



Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais
Instituto de Física – INFI



**Obtenção de compósito de cimento Portland/endocarpo de
Bocaiúva (*Acrocomia aculeata*): caracterização microestrutural,
térmica e mecânica.**

CAMILA DE CARVALHO CALVANI

CAMPO GRANDE-MS

2019

CAMILA DE CARVALHO CALVANI

**Obtenção de compósito de cimento Portland/endocarpo de Bocaiúva
(*Acrocomia aculeata*): caracterização microestrutural, térmica e mecânica.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Cícero Rafael Cena da Silva
Orientador

CAMPO GRANDE-MS

2019

Dedicatória

Dedico este trabalho as mulheres de minha família, em especial a minha avó Ana Rosa, a minha mãe Claudiane, ao meu companheiro e a todos os amigos que me estimularam a seguir o caminho do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos seres de luz e aos meus antepassados por me orientarem e doarem energia para eu seguir o meu caminho.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e o programa de Pós Graduação de Ciência dos Materiais, que forneceu os meios para que eu conquistasse mais este sonho.

Agradeço imensamente o meu orientador Cícero, a quem suportou todos os meus deslizes emocionais, sendo um dos iluminados que me estimulou e apoiou a melhorar sempre, grata pela grande amizade e por todos os ensinamentos.

Grata ao Professor Flávio Aristone por ajudar com a doação do material para a pesquisa e muito obrigada ao Professor Diogo Reis que com muita paciência me ensinou técnicas novas e contribuiu muito para a pesquisa.

A minha grande vovó Ana Rosa que me apoiou desde o primeiro momento em que decidi seguir o caminho do conhecimento e não poupou esforços para me ajudar a trilhar esse caminho.

A minha querida mãe Claudiane que com suas palavras, amor e compreensão, sempre me apoiou. Muito obrigada por permitir que eu viesse a esse mundo como sua filha e me dar lindas irmãs, Adrieli e Francyanne.

Ao meu companheiro Pablo por estar ao meu lado em todos os bons e maus momentos que enfrentei para chegar até aqui, obrigada pela compreensão e por acreditar em mim.

Eterna gratidão a minha irmã Francyanne por apoiar, com seus serviços e conhecimentos laboratoriais.

Grata aos amigos que estiveram ao meu lado me estimulando e pelos grandes momentos de descontração.

Gratidão!

"A verdadeira alegria de viver é ser usado para um propósito que você mesmo reconhece como grandioso... ser uma força da natureza, em vez de ser um mísero punhado de aflições e ressentimentos reclamando que o mundo não quer se dedicar a fazê-lo feliz."

George Bernard Shaw

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO DA LITERATURA	2
3.1 Bocaiúva	2
3.2 Endocarpo do coco Bocaiúva	3
3.2.1 Lignina	4
3.2.2 Celulose e hemicelulose	6
3.3 Tijolo solo-cimento	6
3.4 Cimento Portland	8
3.5 Materiais compósitos.....	10
3.6 Condutividade Térmica e materiais utilizados para isolamento térmico.....	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Obtenção e preparação do endocarpo da Bocaiúva.....	13
4.2 Caracterização do solo	15
4.3 Preparação do compósito.....	16
4.4 Produções do tijolo solo-cimento e moldes para o ensaio de condutividade térmica.....	16
4.5 Caracterização	19
4.5.1 Caracterização Microestrutural	19
4.5.2 Caracterização das Propriedades Mecânicas	20

4.5.3 Caracterização das Propriedades Térmicas.....	21
4.5.4 Análise da composição do endocarpo da Bocaiúva	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Análises microestruturais	23
5.2 Análises das Propriedades Térmicas	30
5.3 Análises das Propriedades Mecânicas do Tijolo.....	32
5.4 Condutividade Térmica	34
6. CONCLUSÕES	35
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	36
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
9. APÊNDICE.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do Coco Bocaiúva e seus componentes. Fonte Autor, 2018	3
Figura 2 - Representação da estrutura química da lignina	5
Figura 3 - Representação da estrutura química dos componentes da lignina	5
Figura 4 - Representação da estrutura química da celulose.	6
Figura 5 - Fluxograma da produção do cimento Portland	8
Figura 6 - (a-c) EB sem tratamento térmico, (b) EB com tratamento T1, (d) EB com tratamento T2.....	14
Figura 7 - Série de peneira utilizada no ensaio.....	15
Figura 8 - Fôrma de madeira	16
Figura 9 - Tijolos solo-cimento.	18
Figura 10 - corpos de prova pronto para ensaio de compressão	20
Figura 11 - Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolo maciço (NBR 8492). .20	20
Figura 12 - Ilustração do comparador térmico.....	21
Figura 13 - Amostras cilíndricas com e sem EB tratado.....	22
Figura 14 - Difratoograma de a) 50% do EB, b) 20% do EB, c)15% do EB, d)10% do EB, e)5% do compósito com EB, f) 0% do EB e g) EB com tratamento térmico. (Q – quartzo, Csh- silicato de cálcio hidratado; Ca – calcita).	23
Figura 15 – FTIR de a) EB natural e b) EB após tratamento térmico	25
Figura 16 – FTIR de a) TSC com 0% do EB e b) TSC com 50% do EB. TSC: tijolo solo-cimento.....	27
Figura 17 – Microscopia ótica de (a) EB com tratamento térmico, (b) TSC com 0% de EB, (c) TSC com 5% de EB, (d) TSC com 10 % de EB, (e) TSC com 15% de EB, (f) TSC com 20% de EB.	29
Figura 18 – Termogravimetria de (a) EB com tratamento térmico e (b) EB natural.....	30
Figura 19 – Espectro LIBS mostrando principais elementos químicos inorgânicos identificados em amostras da concha do EB, obtidas da (a) superfície e (b) dentro do material.	32
Figura 20 - Ensaio de Resistência a Compressão das médias de tempo de cura nos dias 07, 14 e 28.	33
Figura 21 - Condutividade térmica relativa, comparação entre as amostras produzidas. Inserido um esquema do procedimento da medição.	34
Figura 22 – Curva de distribuição granulométrica do solo.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos e dimensões nominais NBR 8491/2012 [18].	7
Tabela 2 - Composição do compósito nos tijolos de solo-cimento	17
Tabela 3 - Estruturas correspondentes às ondas vibracionais do endocarpo da Bocaiúva natural e do endocarpo da Bocaiúva tratada termicamente.....	25
Tabela 4 - Estruturas correspondentes à caracterização do compósito com 0 % e 50 % do endocarpo da Bocaiúva	27
Tabela 5 - Dados dos ensaios de resistência à compressão no tempo de cura de 07,14 e 28 dias	32
Tabela 6 - Dados dos ensaios de peneiramento fino do solo.....	43

RESUMO

CALVANI, C. C. **Obtenção de compósito de cimento Portland/endocarpo de Bocaiúva (*Acrocomia aculeata*): caracterização microestrutural, térmica e mecânica.** 2019. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Materiais – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Campo Grande – MS

Nas últimas décadas os compósitos de cimento Portland com resíduos tem sido amplamente produzidos e estudados, trazendo melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e aumentando a durabilidade de materiais compósitos. Nesta pesquisa, os resíduos do Endocarpo da Bocaiúva (EB) foram introduzidos na matriz de cimento Portland, com diferentes proporções em massa de 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 50 %. A caracterização da microestrutura das amostras mostrou que as partículas do endocarpo tendem a se aglomerar em pequenas regiões bem dispersas na matriz, e também parece promover aumento da umidade nessas regiões. Estudos de raios-X não revelaram influência do endocarpo na microestrutura do compósito. Os resultados mostraram que a adição do EB na matriz de compósito Portland pode diminuir a condutividade térmica do compósito, fazendo com que o mesmo desempenhe o papel de isolante térmico. Havendo alterações na propriedade mecânica, com a diminuição na resistência a compressão conforme o acréscimo do EB nos tijolos de solo-cimento. Análises adicionais através do experimento LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) revelaram evidências que além dos componentes orgânicos, lignina, celulose e hemicelulose, o EB é constituído de elementos químicos inorgânicos, como Mg e Si.

Palavras-Chave: coco Bocaiúva, compósito, isolamento térmico, cimento Portland.

ABSTRACT

CALVANI, C. C. **Preparation of Portland cement/Bocaiúva endocarp (*Acrocomia aculeata*): microstructural, thermal and mechanical characterization.** 2019. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Materiais – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS. Campo Grande – MS

In the last decades the composites of Portland cement with residues have been widely produced and studied, fetching amelioration in the physical and mechanical properties and increasing the durability of composite materials. In this study, the Bocaiúva Endocarp (EB) residues were introduced into the Portland cement matrix, with different mass proportions of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 50%. The characterization of the microstructure of the samples showed that the particles of the endocarp tend to agglomerate in small regions well dispersed in the matrix, and also seems to promote increased humidity in these regions. X-ray studies showed no influence of the endocarp on the microstructure of the composite. The results showed that the addition of EB in the Portland composite matrix can decrease the thermal conductivity of the composite, thus making it the thermal insulator. There were alterations in the mechanical properties, with the decrease in the compressive strength according to the increase of EB in the soil-cement bricks. Further analysis through the Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) experiment revealed evidence that in addition to organic components, lignin, cellulose and hemicellulose, EB is composed of inorganic chemical elements, such as Mg and Si.

Key Words: coconut Bocaiúva, composite, thermal insulation, Portland cement.

1. INTRODUÇÃO

A Bocaiúva é uma palmeira com ampla dispersão geográfica com elevadas concentrações nos biomas do Cerrado e do Pantanal. A palmeira pode ser encontrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Dependendo da região a Bocaiúva é conhecida como: coco-baboso, coco-de-espinho, macaíba, macaibeira e macaúba. Economicamente o fruto da Bocaiúva é o produto mais representativo da palmeira, utilizado para produção de biodiesel, ração animal, entre outros produtos de origem alimentar. O fruto é constituído de: polpa, conhecida como mesocarpo, material fibroso com sabor adocicado e comestível, o endocarpo que é fortemente aderido à polpa e a amêndoa oleaginosa que é comestível e revestida de uma fina camada de tegumento [1, 2].

O endocarpo tem sido empregado *in natura* como insumo energético, nas regiões de maior ocorrência da Bocaiúva, para consumo doméstico nos fogões a lenha ou em escala industrial para produção de carvão. Tem alta concentração de lignina, tendo então rendimento maior do que a madeira, através de sua capacidade de absorção de calor [3].

A palmeira da Bocaiúva é facilmente encontrada na região de Mato Grosso do Sul, essas palmeiras são valiosos elementos para a ornamentação de paisagens, tanto urbanas quanto rurais, além das múltiplas utilizações na indústria alimentícia, cosmética e na produção de óleo combustível, despertando grande interesse econômico por possuir matéria prima já existente e pouco explorada [4]. Deste aproveitamento é gerado um resíduo, que é o endocarpo do coco da Bocaiúva, que tem pouca utilidade comercial, mas com grande potencial estrutural e que possivelmente pode contribuir com melhorias nas propriedades de materiais compósitos.

Como a inclusão de materiais orgânicos e agroindustriais, como por exemplo, a casca de arroz, pó de serra, resíduos de construções e o bagaço da cana de açúcar, na formação de compósitos com o cimento Portland, vem contribuindo com melhorias nas propriedades mecânicas e térmicas desses materiais. Iremos utilizar neste trabalho o endocarpo do coco Bocaiúva, onde vamos investigar o comportamento deste compósito, inserido nos tijolos de solo-cimento em diferentes proporções e posterior avaliação da sua influencia nas propriedades do material e também seu potencial como isolante térmico.

O estímulo da utilização dos produtos da palmeira do coco da Bocaiúva pode contribuir com pesquisas, investimentos tecnológicos e desenvolvimento econômico-social da região do estado de Mato Grosso do Sul e incentivando a preservação do Cerrado e do Pantanal.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Obtenção de um compósito constituído de cimento Portland e endocarpo da Bocaiúva com propriedades de resistência mecânicas adequadas para uso e boa capacidade de isolamento térmico.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer substituição em massa do cimento nas porcentagens: 5 %, 10 %, 15 % e 20 % pelo endocarpo da Bocaiúva para obtenção do compósito;
- Avaliar a influência do endocarpo da Bocaiúva nas propriedades físicas da matriz de cimento Portland;
- Caracterização das propriedades térmicas e mecânicas do compósito;
- Descrever as propriedades microestruturais do compósito.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Bocaiúva

A Bocaiúva é um fruto de origem das palmeiras de gênero *Acrocomia aculeata*, que podem chegar a 15 metros de comprimento. Podemos encontrar três tipos de subespécies dessas palmeiras no Brasil [5], são elas:

- *A aculeata* var. *sclerocarpa*: tem os frutos maiores e com maior teor de óleo na polpa, mais comum de encontrar no estado de Minas Gerais;
- *A aculeata* var. *totali*: predominante no Paraguai, São Paulo e Mato Grosso do Sul, apresenta menor teor de óleo, sendo mais indicada para produção farinhas e alimentação humana;
- *A aculeata* var. *intrumescens*: tem seus frutos similares a *aculeata* var. *totali* e são mais adocicados que os demais, facilmente encontradas no Norte e Nordeste brasileiro [5].

Neste trabalho foi utilizado a subespécie *Acrocomia aculeata* var. *totali*, conhecida na região de Mato Grosso do Sul como coco Bocaiúva, ilustrado na Figura 1. No Pantanal de

Mato Grosso do Sul, a maior disponibilidade de frutos maduros ocorre entre Outubro e Dezembro [6].

