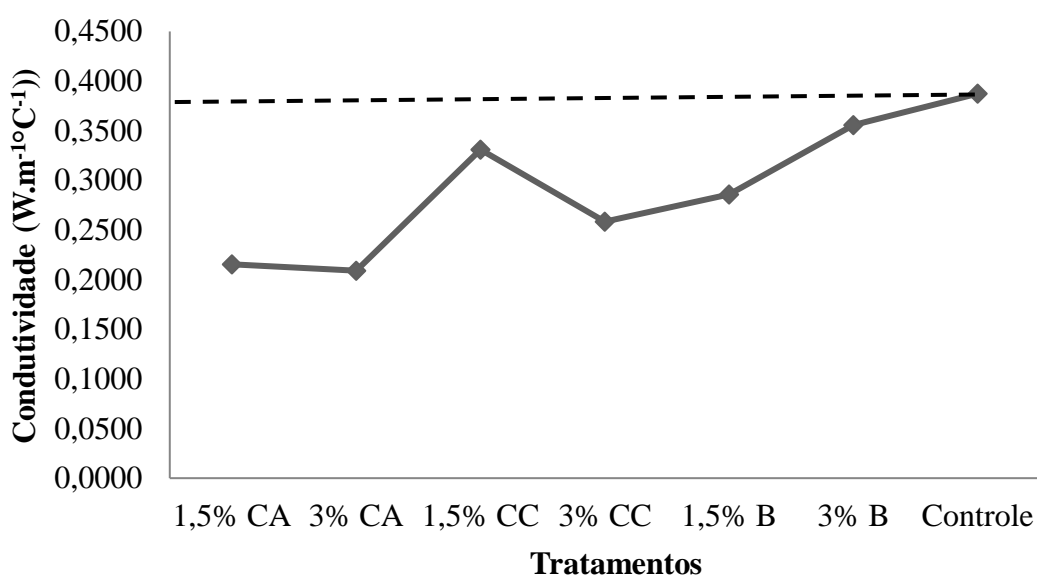
Tratamento	Casca de Arroz	Casca de Café	Bambu
1,5%	0,215 Aa	0,333 Bc	0,285 Ab
3,0%	0,210 Aa	0,260 Ab	0,355 Bc

Médias seguidas de mesma letra maiúscula (na coluna) e minúscula (na linha) não diferem entre si pelo teste de média Scott-knott, a um nível de significância de 5%. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Para a condutividade térmica dos tijolos, avaliando as porcentagens (1,5% e 3,0%) dentro de cada resíduo utilizado (casca de arroz, casca de café e bambu), nota-se que apenas a casca de arroz não se diferenciou estatisticamente, os demais resíduos apresentaram diferença estatística e para a casca de café, os menores valores encontrados para a condutividade foi observado para os tijolos feitos com 3,0% de resíduo, fato que está relacionado à menor densidade das partículas. Já para o bambu os menores valores foram dos tijolos produzidos com 1,5% de partículas. Com relação aos tipos de resíduos dentro de cada porcentagem avaliada, observa-se que tanto para a porcentagem de 1,5% quanto para a de 3,0% todos se diferenciaram entre si. Para a porcentagem de 1,5%, os maiores valores médios de condutividade térmica foram da casca de café, do bambu e da casca de arroz, respectivamente. Já para a porcentagem de 3,0%, os maiores valores foram do bambu, da casca de café e da casca de arroz, respectivamente.

É possível notar através da Figura 28, que a substituição pelos resíduos lignocelulósicos, diminuiu consideravelmente a condutividade térmica dos tijolos comparados ao controle.

Figura 28 – Condutividade térmica dos tijolos solo-cimento



A utilização das fibras nos tijolos solo-cimento promoveu uma queda da condutividade térmica em até 46%, sendo o melhor resultado do tratamento com 3,0% de casca de arroz. Khedari et al. (2005), avaliando a utilização de fibra de coco na produção de tijolo solo-cimento, obteve uma queda da condutividade térmica de 54%. Os autores obtiveram uma condutividade média de  $0,651 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Sutcu et al. (2015), avaliando a utilização de resíduo de mármore na fabricação de tijolo de argila cozida, em até 30%, observaram que a condutividade térmica diminuiu de 0,97 para  $0,40 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Doubi et al. (2018), avaliaram a produção de tijolos feitos com diferentes porcentagens (0, 2, 4, 6, 8 e 10%) de farinha de Carité e observaram que a presença de farinha de carité nos tijolos, geram formação de poros, e por consequência melhoram as propriedades de isolamento térmico.

#### 4 CONCLUSÃO

Conclui-se que, dentre os tratamentos avaliados, os tijolos produzidos com 3,0% de casca de arroz demonstraram maior potencial, uma vez que apresentaram uma porosidade aparente e perda de massa por imersão menor e uma resistência à compressão maior, comparado aos demais tratamentos com resíduos. Além de melhorar significativamente as propriedades isolantes dos tijolos solo-cimento.

A incorporação de materiais lignocelulósicos na fabricação de tijolos solo-cimento resultou na perda de resistência mecânica e aumento na absorção de água e porosidade, no entanto em relação as propriedades térmicas houve uma melhora significativa. Os tijolos com resíduos de casca de arroz, casca de café e bambu apresentaram resultados satisfatórios com relação ao isolamento térmico, uma vez que apresentaram menor condutividade térmica em relação ao tijolo solo-cimento controle.

Apesar dos tijolos produzidos com partículas lignocelulósicas não apresentarem a resistência mecânica mínima exigida pela NBR 8491 (ABNT, 2012), em pequenas aplicações como: base para mesa, decoração, entre outras finalidades (aplicações que não necessitem de uma grande resistência), os tijolos produzidos com resíduos lignocelulósicos tornam-se viável, principalmente se for levado em conta o potencial de isolamento térmico desses compósitos.

Seria de valiosa importância estudos futuros que avaliem diferentes estabilizantes junto à incorporação de resíduos lignocelulósicas aos tijolos solo-cimento, na tentativa de manter as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, bem como a avaliação de outras porcentagens e tipos de resíduos em busca de compósitos de elevado desempenho térmico e ecologicamente corretos.



## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C20-00**, Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 167-93** (2004). Standard Test Method for Apparent and True Specific Gravity and Porosity of Lump Coke. ASTM Standards West Conshohocken PA; USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 570 – 95** (2018). Standard test method for water absorption of plastics” Philadelphia, 2018.

ALMEIDA, A. E. F. S. et al. Improved durability of vegetable fiber in forced cement composite subject to accelerated carbonation at early age. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 42, n. 2, p. 49-58, Sept. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Dosagem das misturas de solo-cimento – normas de dosagem. São Paulo: ABCP, **Estudo Técnico ET - 35**, 1986. 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – **ABCP**. Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. **Boletim Técnico 111**, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - **ABCP**. Guia de construções rurais à base de cimento. São Paulo – SP, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1989. **NBR 5734**: Solo: Análise Granulométrica por peneiramento: Método de Ensaio. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984c. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento - Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção D’água, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Densidade básica da madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.554** – Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 1996.

AZEVEDO, V. Q.; SILVA, C. F. L.; LEMÕES, J. S.; FARIAS, S. P. Caracterização de biomassa visando à produção de etanol de segunda geração. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v.2, n.2, p.61-65, 2016.

AZZINI, A.; SALGADO, A.L.B.; TEIXEIRA, J.P.F. **Curva de Maturação da *Crotalaria juncea* L. em função da densidade do caule**. Bragantia, Campinas, 1981; 40 (1): p.1-10.

BALDIN, T. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.11, n.3, p.230-237, 2016.

BARRETO, M.; CUNHA, F.; MENDES, J. U. L. Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona com rejeito de madeira. **Holos**, v. 7, p. 110-120, 2016.

BEKALO, S.A.; REINHARDT, H. W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, Dordrecht, v. 43, n. 8, p. 1049-1060, 2010.

BELINI, U. L., SAVASTANO JÚNIOR, H., BARRERO, N. G., et al., “Painel multicamada com reforço de partículas de bambu”, **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, pp. 421-427, 2014.

BENTCHIKOU, M. et al. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. **Construction and Building Materials**, v.34, p.451-456, 2012.

BERTOLINI, M. S. et al. Woodcement composites from wastes of Pinus sp. wood: Effect of particles treatment. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n 2, p. 146-149, 2014.

BITTENCOURT, A. P. P.; DUTRA, G. B.; TANCREDI, T. P. Efeito dos processos de laminação sobre as propriedades físicas e mecânicas de compósitos de resina de poliéster com fibras de vidro. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1021-1031, 2016.

BLUCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários** – volume 1. São Paulo, (1951)

BOONSTRA, M. J. & TJEERDSMA, B. Chemical analysis of heat treated soft woods. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 64, p. 204-211, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do abastecimento – **MAPA**. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, CNPS/EMBRAPA, 1997, 212p.

CANILHA, L.; SANTOS, V. T. O.; ROCHA, G. J. M.; SILVA, J. B. A.; GIULIETTI, M.; SILVA, S. S.; FELIPE, M. G. A.; FERRAZ, A.; MILAGRES, A. M. F.; CARVALHO, W. A study on the pretreatment of a sugarcane bagasse sample with dilute sulfuric acid. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 38, p. 1467-1475, 2011.

CARVALHO, L. H.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/ tecidos híbridos sisal/vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 33-37, 2006.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. Camaçari: CEPED, 1984. 116p.

CHECHIN, L. et al. Effect of adding blast furnace slag to composites with mosso bamboo. **Matéria**, Rio de Janeiro, v.23, n.4, 2018.

CHENG, X. W. et al. A new approach to improve mechanical properties and durability of low-density oil well cement composite reinforced by cellulose fibres in microstructural scale. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 499-510, 2018.

CHIRAYIL, C.; MATHEW, L.; THOMAS, S. Review of recent research in nanocellulose preparation from different lignocellulosic fibers. **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 37, n. 1-2, p. 20-28, 2014.

CLARE, K. E. & FARRAR, D. M. The use of cement of different fineness on soil-cement mixtures. **Concrete Magazine Research**. London, p. 625-630, (1956).

COSTA C.A. S., HEBLING J., RANDALL R., Human pulp response to resin cements used to bond inlay restorations. **Dental Materials**. v. 22, p. 954–962, 2006.

CRISTINA, P.; SALOMÃO, P. E. A.; CANGUSSÚ, L.; CARVALHO, P. H. V. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 9, p. 01-18, 2018.

DOUBI, H. G.; KOUAMÉ, A. N.; KONAN, L. K.; TOGNONVI, M.; OYETOLA, S. Thermal conductivity of compressed earth bricks strengthening by shea butter wastes with cement. **Materials Sciences and Applications**, v. 8, p. 848-858, 2018.

FARRAPO, C. L. et al. Cellulose Associate with Pet Bottle Waste in Cement Based Composites. **Material Research**. v. 20, n. 5, p. 1380-1387, july, 2017.

FERRARI, V. J. et al. Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. **Ambiente Construído**, v. 14, n.3, p. 131-148, 2014.

FERREIRA FILHO, E. de M. Construção com Solo Cimento. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/semfaz/solocimento.htm>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2019.

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, v.28, n.1, p.1-11, 2008.

FERREIRA, S. R. et al. Effect of sisal fiber hornification on the adhesion with Portland cement matrices. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 1024-1034, 2012.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MULLER, U. Cement bonded composites – a mechanical review. **BioResources**, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.

GALLIO, E.; ZANATTA, P.; RIBES, D. D.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A. Higroscopicidade da madeira de três espécies florestais deterioradas por térmitas *Nasutitermes*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, p. 1-7, 2018.

GARCEZ, M. R.; GARCEZ, E. O.; MACHADO, A. O.; GATTO, D. A. Compósitos cimentícios leves reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência da Madeira**, v.8, n.2, p. 94-100, 2017.

GEE, G. W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. Methods of Soil analysis. Part 1 – Physical and Mineralogical Methods. **SSSA Book Series**: 5. pp. 383-411. 1986.

GOMES, J. W. et al. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, vol.27, pp.48-55, 2017.

HABLOT, E., DEWASTHALE, S., ZHAO, Y., ZHIGUAN, Y., SHI, X., GRAIVER, D., NARAYAN, R. Reactive extrusion of glycerylated starch and starch–polyester graft copolymers. **European Polymer Journal**, v.49, n.4, p. 873- 881, 2013.

INGLES, O. G. Advances in Soil Stabilization 1961-67. **Reviews Puro and Applied Chemistry**, Melbourne la: 291- 310, 1968.

INGLES, O. G. & METCALF, J. B. Soil stabilization: principles and practice. Butterworths, Sydney – Melbourne – Briesbane, (1972).

KASMI, S. M. S, et. al. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk. **Construction and Building Materials**. v. 120. p. 29- 41. 2016.

KHEDARI, J.; WATSANASATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, v.27, n.1, p. 111-116, 2005.