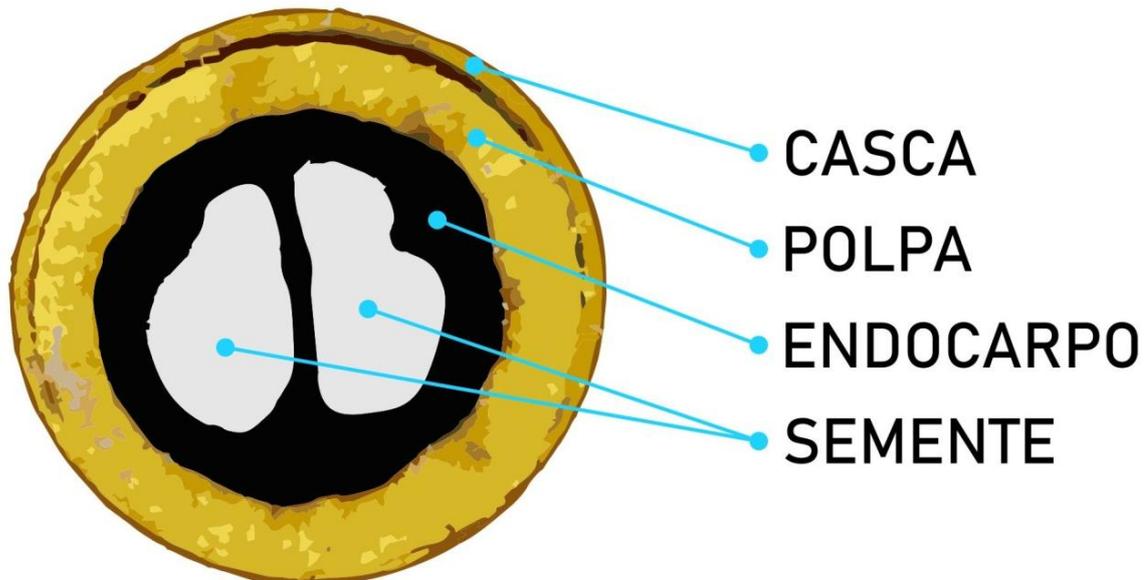


Figura 1 - Ilustração do Coco Bocaiúva e seus componentes. Fonte Autor, 2018

Podemos encontrar na literatura estudos que mostram que o fruto da Bocaiúva tem em sua composição alguns minerais localizados em partes da fruta, casca, polpa e semente. Foi determinado por Colombo et. al. [7] que o fruto consiste em aproximadamente 20% de casca; 40% de polpa; 33% de endocarpo e 7% de caroço. Além dos componentes orgânicos, lignina, celulose e hemicelulose, também podem ser identificadas componentes inorgânicos na polpa e na semente da fruta, sendo esses minerais de Cálcio (Ca) e macronutrientes de Magnésio (Mg) e micronutrientes como Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn) [7].

O fruto desta palmeira é muito utilizado para produção de rações, cereais, cosméticos, produtos medicinais e principalmente óleo diesel. O óleo diesel é retirado da polpa e semente dos frutos. Esses produtos e subprodutos gerados do coco Bocaiúva geram um resíduo que é pouco aproveitado, o endocarpo da Bocaiúva (EB).

3.2 Endocarpo do coco Bocaiúva

O endocarpo é a casca mais grossa e resistente do fruto, seus principais componentes são: lignina, hemicelulose e celulose. Formado por células esclerenquimáticas, estas células são destituídas de parede celular espessa devido ao depósito de lignina que é resistente e rica em celulose e hemicelulose. A sua lignificação faz com que esta parede celular se torne

impermeável e por ser impregnadas de lignina formam mais resistentes, esta resistência é uma característica do EB para proteção da semente do coco Bocaiúva até a fase de broto [8-9].

Este subproduto pode ser utilizado como insumo energético para produção de carvão vegetal e para produção de carvão ativado. O carvão ativado produzido é aplicado como adsorvente de contaminantes emergentes: amoxicilina, bisfenol e etinilestradiol [10]. E também já existe estudo para utilização do EB como adsorvente para clarificação do óleo da polpa da Macaúba [5].

Em função dos altos teores de lignina o endocarpo apresenta maior resistência à decomposição térmica, necessitando de temperaturas mais elevadas para se transformar em carvão e concentrar o carbono em suas estruturas, tendo assim maior rendimento que a madeira. Sendo recomendada a produção de carvão vegetal a partir de resíduos de macaúba na temperatura final de 550 °C, onde se obtém rendimento e qualidade do produto final [11–12].

Podemos encontrar em outros países como Paraguai, Argentina, America Central e México, palmeiras de *Acrocomia aculeata*. Um estudo realizado no México no endocarpo da *Acrocomia mexicana* revela o porquê da alta resistência do endocarpo. As medições mecânicas mostraram valores de resistência á compressão de 150 a 250 MPa, esta resistência pode estar atribuída à formação do endocarpo, que devido às células esclerênquimas formam camadas, sendo duas camadas principais, uma camada externa dura e fina formada por células poligonais densamente compactadas, enquanto que a camada interna é formada por feixes de células alongadas. Este arranjo é formado para a proteção da semente contra predadores [13].

3.2.1 Lignina

O principal componente do endocarpo é a lignina. A lignina tem uma estrutura amorfa e altamente reticulada, sem uma ordem bem definida ou unidades claramente repetidas, na Figura 2 observa-se uma representação de sua estrutura química [14].

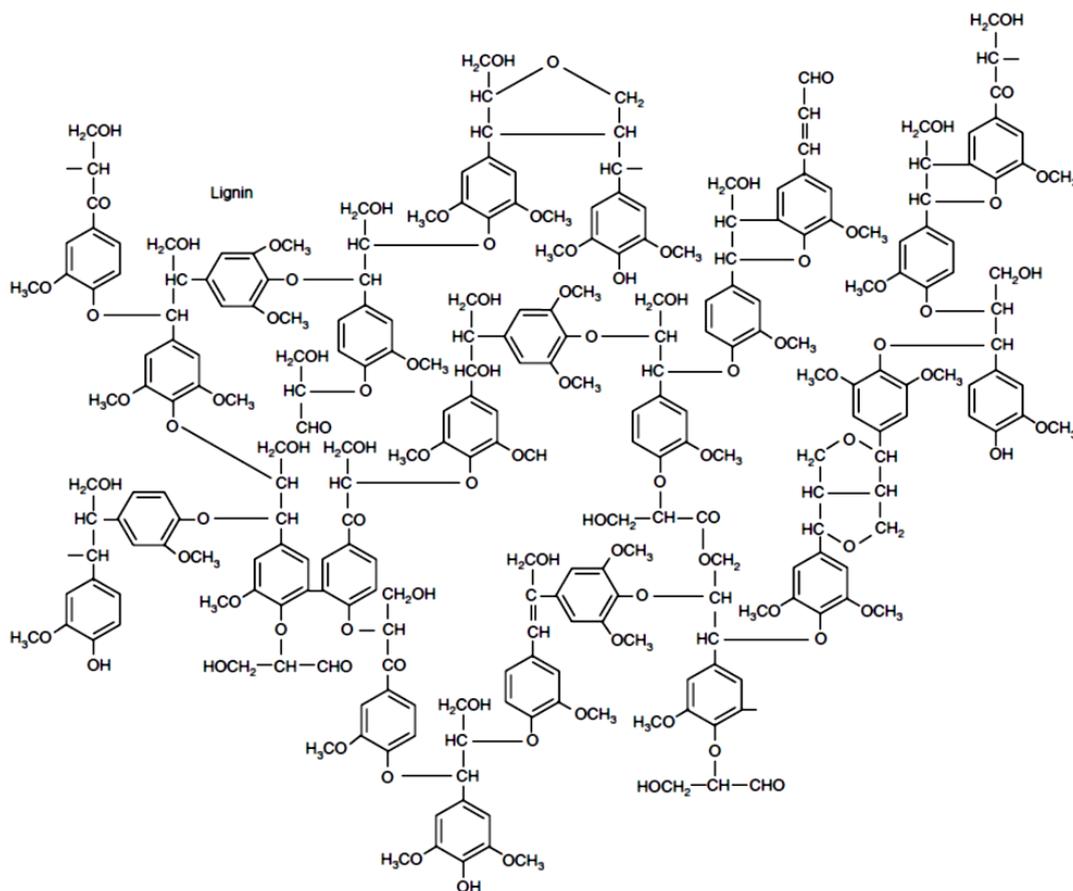


Figura 2 - Representação da estrutura química da lignina [15].

As substâncias fenólicas englobam uma grande variedade de compostos, dentre eles a lignina, todos eles apresentando um grupo de hidroxila (-OH) ligado a um anel aromático. A lignina, depois da celulose, é o polímero vegetal mais abundante formado por três tipos de monômeros: alcoóis *p*-cumarílico, coniferílico e sinápilico, essa estrutura química está indicada na Figura 3. Sendo que esse polímero natural tem a função de impermeabilizar a parede celular da planta e confere a sua resistência à compressão [9-14].

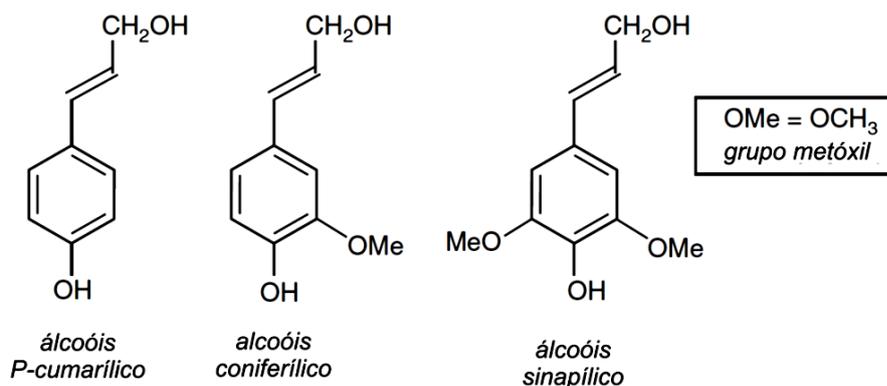


Figura 3 - Representação da estrutura química dos componentes da lignina [15].

A estrutura da lignina muda conforme o local onde se encontra a planta, a presença de grupos metoxil (OCH_3) contribui para distinguir as diferentes ligninas.

3.2.2 Celulose e hemicelulose

Nas plantas o principal componente da parede celular é o polissacarídeo conhecido como celulose, o qual determina em grande parte a estrutura da planta. A madeira é composta cerca de 50% de celulose, e as fibras do algodão é quase celulose pura. A celulose é um polímero composto de monômeros de glicose, é um componente estrutural da parede celular vegetal. Na Figura 4 está a representação da estrutura química da celulose [9].

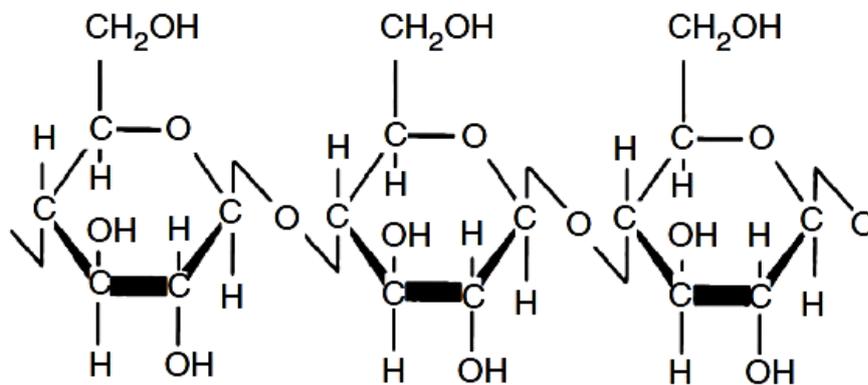


Figura 4 - Representação da estrutura química da celulose [15].

A porcentagem da celulose nas plantas varia dependendo da sua origem, no caso do EB a presença de lignina é superior à celulose e hemicelulose. A estrutura da parede da celulose é preenchida por uma matriz de moléculas não celulósicas entrelaçadas, essas moléculas são conhecidas como hemicelulose. As hemiceluloses variam muito nos diferentes tipos de células e entre os diferentes grupos de plantas, estão ligadas as pontes de hidrogênios da celulose [16].

3.3 Tijolo solo-cimento

O tijolo solo-cimento foi introduzido no Brasil em 1936, pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, partindo da necessidade de redução nos custos das habitações populares. Este tijolo é um componente da alvenaria constituído de uma mistura homogênea,

compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e eventualmente aditivos e/ou pigmentos em proporções que permitam atender os requisitos da NBR 8491. Tais tijolos podem ser maciços ou vazados, e também são conhecidos como tijolos ecológicos porque evitam o processo de queima para sua produção. A maior parte da mistura é solo sendo que a fração de cimento é muito baixa, sendo a concentração de 5% a 10% de cimento em massa, variando essa porcentagem conforme a característica do solo trabalhado [17-18].

As dimensões do tijolo devem ser produzidas atendendo a norma ou estabelecendo as mesmas proporções indicadas. Na tabela 1 estão indicados os tipos e dimensões nominais para tijolos solo-cimento [18].

Tabela 1 - Tipos e dimensões nominais NBR 8491/2012 [18].

Tipos	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

As proporções para dosagem do solo-cimento são estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo, ou seja, para cada tipo de solo é escolhido a dosagem de cimento ideal para melhorar a coesão da mistura com o solo trabalhado [19].

Os solos adequados para a produção desse tipo de tijolo são os solos arenosos, aqueles que apresentam uma quantidade de areia na faixa de 50% a 90% da massa total da amostra, e com frações de silte e argila na faixa de 10% a 50% [20]. Isso considerando um solo ideal, não impedindo que o solo sem a presença da argila seja utilizado, mas com isso aumentando a porcentagem de cimento na mistura para garantir a coesão do material e a resistência final do produto.

As principais vantagens desses tijolos indicados pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland são [20]:

- Utilização de equipamentos simples, de baixo custo;
- Pode dispensar o uso de revestimento, desde que protegido da ação direta da água, sendo, portanto recomendável para paredes com tijolos à vista;
- Não necessita de mão de obra especializada;
- A sua resistência à compressão simples é similar à do tijolo cerâmico.

Sendo considerado também em alguns estudos que o tijolo solo-cimento representa uma alternativa mais sustentável, pois requer baixo consumo de energia para a sua produção, não utilizando a queima para a formação do tijolo, uma vez que o tijolo pode ser produzido com o próprio solo da obra [21].

Com o cenário atual voltado para a sustentabilidade o tijolo solo-cimento vem sendo fabricado com a inclusão de resíduos gerados na construção civil, que é uma matéria prima abundante, pode ser fabricado com materiais renováveis e esses podem ser de origem vegetal [22]. Eventualmente sendo para a melhoria de algumas propriedades do material, sendo elas físicas, mecânicas e térmicas, ou até mesmo para diminuição de um de seus componentes oriundos de materiais não renováveis no meio ambiente.

3.4 Cimento Portland

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês chamado Joseph Aspdin, o mesmo que patenteou o cimento em 1824. O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água podendo oferecer elevada resistência mecânica ao material [23].

Na Figura 5 podemos compreender como é o processo de fabricação do cimento Portland.