LOPES, J. P.; RUDNICK, T.; MARTINS, C. H. Utilização de resíduos industriais para produção de concreto sustentável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.14, n.2, p. 216-228, 2018.

MAGALHÃES, A. C. T. V.; ALMEIDA, J. G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 139-151, 2010.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de Eucalyptus urophylla S.T. Blake. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.

MÉTODOS DE ENSAIO DETERMINAÇÃO DA PERDA DE MASSA POR IMERSÃO DE SOLOS COMPACTADOS COM EQUIPAMENTO MINIATURA. Recife, 2003. Vol 12/**ME-61**.

MILANI, A. P. da S.; BARBOZA, C. S. Contribuição ao estudo de propriedades do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 143-153, 2016.

MIRANDA, L. A. et al. Avaliação do potencial do grits como material de construção na produção de tijolos oslo-cimento. **Revista Árvore**, v.35, n. 6, p. 1335-1340, 2011.

NASCIMENTO, A. M.; FEITOSA, A. O.; ALMEIDA, T. S.; LACERDA, D. M. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. **InterScientia**, João Pessoa, v. 6, n. 1, 2018.

NOGUEIRA, I. M. dos S.; LAHR, F. A. R.; GIACON, V. M. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, 2018

OLIVEIRA, J. R.; AMARAL, A. G.; SCHNEIDER, R. M. Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos solo-cimento. **Nativa**, Sinop, V.02, n. 01, p. 53-57, jan/mar. 2014.

PASQUINI, D. et al. Surface esterification of cellulose fibers: characterization by DRIFT and contact angle measurements. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 295, p. 79-83, 2006.

PICCHI, F.A.; CINCOTTO, M.A.; BARROS, J.M.C. Tijolos de solo-cal. **Revista A Construção**, São Paulo, p.93-8, 1990. (Tecnologia de Edificações IPT/Ded90).

ROSA, R. A.; PAES, J. B.; SEGUNDINHO, P. G. A.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, A. K. F. Influências da espécie, tratamento preservativo e adesivos nas propriedades físicas do bambu laminado colado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 913-924, 2016.

SENDNER, C. et al. Interfacial water at hydrophobic and hydrophilic surfaces: slip, viscosity, and diffusion. **Langmuir**, v. 25, n. 18, p. 10768-10781, 2009.

SILVA, J. S.; SENA, R. J.; LAURSEN, A. Avaliação mecânica de tijolo maciço solo-cimento contendo resíduo de PET. **Veredas FAVIP**, Vale do Ipojuca v. 10, n. 1, 2017.

SLUITER, A.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D. Determination of extractives in biomass. **Laboratory Analytical Procedure (LAP)**, v. 1617, 2005.

SOUZA, A. P.; COUTINHO, A. M. F.; NUNES, J. P. B.; PIRES FILHO, C. A. B.; FAUSTINO, E. E. M.; TRESSMANN, D. M. G. A. Análise dos sistemas construtivos com tijolo solo-cimento e bloco cerâmico: uma comparação de custo e qualidade. **Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde**, v. 6, n.4, 2016.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.205–212, 2008.

SUTCU, M.; ALPTEKIN, H.; ERDOGMUS, E.; ER, Y.; GENCEL, O. Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 82, p. 1-8, 2015.

TEODORO, R.; RAABE, J.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; DENZIN TONOLI, G. H. Functionally graded MDP panels using bamboo particles. **Key Engineering Materials**, v. 668, p. 39-47, 2015.

TORKAMAN, J.; ASHORI, A.; MOMTAZI, A. S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v.50, p. 432–436, 2014.

TURGUT, P.; GUMUSCU, M. Thermo-elastic properties of artificial limestone bricks with wood sawdust. **International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering**, v. 7, n. 4, p. 128-132, 2013.

VALÉRIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, Mossoró v.21, n.3, p 54-58, 2008.

VANHOLME, R. et al. Metabolic Engineering of Novel Lignin in Biomass Crops. **New Phytologist**, v. 196, n. 4, p. 978-1000, 2012.

VILELA, A. P. **Utilização da borracha de pneu para produção de painéis MDP e cimento-madeira**. Lavras: UFLA, p. 104, 2016.

WEI, L.; MEYER, C. Degradation Mechanisms of Natural Fiber in the Matrix of Cement Composites. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 73, p. 1-16, jul. 2015.

ZAK, P. et al. The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 106, p. 179-188, 2016.