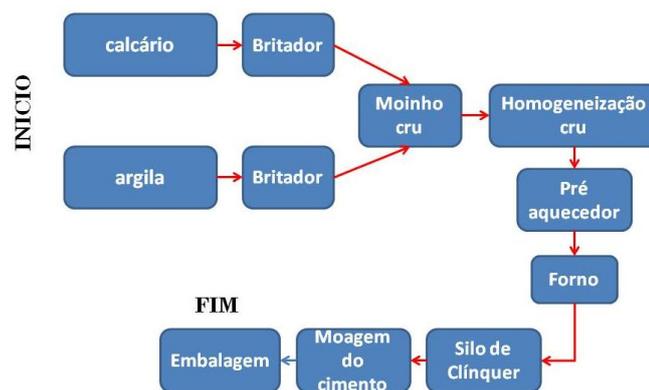


Figura 5 – Fluxograma da produção do cimento Portland

Para obtenção do cimento é preciso fabricar o clínquer, este material é um produto obtido do cozimento até a fusão incipiente da mistura de calcário e argila. Na Figura 5 mostra que o calcário e a argila primeiramente passam por um britador que depois são moídos e misturados entre si. Em seguida a mistura passa pelo forno, cuja temperatura é de aproximadamente 1.450°C, esse calor transforma o material em clínquer que após

resfriamento se apresenta em formato de bolas. Na sequência o material é resfriado e passa pelo silo onde será novamente moído, se transformando em pó. Após esse processo é feita uma pequena adição de sulfato de cálcio a fim, de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água [24].

Nas etapas de queima e resfriamento, do processo de fabricação do cimento, ocorrem reações de estado sólido entre as fases constituintes do clínquer e transformações mineralógicas que determinam a composição final do cimento, gerando seus principais componentes que são: silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) e o ferroaluminato tetracálcico (C_4AF). Observando as composições geradas nesses processos, presumi-se que o cimento é inteiramente formado por uma estrutura cristalina. Quando o cimento entra em contato com a água acontece a reação de hidratação desses compostos do cimento, essas reações dão origem ao processo de endurecimento da mistura. Nesse processo gera os compostos hidratados que são: silicato hidratado, silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e aluminato de cálcio hidratado (C-A-H) [24].

Também pode ser adicionada a mistura do cimento Portland outras matérias-primas conhecidas como adições. Essas adições que misturadas ao clínquer na fase de moagem geram diversos tipos de cimento. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland [25], essas adições podem ser de: gesso, escória de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos [25].

No Brasil existem vários tipos de cimento portland, os principais tipos oferecidos no mercado são:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico.

O cimento utilizado neste trabalho é do tipo CP II-Z-32. De acordo com a NBR 16697, é um cimento composto de material pozolânico. Sendo: CP - cimento Portland; II - a denominação indicativa de cimento composto; Z - letra do composto utilizado, no caso material pozolânico. O número final corresponde à classe de resistência à compressão garantida pelo fabricante, após os 28 dias de cura, padrões determinados em normas. É um cimento resistente a sulfatos, que tem propriedade de oferecer resistência aos meios

agressivos sulfatados [26-27-28]. Os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C) e derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas. A adição da pozolâna propicia ao cimento Portland maior resistência a meios agressivos como esgoto, água do mar, solos sulfurosos e agregados reativos. Diminui também a reação do calor de hidratação, permeabilidade, segregação de agregados e proporciona maior durabilidade [25-26].

3.5 Materiais compósitos

Pode-se considerar um compósito qualquer material multifásico que exhibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades, ou seja, combinação de dois ou mais materiais distintos. Algumas de nossas tecnologias modernas exigem materiais com combinações não usuais de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, pelos materiais cerâmicos e pelos materiais polímeros. Sendo assim as combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram e ainda continuam sendo, ampliadas através do desenvolvimento de materiais compósitos [27].

Na produção de compósitos para ser utilizada na construção civil é comum a introdução de resíduos gerados pelas construções, mas encontramos também os resíduos vegetais, dentre outros que são descartados no meio ambiente. Essas inclusões podem ser tanto nos concretos, em blocos de concretos, tijolos cerâmicos e tijolos de solo-cimento, visando a melhoria de suas propriedades.

Um dos compósitos mais utilizados na construção civil é o concreto de cimento Portland, o concreto é constituído de cimento Portland, agregado fino (areia), agregado grosseiro (brita) e água [27-28].

As adições mais estudadas são as de inclusão na composição do concreto, que são: a sílica ativa, as cinzas volantes e os resíduos agroindustriais. Os resíduos vegetais mais comuns são: cinza da casca de arroz, bagaço de cana de açúcar, casca de coco, casca de amendoim e braquiária. São introduzidos com diferentes finalidades, como por exemplo, a melhoria nas propriedades físicas e mecânicas do produto final e aumento de sua durabilidade. A braquiária é um resíduo vegetal utilizado desde nossos antepassados, em casas de barro e na mistura dos tijolos de argilas. Um dos estudos com a incorporação da casca de arroz e braquiária em tijolos solo-cimento indicam que com apenas 10% de

substituição do cimento pelo resíduo vegetal, trará melhoras para o produto na resistência à compressão e na absorção de água do tijolo [28].

As fibras de coco verde podem ser utilizadas como reforço e as cinzas volantes podem ser aplicadas em substituição à areia na produção de novos compósitos. O aumento do teor da fibra de coco aumentará a resistência à compressão [29].

Os tijolos com casca de coco e casca de amendoim têm propriedades razoáveis de resistência e durabilidade. De acordo com os resultados obtidos por Sathiparan e Zoysa [30], mostra que a resistência à compressão desses tijolos diminui, conforme aumenta a porcentagem desses resíduos agrícolas no material, o amendoim chega a resistência de aproximadamente 4,3 MPa e a casca de coco a aproximadamente 7,8 MPa, sendo que o valor do tijolo referência é de aproximadamente 10 MPa e a média que é aceita por norma a resistência a compressão é de 1,2 MPa. Esses tijolos podem ser utilizados porque atendem os requisitos mínimos especificados pela norma utilizada no trabalho citado. A durabilidade é analisada conforme a quantidade de absorção de água dos tijolos, sendo que o tijolo com a casca de coco diminui a absorção de água em torno de 20% e a casca de amendoim teve uma pequena absorção de água superior ao tijolo referência de pouco mais que 2%. É considerado pelos autores que quanto maior a absorção de água do material mais vulnerável estará a ataque de agentes externos [30].

A cinza de casca de arroz também diminui a resistência à compressão, mas a inserção desse compósito aumenta a durabilidade do concreto e reduz a sua porosidade. Temos a utilização de resíduos de concreto nos tijolos de solo-cimento, este material melhora as propriedades físicas do tijolo em comparação ao tijolo normal de solo-cimento, ensaios mostram que há possibilidade de utilizar dosagens do resíduo com menos de 6% de cimento na confecção dos tijolos [21-31].

Encontram-se estudos com os resíduos gerados da madeira que se fabrica compósitos com tijolos de concreto, este compósito tem um valor agregado muito importante para a construção civil. Os estudos sobre compósito madeira/cimento relatam suas vantagens, como a baixa densidade, deixando o produto mais leve, melhoria nas propriedades acústicas e de isolamento térmico [32]. Diferentes proporções de madeira empregada no tijolo de concreto diminui a resistência mecânica e aumenta a deformabilidade do bloco, mas aumenta a capacidade de isolamento térmico [33].

A aplicação do bagaço de cana de açúcar também influencia nas reações de hidratação do cimento, comportando-se como um material não plástico com moderada atividade pozolânica. As partículas de bagaço de cana de açúcar tende a melhorar as características de

empacotamento das misturas de solo-cimento. Utiliza-se o termo atividade pozolânica para todas as reações que ocorrem entre os constituintes ativos da pozolana, hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e água [34-35].

3.6 Condutividade Térmica e materiais utilizados para isolamento térmico

A condutividade térmica segundo Borges [36], é uma propriedade que quantifica o fluxo de calor sobre um dado material, em função do gradiente de temperatura. Para minimizar as perdas de calor, é preciso que o material possua baixos valores de condutividade térmica, esse tipo de material é definido como um bom isolante térmico. O coeficiente de condutividade térmica está relacionado ao tipo de material, esse valor é maior para o bom condutor e baixo para os isolantes térmicos [36]. Os isolantes térmicos são empregados com a finalidade de reduzir o fluxo de calor entre sistemas térmicos e o ambiente, gerando a sensação de bem estar e a diminuição dos custos com climatização [37].

Callister [27] define a condução térmica como o fenômeno no qual o calor é transportado das regiões de alta temperatura para as regiões de baixa temperatura em uma substância. A propriedade que caracteriza essa habilidade de um material em transferir calor é a condutividade térmica. O calor nos materiais sólidos tanto por meio das ondas de vibração cristalina (fônons) quanto por meio de elétrons livres. Os elétrons livres ou de condução participam no processo de condução térmica eletrônica, os elétrons livres migram para as áreas mais frias, onde uma parte dessa energia é transferida para os próprios átomos, como consequência de colisões com os fônons ou com as imperfeições no cristal.

Nos metais de alta pureza, o mecanismo eletrônico de transporte de calor é muito mais eficiente, pois os elétrons não são tão facilmente dispersos, sendo bons condutores de calor porque existe grande número de elétrons livres que participam no processo de condução térmica. O vidro e cerâmicas amorfas possuem menores condutividades térmicas do que as cerâmicas cristalinas, uma vez que o espalhamento dos fônons é muito mais efetivo quando a estrutura atômica é altamente desordenada e irregular. A porosidade nos materiais cerâmicos pode ter uma influência sobre a condutividade, o aumento do volume dos poros irá resultar em uma redução da condutividade térmica [27].

Podemos encontrar materiais naturais, sintéticos e minerais que são utilizados como isolante. A fibra de coco é um desses materiais utilizado como isolante, sendo empregado para confecção de painéis e tijolos de solo-cimento. De acordo com Rousan e Roy [38], a condutividade térmica de pastas de cimento, argamassas e concreto, esta relacionado aos seus

constituintes. O fator que mais influencia é o espaço vazio e umidade relativa, o tipo de agregado, aditivos, a proporção da mistura, o tipo de cimento e a temperatura da amostra [38].

Estudo realizado por Silva et. al.[39], com fibra da casca de coco introduzida no tijolo, mostra uma redução na condutividade térmica do material sem comprometer a resistência mecânica do produto, indicando a utilização do mesmo em habitações populares.

Tijolos reforçados com gesso ajudam a melhorar a condução térmica, segundo Ashour et. al. [40] a inclusão deste produto aumenta esse isolamento em até 48% em relação aos tijolos sem gesso [40]. Silva et. al. [41] indica que a inclusão da casca de arroz proporciona melhores resultados nas propriedades térmicas para tijolos de solo-cimento [41]. Outro resíduo mineral utilizado para isolante é o pó de serra, segundo Dantas Filho este resíduo pode ser empregado com a substituição da areia tornando os tijolos mais isolantes, isso devido a baixa condutividade térmica da madeira [42].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Obtenção e preparação do endocarpo da Bocaiúva

O endocarpo da Bocaiúva foi obtido na zona rural – na rodovia MS 040 no km 10 – Três Barras próximo aos limites de Campo Grande - MS. O material coletado foi lavado em água corrente para a remoção das impurezas.

Como EB é um material com elevada resistente mecânica, para transforma-lo em partículas menores foi necessário submeter o material a um tratamento térmico a fim de possibilitar sua moagem até chegar próximo do tamanho escolhido. Foi definido que para trabalhar com EB o mesmo deveria ficar com dimensão próxima dos grãos de cimento Portland (CP), que são de aproximadamente 75 μm . Este tamanho foi escolhido para que obtivéssemos uma melhor homogeneização da mistura CP/EB e a distribuição dos grãos na matriz.

O tratamento térmico do EB foi realizado em forno tipo Mufla modelo EDG10P-S, levado em pequenas porções acondicionado em cadinho de alumina. Tendo como base as análises realizadas por Rettore e Martins [3], a temperatura de degradação do EB se dá a uma temperatura de aproximadamente 450°C, onde temos a degradação da matéria orgânica presente e a carbonização do material [3]. Assim realizamos dois tratamentos térmicos com temperaturas menores que a citada na literatura, para enfim definir qual tratamento será

utilizado. São eles:

- **Tratamento 01 (T1):** temperatura final de 300 °C com incrementos de 5 °C min. no tempo de 10 horas.
- **Tratamento 02 (T2):** temperatura final de 250 °C com incrementos de 1 °C min. no tempo de 10 horas.

A Figura 6 ilustra como o material se comportou em cada um dos tratamentos.



Figura 6 - (a-c) EB sem tratamento térmico, (b) EB com tratamento T1, (d) EB com tratamento T2.

Em T1, indicado na Figura 6 (b), é observado que as condições do tratamento não foram adequadas para o estudo, sendo que visualmente o material perdeu grande parte da massa se transformando em pó. Sendo assim este tratamento não foi o escolhido para o material. No Tratamento T2, indicado na Figura 6 (d), aparentemente a perda de massa não foi significativa. Sendo assim possível moer o material utilizando T2 para a produção do compósito.

Após definido o tratamento térmico o material foi levado para moagem em um moinho de bolas para minérios do tipo Bond da marca Marconi, modelo MA 701/21. O tempo de moagem foi de 3 horas em modo contínuo, sendo suficiente para chegar ao tamanho dos grãos estipulado. Para saber se o material estava próximo do tamanho escolhido o mesmo foi

peneirado em uma peneira com diâmetro próximo de 75 μm , o EB que passou por essa peneira foi o utilizado para a produção do compósito.

4.2 Caracterização do solo

Para a confecção do compósito foi definido o traço, ou seja, a mistura para produzir os tijolos do tipo solo-cimento (TSC). Para isso foi necessário fazer a granulometria do solo para identificar o tipo de solo que estamos trabalhando e assim definir a porcentagem de cimento que devemos utilizar na mistura.

O solo utilizado foi o de uso comercial de Campo Grande – MS foi escolhido porque é encontrado facilmente em lojas de materiais para construção civil. Os solos ideais para esta estrutura são aqueles que apresentam uma curva granulométrica bem distribuída, isentos de matéria orgânica, devendo-se ainda evitar os que contenham argilominerais [41- 43].

Então a caracterização do solo foi através da determinação da composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248 [44]. Neste ensaio foram utilizadas as peneiras com os diâmetros: 2,00 mm, 1,20 mm, 0,60 mm 0,42 mm 0,30 mm 0,15 mm, 0,075 mm e o fundo. Estas peneiras são as indicadas na norma para caracterização dos agregados miúdos, e estão ilustradas na Figura 7.



Figura 7 - Série de peneira utilizada no ensaio.

O solo depois do ensaio de caracterização foi denominado como solo arenoso e fino, o detalhamento desta caracterização se encontra no APÊNDICE A deste trabalho.

4.3 Preparação do compósito

Depois de realizada a moagem do material foi produzida misturas de solo, cimento, água e EB para confecção dos tijolos de solo-cimento. O cimento utilizado foi o CP II-Z-32 (cimento Portland com pozolâna). As porcentagens utilizadas de EB foram de: 5%, 10%, 15% e 20% em massa do cimento.

A água utilizada é potável e isenta de matérias orgânicas, tem a finalidade de conferir plasticidade e resistência mecânica suficiente ao elemento de carga para que a mistura possa ser homogeneizada e manuseada antes do endurecimento da mistura, e ser um reagente que toma parte no processo juntamente com o elemento endurecedor que no caso é o cimento Portland [17]. É muito importante que a quantidade de água da mistura esteja correta, o TSC compactado com muita água perde resistência e pode até trincar [45].

4.4 Produções do tijolo solo-cimento e moldes para o ensaio de condutividade térmica

A dimensão do tijolo utilizado foi do tipo A, com dimensões de 200x100x50 mm de acordo com a NBR 8491 [18]. A fôrma para produção do tijolo é de madeira conforme indicada na Figura 8, a compactação da mistura na fôrma foi manual com o auxílio da pá de pedreiro e espátula para nivelar. Esta modelagem dos tijolos de solo-cimento foi escolhida para facilitar as caracterizações das propriedades físicas e mecânicas do compósito e com base na literatura de Nascimento [45].



Figura 8 - Fôrma de madeira

Os materiais utilizados para fabricar os tijolos de solo-cimento foram: pá de pedreiro, Becker de 500 ml, bacia de plástico para homogeneizar a massa, óleo vegetal para passar nas fôrmas e facilitar a retirada do tijolo das fôrmas, e fôrmas de madeira. Na tabela 2 está indicado o traço da mistura de cada porcentagem de EB utilizado nos tijolos.

Tabela 2 - Composição do compósito nos tijolos de solo-cimento

Nome		Mistura
C1	Compósito de 0% de EB*	90 % de areia; 10 % de CP II-Z-32*; 10 % de água em relação à massa total dos sólidos.
C2	Compósito de 5% de EB*	90 % de areia; 9,5 % de CP II-Z-32*; 5 % de EB; 10 % de água em relação à massa total dos sólidos.
C3	Compósito de 10% de EB*	90 % de areia; 9,0 % de CP II-Z-32*; 10 % de EB; 10 % de água em relação à massa total dos sólidos.
C4	Compósito de 15% de EB*	90 % de areia; 8,5 % de CP II-Z-32*; 15 % de EB; 10 % de água em relação à massa total dos sólidos.
C5	Compósito de 20% de EB*	90 % de areia; 8,0 % de CP II-Z-32*; 20% de EB; 10 % de água em relação à massa total dos sólidos.

*EB: Endocarpo da Bocaiúva.

*CP II-Z-32: Cimento Portland com Pozzolâna.

Conforme indicado na Tabela 2 foram produzido compósitos com a substituição em massa do cimento pelo EB tratado, as porcentagens foram: 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. A mistura do material fica com consistência de uma “farofa”. Para cada porcentagem de material foi produzido seis tijolos, esta quantidade foi escolhida para fazer o ensaio de resistência à compressão dos tijolos, sendo dois para cada dia de ensaio, tendo como base as NBR 8491 e 8492. [18- 46]

Após moldagem dos tijolos, os mesmos ficaram em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações durante um período de 24 horas, que é o tempo indicado para o início da pega do cimento (endurecimento da mistura). Posteriormente os tijolos foram retirados das fôrmas e imersos em água para realizar a cura. A NBR 12024 [47] indica que após a moldagem dos corpos de prova (tijolos) devem obrigatoriamente ter o tempo de cura de sete dias, outras idades de cura podem ser consideradas para o controle da obra, pesquisas, ensaios especiais e outros. O tempo de cura é contado em dias, esse processo é realizado para garantir a hidratação do cimento, neste trabalho foram utilizadas as idades de 07, 14 e 28 dias. A

hidratação do tijolo de solo-cimento nos primeiros dias após a moldagem é fundamental, em caso de secagem rápida pode ocorrer uma redução na resistência mecânica de aproximadamente 40% o que torna a cura um processo indispensável [17-47-48].

Foi escolhido esse tempo de cura para que possamos acompanhar se o EB influencia ou não na resistência à compressão dos tijolos. No final de cada idade de cura definida foi feito o ensaio de resistência à compressão dos tijolos para analisar o comportamento mecânico do compósito. Na Figura 9 mostra parte do processo de fabricação.



Figura 9 - Tijolos solo-cimento.

Em todas as composições a mistura foi bem homogênea e com aspecto de “farofa”. No processo de produção é possível observar que na composição C2 a mistura ficou um pouco mais úmida que a mistura C1, ocorrendo o mesmo em todas as composições. Na produção da composição C3 pode-se observar na Tabela 2 que foi acrescentado material na mistura, isso ocorreu porque na compactação das fôrmas faltou uma pequena quantidade para preenchê-las.

Pode ser que isso tenha ocorrido devido à força da compactação do material nas fôrmas, por não ser produzido de forma mecânica não é possível controlar a intensidade da compactação manual. Com isso foi acrescentado mais 10% em massa nas composições C4 e C5, foi feito o acréscimo de material sem que alterasse as taxas de substituições da mistura.

Visualmente na produção das composições de C4 e C5 os tijolos ficaram mais frágeis, isso pode ser devido à diminuição do cimento na mistura, mas será analisada no ensaio de resistência a compressão.

4.5 Caracterização

Na caracterização dos compósitos produzidos foram utilizadas as seguintes caracterizações para analisar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas do material.

4.5.1 Caracterização Microestrutural

A caracterização microestrutural dos compósitos foi realizada avaliando o aspecto de superfície e perfil lateral das amostras, através das imagens de Microscopia Ótica. Foram empregadas para avaliar possíveis formações de fissuras nas amostras e adicionalmente a dispersão dos grãos do EB pela matriz do cimento. As imagens de microscopia das amostras foram realizadas no próprio INFI – Instituto de Física, onde dispomos do Microscópio digital modelo SEM-200X, HD Color CMOS sensor, High Speed DSP.

As propriedades cristalográficas dos compósitos foram estudadas por difração de raios-x (DRX), utilizando um difratômetro de Shimadzu (Co Radiation), modelo 6100, com intervalo de 2θ de 10° a 80° , com taxa de $0,02^\circ/\text{min}$. Os dados obtidos foram avaliados com base nos padrões disponíveis nas literaturas com apoio da literatura de Silverstein, Webster e Kiemle [49].

Por fim a interação do EB na matriz de CP foi investigada por espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier de reflectância total atenuada (ATR-FTIR), utilizando um espectrômetro da marca PerkinElmer modelo Spectrum 100 FT-IR. As medidas foram realizadas nas faixas de 4.000 cm^{-1} a 600 cm^{-1} , usando resolução de 4 cm^{-1} e 16 varreduras por medição.

4.5.2 Caracterização das Propriedades Mecânicas

Na engenharia, uma das propriedades mais importantes para os materiais com função estrutural ou não estrutural são suas resistências características para atender as exigências mínimas das normas de segurança. Os tijolos de solo-cimento foram preparados antes da realização do ensaio, foram cortados perpendicularmente à sua maior dimensão, colocados um em cima do outro por suas faces maiores, as duas metades ligadas por uma camada fina de pasta de cimento [20]. Este procedimento está indicado nas Figuras 10 e 11.



Figura 10 - corpos de prova pronto para ensaio de compressão

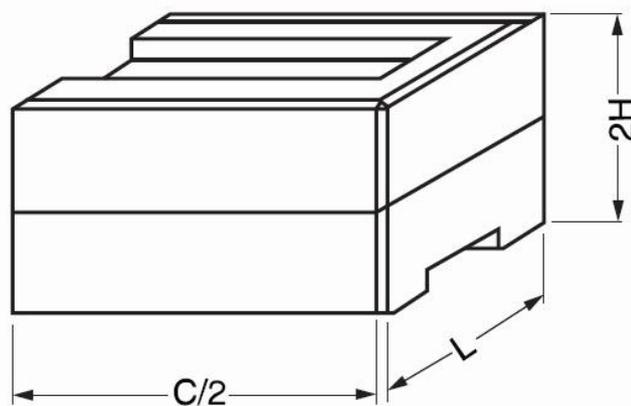


Figura 11 - Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolo maciço (NBR 8492).

Depois dos corpos de prova de tijolo solo-cimento pronto, foram colocados em uma prensa mecânica modelo F-40 DR da marca Forney, com aplicação de uma carga uniforme

com a razão de 500 N/s, podendo assim analisar a resistência à compressão dos tijolos [46].

4.5.3 Caracterização das Propriedades Térmicas

Um parâmetro importante para o compósito é a propriedade térmica do material. Neste trabalho foi determinada a capacidade térmica de EB através da técnica de Termogravimetria (TG), foi realizada em um aparelho em um modelo TGA T50 da TA Instruments, com as seguintes condições de análises: atmosfera de nitrogênio com fluxo de 60 mL/min., com razão de aquecimento de 20° C/min. e temperatura de 30 °C até 1000 °C. Com esta análise é possível analisar a decomposição térmica deste material.

Adicionalmente à condutividade térmica do compósito foi determinada através do método do comparador térmico introduzida por Clark e Powell [50]. Este é um método relativo em que diferentes padrões são usados para estabelecer uma curva de calibração a partir da qual os valores desconhecidos podem ser obtidos [50].

Na Figura 12 ilustramos o modelo do comparador térmico.

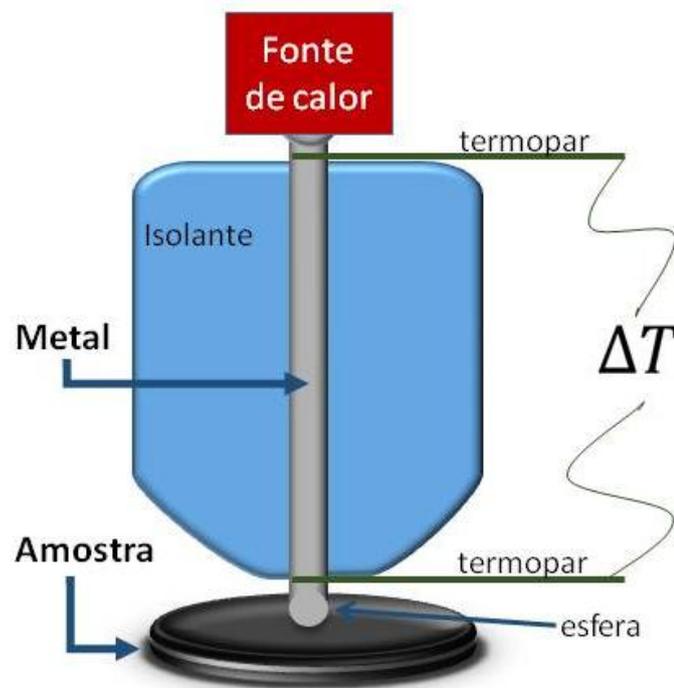


Figura 12 - Ilustração do comparador térmico

O comparador térmico é composto por duas ponteiros esféricas montadas em um bloco de isolante térmico, que serve para impedir a variação de temperatura. Uma ponteira esférica projeta-se ligeiramente na superfície da amostra e entra em contato com a mesma, a outra

ponteira esta em contato com a fonte de calor. Os termopares estão fixados no topo de cada ponteira, sendo a medição térmica separadamente por meio de um potenciômetro, um para medir a temperatura no ponto de contato e outro para medir o fluxo de calor que passou pela amostra. Como o estado transiente é curto a diferença de temperatura será rapidamente estabelecida, sendo assim um dispositivo de leitura direta [50].

Para essa análise foi produzido amostras cilíndricas, conforme indicado na Figura 13. Foi utilizado o cano PVC para fazer a fôrma dos compósitos, com diâmetro de 3,0 cm e altura de 1,0 cm.



Figura 13 - Amostras cilíndricas com e sem EB tratado.

A mistura para essas amostras foram retiradas no momento em que foram produzidos os tijolos, sendo duas esferas para cada mistura com 0%, 5%, 10%, 15% e 20% do EB. As mesmas ficaram imersas em água para garantir o tempo de cura indicado por norma e depois nivelado às superfícies das amostras para realizar o ensaio.

4.5.4 Análise da composição do endocarpo da Bocaiúva

Para identificar alguns componentes de EB que podem não degradar até 800 °C foi realizado o experimento LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) [51], com laser de Nd: Yag com 200 mJ de energia e 10ns de largura temporal por pulso. O espectrômetro foi um Stellarnet (190-300 nm) com resolução ótica de 0,2 nm. O tempo de atraso entre a formação do plasma e a aquisição do espectro foi de 500 ns. Os espectros foram adquiridos pela média de dois tiros consecutivos com um tiro anterior para a limpeza da superfície. Para cada amostra (interna e superficial do endocarpo da bocaiuva) foram obtidos 15 espectros. Os

espectros foram submetidos a um processo para excluir outliers e foi calculada a média [52-53].

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises microestruturais

Para mostrar como foram as influências do EB no compósito avaliamos aspectos relacionados a sua microestrutura. Para identificar as formações de fase cristalinas no material estudado e as modificações microestruturais na matriz de TSC analisamos os padrões de difração de raios-X das amostras. Para melhor evidenciar possíveis influencias foi analisado também o compósito com 50 % do EB. Na Figura 14 apresentamos os dados do DRX do compósito com e sem EB.

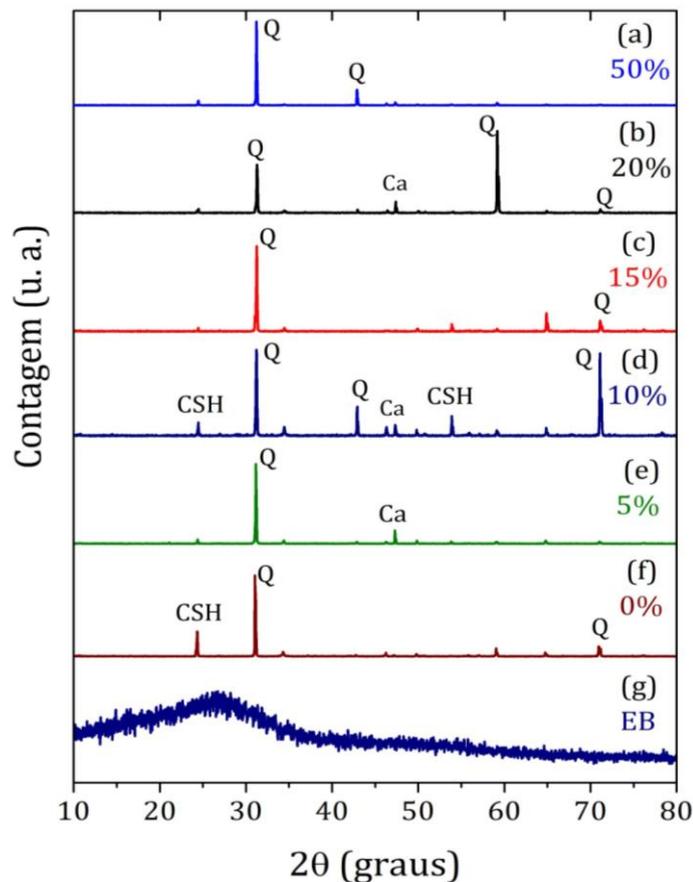


Figura 14 - Difratoograma de a) 50% do EB, b) 20% do EB, c)15% do EB, d)10% do EB, e)5% do compósito com EB, f) 0% do EB e g) EB com tratamento térmico. (Q – quartzo, Csh- silicato de cálcio hidratado; Ca – calcita).

O difratograma do EB após tratamento térmico apresentado mostra que o material apresenta fase amorfa em sua estrutura com largo característico em torno de 27° , típico desses materiais lignocelulósicos.

Para as amostras com 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 50% do TSC, indicada na Figura 14 (a-f), os picos de difração mais intensos foram identificados em torno de 30° que de acordo com Brasileiro et. al. [54] é atribuído a fase do quartzo.

Por possuir areia e cimento Portland em sua composição é possível identificar alguns picos característicos deste material. No difratograma da Figura 14 (a-f) encontramos nos TSC as fases cristalinas do quartzo e calcita que são atribuídas ao solo arenoso. A fase cristalina relacionada à hidratação do cimento são as do silicato de cálcio hidratado, que é possível identifica-las na Figura 14 (d-f) [54-55-56].

A inserção do EB na matriz de CP não influencia a formação de fase do TSC. A medida que aumentamos a proporção do endocarpo da Bocaiúva e diminuimos a do cimento, podemos encontrar picos não muito intensos de silicato de cálcio hidratado, que estão relacionados as reações de hidratação do cimento. Tendo como base essa análise do difratograma concluímos que a inclusão do EB não está modificando a microestrutura do compósito.

Como se é sabido os principais componentes presente no EB são: hemicelulose, celulose e lignina, componentes em que suas bandas podem ser identificadas nos espectros de FTIR. Uma amostra com 50% do EB foi produzida para verificar se há interações nas bandas de absorção do endocarpo com o tijolo de solo-cimento, e análise das bandas do EB natural com o EB tratado termicamente.

A Figura 15 mostra os espectros de FTIR das amostras do EB natural e com o EB tratado termicamente. A análise FTIR das amostras do EB natural revelou as principais bandas associadas aos compostos de lignina e celulose. Após o tratamento térmico observou-se uma grande diminuição na intensidade destas bandas com o desaparecimento de algumas bandas 1509 cm^{-1} , 1371 cm^{-1} , 1238 cm^{-1} e 1034 cm^{-1} que estão atribuídas à degradação térmica de compostos orgânicos de cadeias moleculares da celulose e hemicelulose.

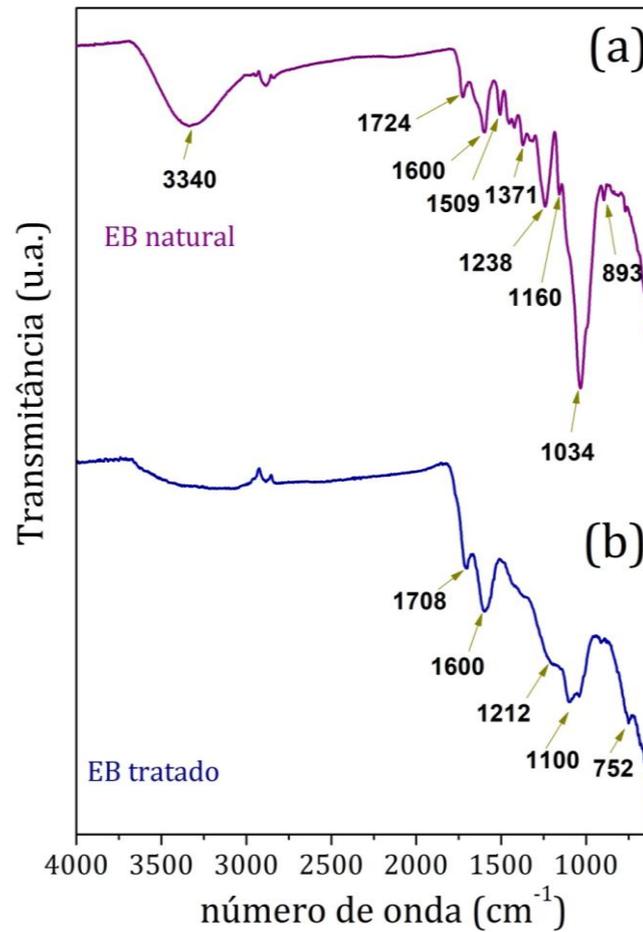


Figura 15 – FTIR de a) EB natural e b) EB após tratamento térmico

Na Tabela 3 estão indicadas as estruturas correspondentes às ondas vibracionais encontrada nas análises de FTIR.

Tabela 3. Estruturas correspondentes às ondas vibracionais do endocarpo da Bocaiúva natural e do endocarpo da Bocaiúva tratada termicamente.

Composto químico	Estrutura correspondente	Número de onda localizada (cm ⁻¹)	Ref.
LIGNINA	Alongamento de O-H	3340	[57-58]
	Deformação axial de C=O	1724	[49-54]
	Deformação axial de C=O	1708	[49-54]
	Alongamento de C=C e C=O	1600	[49-54]
	Deformação angular de C-H	893	[49-54-59]
	Deformação angular de C-H	752	[49-54-59]
HEMICELULOSE	Alongamento C=C e C=O	1509	[49-60]
HEMICELULOSE	Deformação angular de C-H	1371	[49-54]

E CELULOSE	Deformação axial C-O	1238	[49-54]
	Deformação axial C-O	1212	[49-54]
	Alongamento assimétrico C-O-C	1160	[49-54]
	Alongamento C-O	1100	[49-54]
	Deformação aromática de C-O	1034	[49-54]

Encontramos no EB as variações que estão relacionadas à lignina em diferentes faixas de absorção. Como descrito na Tabela 3 na análise da espectroscopia é identificado que a faixa de 3340 cm^{-1} está atribuída à região característica da associação dos grupos de hidroxila e vibração de alongamento ligado à OH presente em carboidratos (celulose + hemicelulose) e lignina [57-58-59].

Nas faixas de 1724 cm^{-1} e 1708 cm^{-1} estão associados à vibração de alongamento dos grupos da hemicelulose e alongamento de carbonila e lignina. Nas faixas de 1600 cm^{-1} e 1509 cm^{-1} está relacionado à vibração do anel aromáticos fenólico da lignina, e a ligação C=O pode estar ligada a banda de ligação da hemicelulose. Faixa de 1371 cm^{-1} esta atribuída a deformação axial de C-H correspondente à vibração de ligação da Celulose e hemicelulose [49]. A faixa de 1238 cm^{-1} e 1212 cm^{-1} estão associadas à vibração de C-O dos ésteres ou fenóis e também ao alongamento de C-O relacionado a vibrações do grupo acetil da lignina e hemicelulose. Em 1160 cm^{-1} acontece o alongamento assimétrico de C-O-C que esta ligada a vibração que acontece na celulose e hemicelulose. Nas faixas 1100 cm^{-1} e 1034 cm^{-1} acontece o alongamento e deformação de C-O ligadas a vibrações primárias e secundárias de alcoóis [54]. Faixas de 893 cm^{-1} e 752 cm^{-1} são bandas intensas de deformação angular fora do plano das ligações C-H do anel, podendo estar ligadas a uma pequena absorção correspondente a um tipo de lignina [60-61].

Para o compósito com substituição de 0% e com 50% do EB em massa do cimento pelo endocarpo da Bocaiúva, na Figura 16 está representado o gráfico com os espectros do FTIR. O compósito com 50% do EB foi produzido para tentar identificar melhor se houve interações do EB com o compósito.

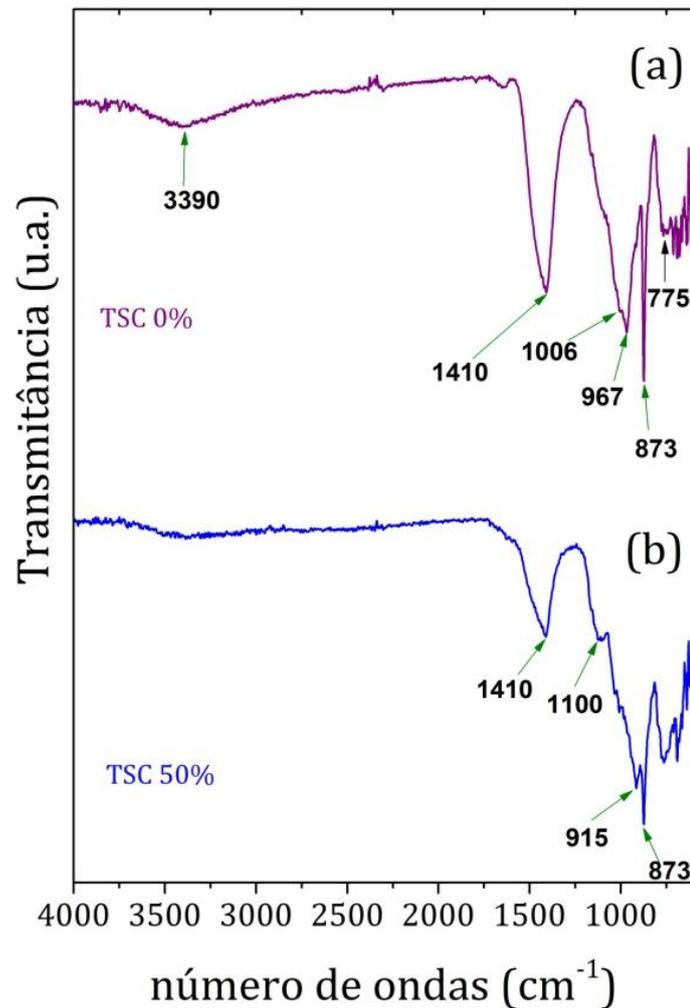


Figura 16 – FTIR de a) TSC com 0% do EB e b) TSC com 50% do EB. TSC: tijolo solo-cimento

Na Tabela 4 estão indicadas as estruturas correspondentes ao número de onda encontrado nas análises de FTIR.

Tabela 4. Estruturas correspondentes à caracterização do compósito com 0 % e 50 % do endocarpo da Bocaiúva

Composto químico	Estrutura correspondente	Número de onda localizada (cm ⁻¹)	Ref.
Hidratação do Cimento Portland	Alongamento assimétrico e simétrico de O-H	3390	[49-54]
	Deformação simétrica de O-H	1640	[54]
Composto de Cimento Portland	Alongamento assimétrico de C-O atribuído ao grupo do carbonato de cálcio	1410	[49-54]

Alongamento C-O	1100	[49-54]
Alongamento assimétrico C-S-H	967	[49-54]
Alongamento assimétrico de C-O das vibrações do carbonato de cálcio, estiramento de Si-O.	915 - 775	[49-54-61]

Avaliando o FTIR da Figura 16 do espectro de 0% EB, o pico fraco que está entre 3500 cm^{-1} e 3250 cm^{-1} é referente à vibração de alongamento simétrico e assimétrico da água (O-H) ligado à reação de hidratação do cimento. O pico entre 1410 cm^{-1} é um pico que provavelmente está relacionado ao alongamento assimétrico C-O atribuído a CO_3^{2-} dos grupos carbonato de cálcio [54]. A faixa de 915 cm^{-1} a 775 cm^{-1} estão associadas à presença dos minerais do solo representados pelas vibrações C-O e Si-O [54-61]. Mesmo com a introdução de uma grande quantidade de EB na matriz, é difícil afirmar se o EB está influenciando nas bandas de absorção das moléculas constituinte do material ou até mesmo a presença da lignina ou mesmo celulose nas amostras, como podem ser observados apenas alguns desvios entre 1000 cm^{-1} a 1200 cm^{-1} que pode estar associado à presença de material orgânico.

Foi investigado com a Microscopia Ótica a dispersão dos grãos na matriz e a interação do EB no tijolo solo-cimento. Apresentamos na Figura 17 a morfologia dos compósitos EB e CP/EB puros. As partículas do EB exibem uma aparência escura devido ao tratamento térmico a 250 °C , na Figura 17 (a) podemos observar grandes partículas antes do processo de moagem, com uma superfície rugosa. A superfície dos compósitos CP/EB com substituição de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % e 20 % em massa do EB, representados na Figura 17 (b-g), revelou que as partículas tendem a se aglomerar na matriz, formando grande aglomerados com diâmetro em torno de $10\text{ }\mu\text{m}$. Os aglomerados do EB são separados por grandes regiões de solo e cimento Portland. Inicialmente, as partículas do solo são cercadas por cimento Portland, como se pode observar na Figura 17 (b). Conforme o EB é adicionado a matriz CP, a quantidade de cimento diminui e as partículas do solo não são totalmente cobertas, essa diminuição do cimento tende a diminuir a resistência mecânica dos tijolos, Figuras 17 (c-f).

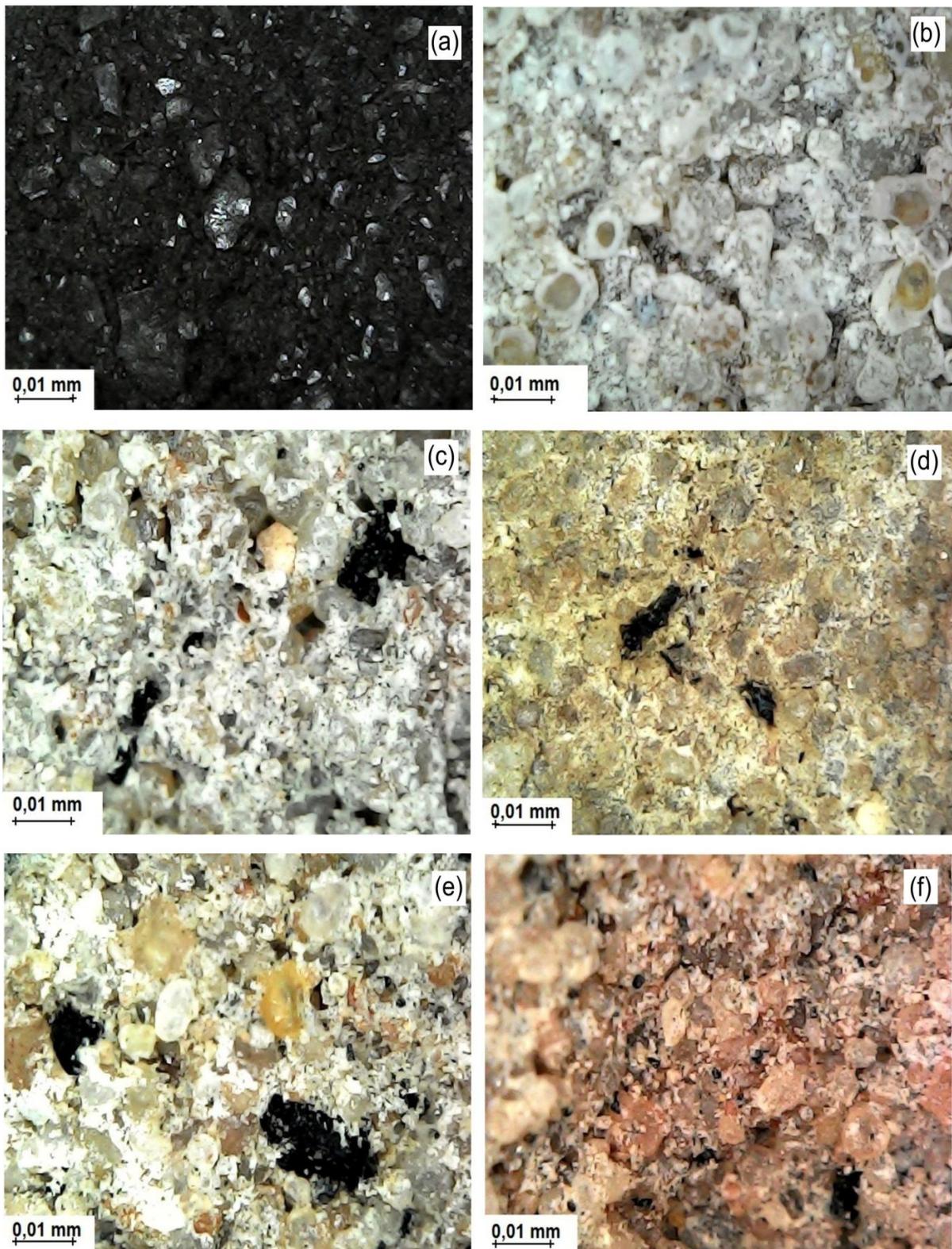


Figura 17 – Microscopia ótica de (a) EB com tratamento térmico, (b) TSC com 0% de EB, (c) TSC com 5% de EB, (d) TSC com 10 % de EB, (e) TSC com 15% de EB, (f) TSC com 20% de EB.

As regiões ocupadas por partículas do EB mostram-se ainda úmidas, mesmo depois de um tempo fora da água, isso acontece devido à capacidade do endocarpo de absorver

umidade, essa característica do endocarpo de Bocaiúva esta de acordo com a literatura [8]. Então é possível que o endocarpo da Bocaiúva influencie positivamente no conforto térmico dos tijolos, isso devido aos aglomerados do EB que podem servir como sítios de absorção de calor.

5.2 Análises das Propriedades Térmicas

Através do estudo termogravimétrico foi realizado um estudo para melhor entender o que ocorre com a matéria-prima após o tratamento térmico a 250 °C. A Figura 18 mostra o processo de degradação térmica do EB antes e após o tratamento térmico a 250 °C.

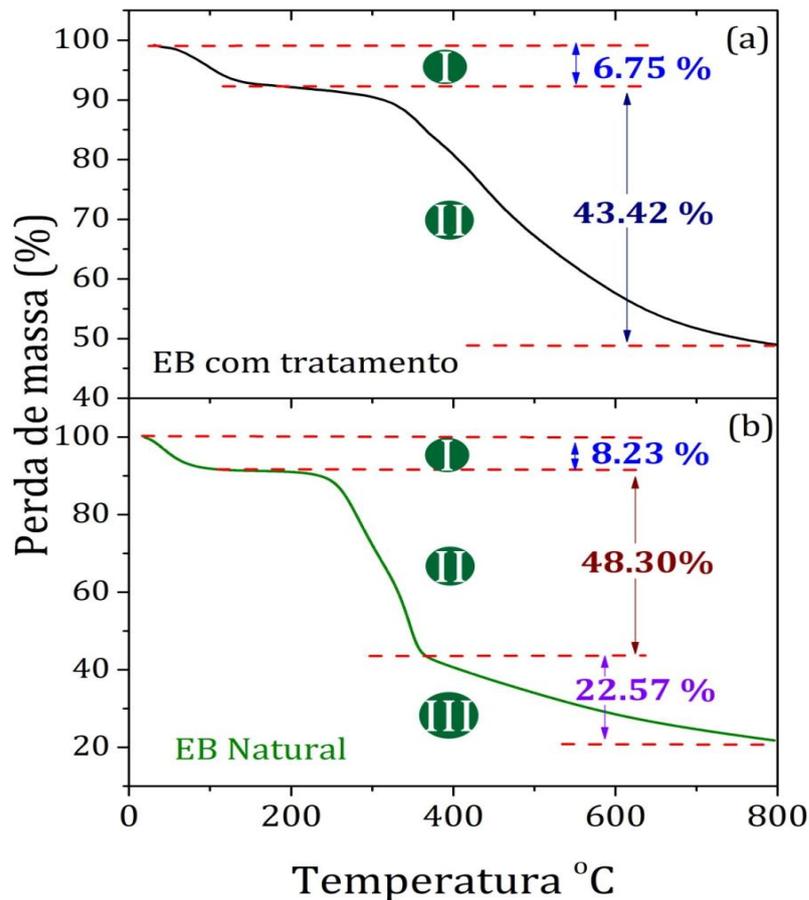


Figura 18 – Termogravimetria de (a) EB com tratamento térmico e (b) EB natural.

O processo de degradação térmica do EB natural, indicado na Figura 18 (b), foi caracterizado três etapas principais. O primeiro passo de degradação inicia-se a uma temperatura de aproximadamente 20 °C e termina próximo de 210 °C com uma perda de 8,23% podendo associar a liberação de moléculas livres de água da estrutura do EB [62].

A lignina não tem uma temperatura exata para iniciar a sua degradação, ela inicia aproximadamente a 180 °C e vai até a temperatura aproximada de 426 °C, sendo esta associada à estrutura da lignina com hidroxila fenólica, grupos carbonila e hidroxila benzílica. No segundo passo de degradação está nos intervalos das temperaturas de 210 °C a cerca de 370 °C, com uma perda de 48,30 %, nesta etapa são possíveis que os compostos de lignina e celulose se degradam. Após 370 °C, um terceiro passo contínuo mostra que possivelmente ocorra a degradação da celulose, tendo uma perda nesta faixa de 22,57 % da massa, permanecendo em torno de 20,90 % do material residual após 800 °C [57-62-63].

A análise TG do EB tratado termicamente a 250 °C / 10 h, Figura 18 (a), mostra apenas duas etapas principais de degradação térmica. O primeiro passo inicia-se a 50 °C e termina em torno de 210 °C com uma perda de massa de 6,75 %, podendo estar associada à liberação de moléculas de água da estrutura do material e podemos observar que a perda de água do endocarpo com tratamento térmico está ocorrendo mais lentamente que o endocarpo sem tratamento. O segundo passo inicia-se a 210 °C seguido de uma perda de massa contínua até 800 °C de 43,21 %, permanecendo em torno de 49,83 % de material residual no final. Sugere-se que, após o tratamento térmico de EB, ainda há compostos orgânicos no pó de EB e também deve ser constituído de alguns elementos inorgânicos que não se degradam após 800°C.

Esta hipótese anterior pode ser confirmada pela análise de LIBS, Figura 19. A presença dos elementos C (Carbono) e Mg (Magnésio) foram identificados como os principais elementos na superfície da concha do EB, Figura 19 (a). Ao analisar o perfil de profundidade (invólucro interno do EB), Figura 19 (b), além do C e Mg identificados anteriormente, o elemento Si (Silício) pode ser identificado.

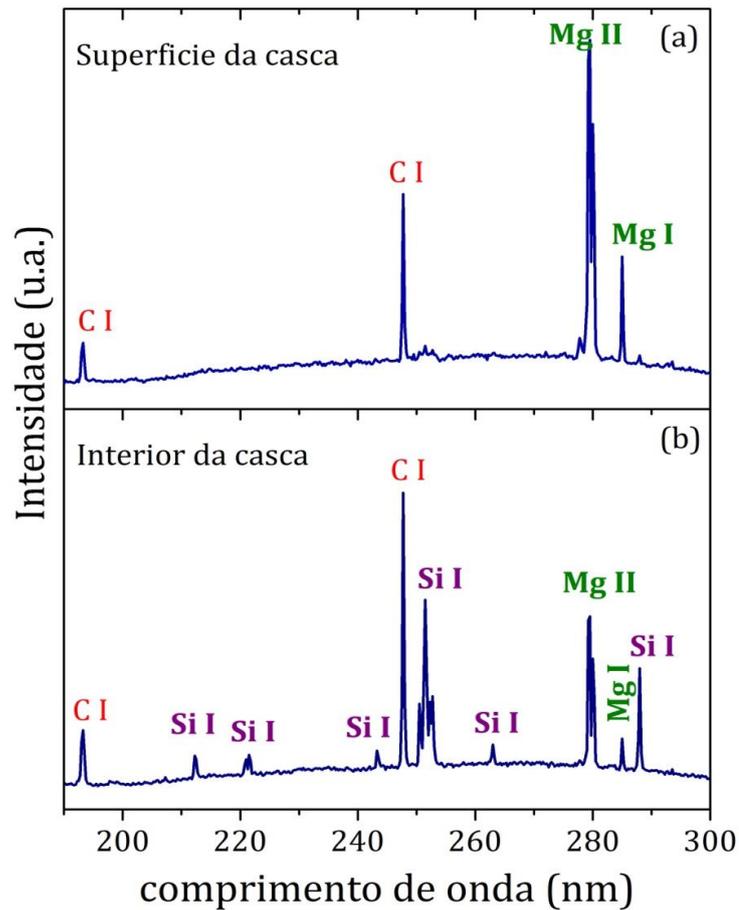


Figura 19 – Espectro LIBS mostrando principais elementos químicos inorgânicos identificados em amostras da concha do EB, obtidas da (a) superfície e (b) dentro do material.

5.3 Análises das Propriedades Mecânicas do Tijolo

Os dados dos ensaios de resistência à compressão estão mostrados na Tabela 5 e resumidos no gráfico da Figura 20. Na Tabela 5 estão indicadas as médias dos resultados obtidos para cada TSC produzido no tempo de cura de 07, 14 e 28 dias.

Tabela 5. Dados dos ensaios de resistência à compressão no tempo de cura de 07,14 e 28 dias.

		Média Resistência a Compressão (MPa)		
Traços dos tijolos		07 dias	14 dias	28 dias
T1	0% de endocarpo da Bocaiúva	6,10 MPa	7,75 MPa	8,85 MPa
T2	5% de endocarpo da Bocaiúva	5,35 MPa	5,20 MPa	5,00 MPa
T3	10% de endocarpo da Bocaiúva	3,25 MPa	3,85 MPa	3,70 MPa
T4	15% de endocarpo da Bocaiúva	1,80 MPa	2,52 MPa	1,90 MPa
T5	20% de endocarpo da Bocaiúva	1,08 MPa	1,70 MPa	1,75 MPa

Tendo como base o T1 observamos que a resistência mecânica diminui à medida que a adição do EB na matriz composta aumenta. De acordo com a NBR 8492 e 8491 [18-46], as condições específicas de resistência à compressão dos tijolos não deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2,0 MPa (20 kgf / cm²), nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf / cm²) com idade mínima de sete dias. Com isso podemos afirmar que as propriedades mecânicas dos TSC com mais de 15 % do EB foram prejudicadas. Isso pode ter ocorrido devido à diminuição do cimento na mistura, o cimento é um dos principais elementos para o aumento da resistência mecânica do material.

No gráfico da Figura 20 apresentamos as alterações conforme o aumento do EB e o tempo de cura.

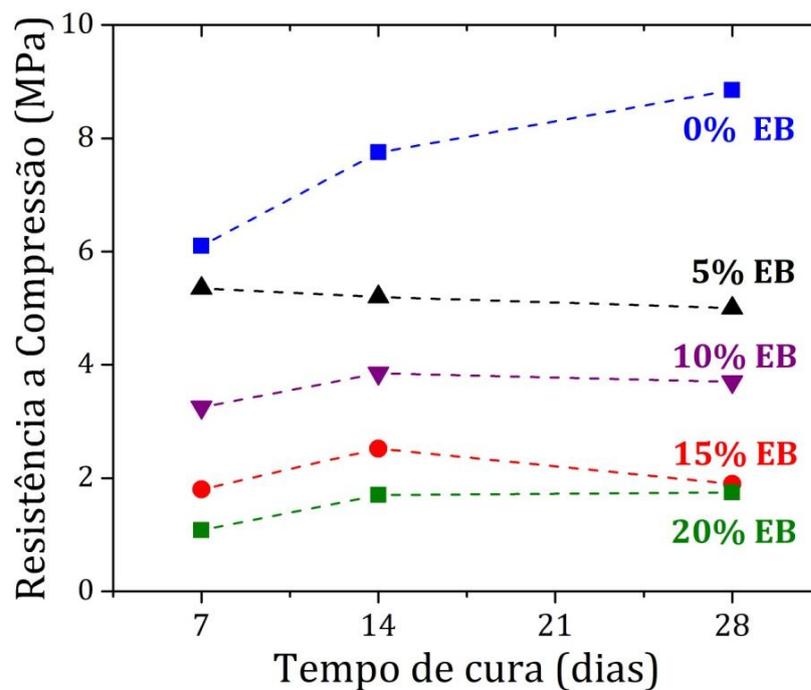


Figura 20 - Ensaio de Resistência a Compressão das médias de tempo de cura nos dias 07, 14 e 28.

No gráfico da Figura 20 apresentamos as porcentagens que tiveram melhor desempenho mecânico, com base no valor estipulado por norma [46]. Considerando as características já citadas é indicado que se utilize a porcentagem de 05 % e 10 % do endocarpo da Bocaiúva nos TSC. Com os valores obtidos da resistência mecânica recomenda-se a utilização deste tijolo como um tijolo de vedação, ou seja, tijolo que não vai desempenhar a função de tijolo estrutural na edificação. Era esperada uma queda na resistência mecânica comparada ao tijolo sem o compósito, por causa da inserção do material orgânico, segundo a literatura é comum que isso ocorra porque alguns materiais orgânicos tem a capacidade de alta absorção de água criando vazios e deixando o material mais poroso [64].

5.4 Condutividade Térmica

A condutividade térmica das amostras foi avaliada comparando com a amostra do compósito puro somente com o Cimento Portland sem adição do material orgânico. Os resultados estão resumidos na Figura 21. Após a dispersão de 5 % em massa do EB na matriz, a condutividade térmica do material diminuiu em torno de 25 % até um máximo de 37 %. Essa mudança significativa da condutividade térmica do compósito CP/EB pode estar associada aos aglomerados do endocarpo da Bocaiúva na matriz, que atuam como sítios de absorção de calor devido à sua alta capacidade térmica intrínseca.

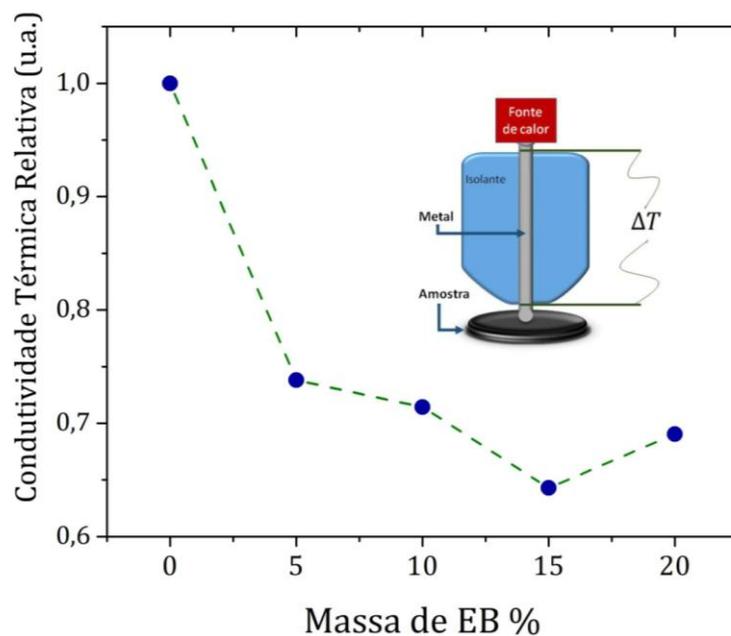


Figura 21 - Condutividade térmica relativa, comparação entre as amostras produzidas. Inserido um esquema do procedimento da medição.

Outro ponto que pode ter contribuído na condutividade dos TSC é a diminuição da taxa de cimento e a porosidade do material que era perceptível nos tijolos. Segundo Balaji et. al. [65] o tamanho dos poros dos tijolos varia conforme o teor de cimento, tijolos com menor teor de cimento possuem poros maiores em comparação aos com maior teor de cimento. Esse comportamento dos poros afeta a condutividade térmica dos materiais.

6. CONCLUSÕES

Concluimos através das análises de microscopia que o compósito se comportou de forma homogênea com a matriz tendo uma boa dispersão de seus aglomerados no tijolo solo-cimento, essa aglomeração dos grãos do EB pode ser que contribuíram para a diminuição na condutividade térmica dos tijolos de solo-cimento.

Nas análises de difração de raios-x não foram observadas interações específicas entre o endocarpo da Bocaiúva e a matriz do compósito, não havendo modificações microestruturais no mesmo.

A análise com a Espectroscopia com Transformada de Fourier (FTIR) revelou as principais bandas associadas aos compostos de lignina e celulose do endocarpo. Após o tratamento térmico observou-se uma grande diminuição na intensidade de algumas bandas com o desaparecimento de outras, o que está atribuído à degradação térmica do composto orgânico de cadeias moleculares da celulose e hemicelulose. Mesmo com a introdução de uma grande quantidade de EB na matriz, é difícil afirmar se o EB está influenciando nas bandas de absorção das moléculas constituintes do material ou até mesmo afirmar a presença da lignina ou mesmo celulose nas amostras.

Para as análises termogravimétricas é sugerido que para novas análises térmicas do endocarpo seja feita o controle da umidade do material antes de realizar os ensaios. Este controle pode influenciar nas análises de FTIR e na condutividade térmica dos TSC.

Era esperada a diminuição da resistência mecânica do TJS conforme a inclusão do EB, essa queda na resistência se deu devido às características que os materiais orgânicos causam em compósitos com cimento Portland. A inclusão do EB na matriz de cimento reduziu em torno de 43% a resistência à compressão do tijolo de solo-cimento. Tendo como base as normas brasileiras, os tijolos com inclusão de 5 % e 10 % do EB é aceita para utilização deste tijolo como elemento de vedação nas edificações. Mas sugerimos que outras análises nestes materiais sejam feitas para testar a qualidade e durabilidade do produto em longo prazo.

A condutividade térmica das amostras de cimento Portland com endocarpo da Bocaiúva diminuiu em torno de 30 % à medida que a quantidade do EB introduzida na matriz aumentou. Assim, o EB pode promover uma melhor característica de isolamento térmico no compósito, considerando os compósitos de CP/EB sendo utilizados em aplicações em que o isolamento térmico é o foco.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- (1) Analisar a utilização do EB sem o tratamento térmico na aplicação do compósito;
- (2) Introduzir o EB na forma natural sem moer, e avaliar a resistência mecânica do compósito;
- (3) Fazer análises da capacidade de absorção de água dos TSC com a inclusão do EB natural e com tratamento térmico;
- (4) Encontrar técnicas que possibilite a moagem do endocarpo da Bocaiúva natural;
- (5) Utilizar o EB na substituição dos agregados graúdos de tijolos e blocos de concretos;
- (6) Desenvolver método de tratamento do EB para melhorar a adesão a matriz e logo a propriedade mecânica;
- (7) Melhor compreender a mecânica de isolamento térmico do material;
- (8) Determinar a condutividade térmica do material.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Filho, J. A. A, Colombo, C. A. e Berton, L. H. C. **Macaúba: Palmeira nativa como opção bioenergética.** Pesquisa & Tecnologia, vol. 9, nº 2, Jul-Dez 2012.
- [2] Munhoz, C. L. **Elaboração de barras de cereal com Bocaiúva.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande-MS. 2013. 104p.
- [3] Rettore, R. P, Martins, H. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Vol. 1 Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais.** CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG. 1983. 259p.
- [4] Neto, A. R. **Superação da dormência em sementes de Macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loodiges ex Mart.].** Dissertação - Universidade Federal de Goiás. Jataí - GO. 2010. 68p.
- [5] Queiroz, L. A. L. **Análise de procedimentos pós-colheita do fruto da Macaúba (*Acrocomia aculeata*) e refino do óleo da polpa.** Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2016. 225p.
- [6] Galvani, F.; Colnago, L. A; Marconcini, L. V. e Santos, J. F. **Estudos dos Frutos e da Polpa da Bocaiúva Extraída Mecanicamente para a Produção de Biodiesel.** 5º Simpan, Corumbá – MS. 2010. 4p
- [7] Colombo, C. A.; Berton, L. H. C; Diaz, B. G. and Ferrari, R. A. **Macaúba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil.** EDP Sciences, 2018. 9p. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017038>
- [8] Rencoret, J.; Kim, H; Evaristo, A. B; Gutiérrez, A; Ralph, J. and Río, J. C. **Variability in Lignin Composition and Structure in Cell Walls of Different Parts of Macaúba (*Acrocomia aculeata*) Palm Fruit.** Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologia de Sevilla (IRNAS), CSIC, Seville – Spain, et al. 2018, 16p, 138-153.
- [9] Evert, R. F.; S. E. Eichhorn. **Raven Biologia Vegetal.** 8ed. 2014. 1637p.
- [10] Moura, F. C. C.; Rios, R. D. F.; Galvão, B. R. L. **Emerging contaminants removal by granular activated carbon obtained from residuxal Macaúba biomass.** Environmental Science and Pollution Research. 2018. 11p, p.26482-26492.
- [11] Silva, J. C.; Barrichelo, L.E.G; Brito, J.O. **Endocarpos de Babaçu e de Macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal.** IPEF, nº34, p.31-34, dez. 1986.
- [12] Vilas-Boas, M.A.; Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R.; Carvalho, A.M.M.L.; Martins, M.A. **Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de**

- carvão vegetal**. Scientia Forestalis. Piracicaba, v.38, nº 87, p. 481-490, set. 2010.
- [13] E. A. Flores-Jhonson, J. G. Carrillo, C. Zhai, R. A. Gamboa, Y. Gan & L. Shen. **Microstructure and mechanical properties of hard *Acrocomia mexicana* fruit Shell**. Scientific Reports. 2018. 12p. DOI:10.1038/s41598-018-27282-8
- [14] Faravelli, T.; Frassoldati, A.; Migliavacca, G.; Ranzi, A. **Detailed kinetic modeling of the thermal degradation of lignins**. Biomass and Bioenergy. 2009. 12p. 290-301.
- [15] Watikins, D.; Nuruddin, Md.; Mahesh, H.; Tcherbi-Narteh, A.; Jeelani, S. **Extraction and characterization of lignin from different biomass resources**. Journal of Materials Research and Technology. 2015. 7p. 26-32.
- [16] Lino, A. G. **Composição química e estrutural da lignina e lipídios do bagaço e palha da cana de açúcar**. Tese – Universidade Federal Viçosa. Viçosa – MG. 2015. 108p.
- [17] Silva, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2005. 219p.
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8491:2012 **Tijolo de solo-cimento: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 9p.
- [19] Associação Brasileira de Cimento Portland. **O solo-cimento e suas aplicações rurais**. BT 117. 2ª Ed. 1996. São Paulo – SP. 28p.
- [20] Associação Brasileira de Cimento Portland. **Fabricação de Tijolos Solo-Cimento com a utilização de prensas manuais**. BT 111. 3ª Ed. Junho de 2000. São Paulo – SP. 19p.
- [21] Souza, M. I. B; Segantini, A. A. S. & Pereira, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Faculdade de Engenharia/UNESP. Ilha Solteira – SP, 2007. 8p, 205-212.
- [22] Betsuyaku, Y. R.; Delgado Junior, H. G.; Valadão, I.C.R.P. **Produção de tijolo ecológico com resíduo de areia Diatomácea**. Cadernos UniFOA. Ed.34, agosto de 2017. 11p. 23-33.
- [23] Souza, T.A.C.; Nunes, G.A.; Soares, M.J.; Queiroz, M.T.A; **Análise preliminar da resistência a compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. Florianópolis – SC. v.3. Julho, 2011. 14p. 48-61.
- [24] Eladio G. R. Petrucci. **Concreto de cimento Portland**. 13ªed. 1998. São Paulo – SP.
- [25] Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. BT-106. 7ª Ed. São Paulo – SP. 2002. 28p.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 16697:2018 **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro – RJ. 2018. 12p.

- [27] JR. CALLISTER, D. William. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [28] Ferreira, R. C; Gobo, J.C.C; Cunha, A. N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia-GO, 2006. 11p
- [29] N. I. M. Nadzri, J. B. Shamsul & M. N . Mazlee. (2012). **Development and properties of coconut fiber reinforced composite cement with the addition of fly ash**. Journal of Sustainable Cement - Based Materials, 1(4), 186 - 191.
- [30] N. Sathiparan, H. T. S. M. Zoysa. **The effects of using agricultural waste as partial substitute for sand in cement blocks**. Department of Civil Engineering Faculty of Engineering. Killinochchi – Srilanka. 2018. 12p. 216-226.
- [31] Foletto, E.L; Hoffmann, R; Hoffmann, R.S.; Portugal Jr, U.L. e Jahn, S.L. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz**. Quim. Nova. Vol. 28, nº6. 2014. 6p. 1055-1060.
- [32] Villas-Bôas, B. T. **Utilização de cimento Portland e resíduos de Pinus spp para fabricação de blocos vazados de baixa densidade para alvenaria**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Curitiba-PR, 2016. 187p.
- [33] Nardi, I; Rubeis, T; Buzzi, E; Sfarra, S; Ambrosini, D. and Paoletti, D. **Modeling and Optimization of the Thermal Performance of a Wood-Cement Block in a Low-Energy House Construction**. Las. E. R. Laboratory, Department of Industrial and Information Engineering and Economics (DIIE), University of L'Aquila. Italy, 2016. 17p.
- [34] M. C. Amaral and J. N. F. Holanda. **Application of sugarcane bagasse ash in the production of low cost soil-cement brick**. Departmen of Engineering, Fluminense Federal University, Rio das Ostras – RJ. 2017. 10p.
- [35] Silva, K. D. C. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de lã de rocha, fibra de vidro e lã de vidro**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2016. 124p.
- [36] Borges, J. C. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN. 2009. 96P.
- [37] Albuquerque, I. V; Silva, L. O; Souza, P. M; Chaves, R. C. F; Oliveira, W. L; Xavier, A. A. B; Fabri, E. S. **Determinação do coeficiente de condutividade térmica de compósitos constituídos a partir da fibra de coco**. Revista iniciação científica. 2014/2015. 12p. 24-35.
- [38] Rousan, A. A and Roy, D. M. **A Thermal Comparator Method for Measuring**

Thermal Conductivity of Cementitious Materials. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. 1983. 3p. 349-351.

[39] Silva, L. C. F; Mendes, J. U. L. e Marinho, G. S. **Fibras de coco como indutor de isolamento térmico em tijolos solo-cimento.** III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 2004. Belém – PA. 8p.

[40] Ashour, T; Korjenic, A; Korjenic, S. and Wu, W. **Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum.** Energy and Buildings. 2015. 8p. 139-146.

[41] Silva, W. M; Ferreira, R. C; Souza, L. O. S e Silva, A. M. **Análise termofísica e mecânica de tijolos de solo-cimento confeccionados com a adição de resíduos agroindustriais.** XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela – RS. 2010. 8p.

[42] Dantas Filho, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria não estrutural.** Dissertação de Mestrado- Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2004. 136p.

[43] Silva, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira.** Curso de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2005. 219p.

[44] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 248:2003. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2003. 13p.

[45] Nascimento, C. M. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solo-cimento.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Faculdade Engenharia Mecânica. Natal, 2011. 73p.

[46] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8492:2012 **Tijolo de solo-cimento: análise dimensional, determinação de resistência à compressão e de absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 4p.

[47] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 12024 **Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 6p.

[48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738:2015 **Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9p.

[49] R. M. Silverstein, F. X. Webster and D. J. Kiemle. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos.** 7ª Ed. State University of New York, College of Environmental Science & Forestry. USA. 2006.

- [50] Clark, W. T. and Powell, R. W. **Measurement of Thermal conduction by the Thermal comparator.** Journal of Scientific Instruments. 1962, vol. 39. 8p. 546-552.
- [51] Zanetti TC, Cabral JS. **Calculation of an optical setup for a LIBS system.** Journal of Experimental Techniques and Instrumentation. 2018, 1(1): 1-8.
- [52] Menegatti CR, Nicolodelli G, Senesi GS, Silva OA, Filho HJI, Boas PRV, Marangoni BS, Milori DMBP. **Semiquantitative analysis of mercury in landfill leachates using double-pulse laser-induced breakdown spectroscopy.** Applied Optics. 2017, 56 (13): 3730-3735.
- [53] Marangoni BS, Silva KSG, Nicolodelli G, Senesi GS, Cabral JS, Villas-Boas PR, Silva CS, Teixeira PC, Nogueira ARA, Benites VM, Milori DMBP. **Phosphorous quantification in fertilizers using laser induced breakdown spectroscopy (LIBS): a methodology of analysis to correct physical matrix effects.** Analytical Methods. 2016, 8: 78-82.
- [54] Brasileiro, G. A. M; Vieira, J. A. R. e Barreto, L. S. **Use of coir pith particles in composites with Portland cement.** Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão - SE. 2013. 11p. 228-236.
- [55] R. A. Ramírez, et al. **The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks.** Grupo de Materiales y Construcción Del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR. Oaxaca, Mexico. 2012. 10p. 296-305.
- [56] A. E. R. Ortíz, F. Castellanos and P. F. J. C. Barrita. **Ultrasonic Detection of Chloride Ions and Chloride Binding in Portland Cement Pastes.** DOI 10.1186/s40069-018-0254-7
- [57] Toledano, A; Serrano, L; Garcia, A; Mondragon, I. and Labidi, J. **Comparative study of lignin fractionation by ultrafiltration and selective precipitation.** Chemical and Environmental Engineering Department. Spain. 2009. 7p. 93-99.
- [58] X. Zhao, D. Liu. **Chemical and thermal characteristics of lignins isolated from Siam weed stem by acetic acid and formic acid delignification.** Institute of Applied Chemistry, Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Haidian District, Beijing 100084, China. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.003>
- [59] S. K. Saw, G. Sarkhel and A. Choudhury. **Surface modification of coir fibre involving oxidation of lignins followed by reaction with furfuryl alcohol: Characterization and stability.** Departmen of Polymer Engineering, India. 2010. 7p. 3763-3769.
- [60] Panamgama, L. A. and Peramune, P.R.U.S.K. **Cocout coir pith lignin. A physico-chemical and thermal characterization.** International Journal of Biological

Macromolecules. 2018. 9p. 1149-1157.

[61] F. J. Padilha, et al. **Uso da Espectroscopia Raman e FT-IR na Caracterização do Biocarvão em Latossolo Amarelo da Amazônia Central.** Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas. 2017. 11p.

[62] R. Narendar, K. Priya Dasan. **Chemical treatments of coir pith: Morphology, chemical composition, thermal and water retention behavior.** Índia. Material Chemistry Division, SAS, VIT University, Tamilnadu, Índia. Composites Part B: Engineering. 2014, 56: 770-779.

[63] Oliveira, J. C; Castro, E. G; Miranda, C. S; Gonçalves, A. P. B. e José, N. M. **Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de licuri (Syagrus Coronata).** Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Salvador – BA. 2014. 8p. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá-MT.

[64] Amaral, M.C. and Holanda, J.N.F. **Application of sugarcane bagasse ash in the production of low cost soil-cement brick.** Advances in Environmental Research. Vol. 6, nº4. 2017. 10p. 255-264. DOI: <https://doi.org/10.12989/aer.2017.6.4.255>

[65] Balaji, N. C; Mani, M. and Reddy, B. V. V. **Thermal conductivity studies on cement-stabilised soil blocks.** ICE – Institution of Civil Engineers. 2015. 15p. 40-54. <http://dx.doi.org/10.1680/jcoma.15.00032>

[66] M. I. B. Souza, A. A. S. Segantini & J. A. Pereira. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto.** Faculdade de Engenharia/UNESP. Ilha Solteira – SP, 2007. 8p, 205-212.

9. APÊNDICE

APÊNDICE A – Caracterização do solo: resultados

Apresentamos neste anexo os resultados obtidos após o ensaio de caracterização do solo. Na Tabela 6 estão indicados os diâmetros de cada peneira e as porcentagens de material que ficou retido em cada uma delas.

Tabela 6- Dados dos ensaios de peneiramento fino do solo.

Peneira nº	D (mm)	Massa de Sólidos Retida (g)	Material Passante (%)	Retida acumulada(%)
10	2,00	2,85	0,285 %	0,0285 %
16	1,20	0,73	0,073 %	0,1015 %
30	0,60	5,71	0,571 %	0,6725 %
40	0,42	47,28	4,728 %	4,9505 %
50	0,30	479,72	47,972 %	52,9225 %
100	0,15	314,14	31,414 %	84,3365 %
200	0,075	62,93	6,293 %	90,6295 %
Prato		19,16	1,916 %	92,55 %
Módulo de Finura (MF)		1,38		

Tendo como base os resultados obtidos e de acordo com as NBR 6502, 248 e 7211 [44-45-46], conclui-se que o solo é um solo arenoso e fino, esta confirmação é dada pela quantidade de material retido nas peneiras de número 50 e 100 totalizando a maior porcentagem de material passante e pelo modulo de finura. O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de série normal dividido por 100, sendo que o MF do solo é de 1,38 e de acordo com a NBR 7211 os solos com MF menor que 2,4 são caracterizados como areia fina [66].

O solo arenoso é um solo não coesivo e não plástico formado por partículas de rochas ou minerais com diâmetros entre 0,075 mm e 2,00 mm, sendo um solo granular formado por minerais primários, os silicatos [45].

Para compreender melhor os dados apresentados na Tabela 6 a Figura 22 representa o gráfico da curva granulométrico do material em função do diâmetro das peneiras utilizadas.

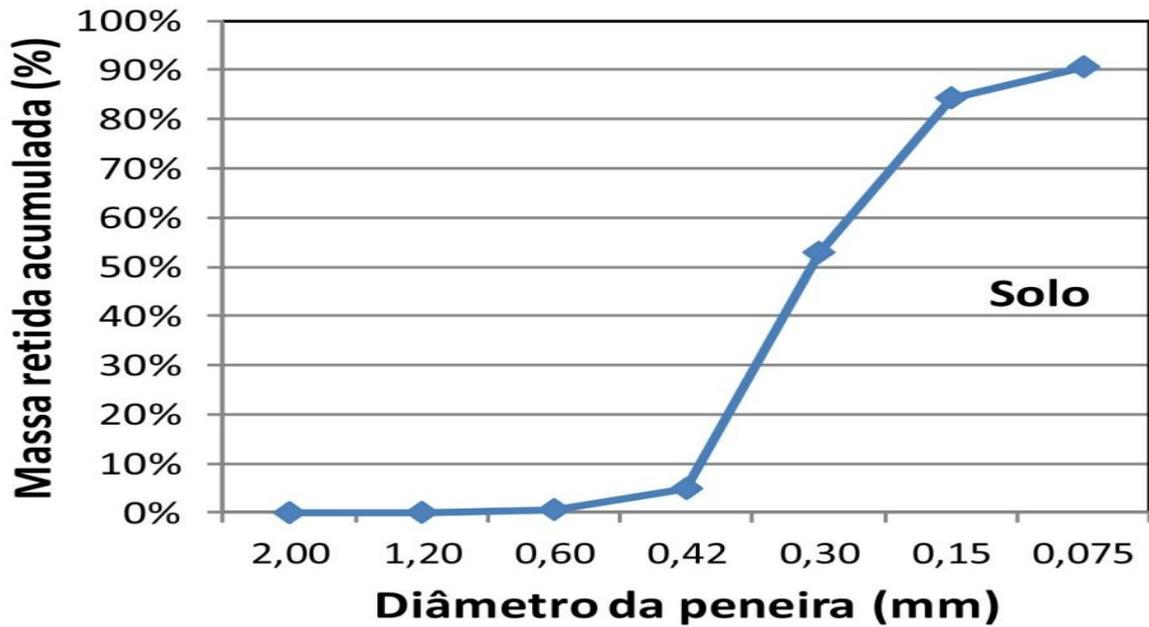


Figura 22 – Curva de distribuição granulométrica do solo.

Como podemos ver na Figura 22 a curva tem uma característica uniforme, com maior concentração de solo nas peneiras com os diâmetros de 0,30 mm e 0,15 mm. A porcentagem que fica retida na peneira de 0,075 mm é a fração mais fina composta por silte e argila. Solos compostos por grande fração de argila ou silte não são aconselháveis, apesar da fração de argila ser um componente importante devido as suas propriedades aglomerantes, agregando para o material uma boa resistência inicial, o que não é o caso do solo estudado. Solos com estes materiais em grande quantidade podem sofrer fissuras, trincas ou rachaduras depois de seco em consequência da retração, bem como redução de sua resistência [17].

Sabendo-se que estamos trabalhando com um solo arenoso e fino podemos definir a quantidade de CP que vamos utilizar na mistura. Então com essas características definidas e para garantir à aglomeração dos grãos e o aumento da resistência final do material, a porcentagem de cimento a ser utilizado é de 10 % de CP em relação ao volume total em massa do solo seco da mistura.

APÊNDICE B – Artigo submetido na revista Cement & Concrete composites.

Manuscript Details

Manuscript number	CCC_2019_80
Title	Portland cement/Bocaiuva (<i>Acrocomia aculeata</i>) endocarp composite: Preparation, microstructure, thermal and mechanical properties
Article type	Research Paper

Abstract

In the last few decades, Portland/residue composites have become widely produced and studied, mainly due its technological and environmental advantages. In this study, Bocaiuva Endocarp (BE) residues was introduced into the Portland cement matrix, with different BE contents (0, 5, 10, 15, 20 and 50 mass%). The results showed that the addition of BE in Portland composites matrix can improve the thermal isolation properties with a small impact on the compressive strength properties. The characterization of samples microstructure has demonstrate that BE particles tend to agglomerate in small regions well dispersed in the matrix, and also seems to promote some humidity in this sites. X-ray studies revealed no influence of BE on the Portland composite crystallographic properties. Additional analysis revealed that BE was mainly constituted of lignin and cellulose, and also inorganic chemical elements, such as Mg and Si was identified.

Keywords	Composite; Bocaiuva; Portland cement; thermal isolation.
Corresponding Author	Cicero Cena
Corresponding Author's Institution	UFMS
Order of Authors	Camila Carvalho Calvani, Carolyny Pereira Mendes, Alem-Mar Goncalves, DIEGO CARVALHO ALVES, Michael Silva, Bruno Spolon Marangoni, Diogo D dos Reis, Cicero Cena

Submission Files Included in this PDF

File Name [File Type]

Cover Letter.doc [Cover Letter]

Paper - Calvani-FINAL.docx [Manuscript File]

To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.

Research Data Related to this Submission

There are no linked research data sets for this submission. The following reason is given:
Data will be made available on request

Dear Editor,

Please find attached a paper entitled **"Portland cement/Bocaiuva (acrocomia aculeate) endocarp composite: Preparation, microstructure, thermal and mechanical properties"** which we would like you to consider for publication in Cement & Concrete Composites as an original article.

The highlights are:

- Fabrication of Portland cement/Bocaiuva endocarp composite.
- Improvement of thermal isolation by adding Bocaiuva endocarp into the matrix, with adequate mechanical properties for application.
- Complete characterization of the composite and Bocaiuva endocarp.
- Evidence of magnesium and silicon in the Bocaiuva endocarp.

Sincerely,

Professor PhD. Cicero R. Cena

Portland cement/Bocaiuva (*Acrocomia aculeata*) endocarp composite: Preparation, microstructure, thermal and mechanical properties

Camila C. Calvani¹, Caroliny P. Mendes¹, Alem-Mar B. Goncalves¹, Diego C.B. Alves¹, Michael J. Silva², Bruno S. Marangoni¹, Diogo D. dos Reis¹, Cicero R. Cena^{1*}

1 UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Instituto de Física, Campo Grande-MS, Brasil.

2 UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rosana-SP, Brasil.

ABSTRACT

In the last few decades, Portland/residue composites have become widely produced and studied, mainly due its technological and environmental advantages. In this study, Bocaiuva Endocarp (BE) residues was introduced into the Portland cement matrix, with different BE contents (0, 5, 10, 15, 20 and 50 mass%). The results showed that the addition of BE in Portland composites matrix can improve the thermal isolation properties with a small impact on the compressive strength properties. The characterization of samples microstructure has demonstrate that BE particles tend to agglomerate in small regions well dispersed in the matrix, and also seems to promote some humidity in this sites. X-ray studies revealed no influence of BE on the Portland composite crystallographic properties. Additional analysis revealed that BE was mainly constituted of lignin and cellulose, and also inorganic chemical elements, such as Mg and Si was identified.