

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHE COM
NÚCLEO DE CONCRETO LEVE COM CAROÇO DE AÇAÍ E
LAMINADOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS
DE JUTA

MARIA CLARA MACEDO PEREIRA

MANAUS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

MARIA CLARA MACEDO PEREIRA

DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHE COM
NÚCLEO DE CONCRETO LEVE COM CAROÇO DE AÇAÍ E
LAMINADOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS
DE JUTA

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Amazonas como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestra em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Materiais e
componentes de Construção

Orientador: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho.

MANAUS
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pereira, Maria Clara Macedo

P436d Desenvolvimento de painéis sanduíche com núcleo de concreto leve com caroço de açaí e laminados cimentícios reforçados com fibras de juta / Maria Clara Macedo Pereira. 2019

99 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João de Almeida Melo Filho

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Painel sanduíche. 2. Poliestireno Expandido. 3. Caroço De Açaí. 4. Juta. 5. Caracterização. I. Melo Filho, João de Almeida II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº. 001/2019

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO AO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

DATA DO EXAME: 25/03/2019

DISCENTE: Maria Clara Macedo Pereira

ORIENTADOR: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

BANCA EXAMINADORA: (Nome Completo)

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Presidente)

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos (Membro)

Prof. Dr. Jean Carlos Silva Andrade (Membro Externo)

TÍTULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: **DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE CONCRETO LEVE COM CAROÇO DE AÇAÍ E LAMINADOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA**

LOCAL: Multiuso II da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

HORA DE INÍCIO: 14h00

De acordo com o Regimento Interno do Programa Pós – Graduação em Engenharia Civil, aprovados pelo Conselho de Ensino e Pesquisa/CONSEP/UFAM e CAPES, o (a) aluno (a) submeteu sua dissertação em forma escrita e oral, sendo após exposição de cerca de 43 minutos arguido oralmente pelos membros da banca, tendo tido como resultado:

() Aprovação por unanimidade de sua dissertação. O (A) aluno (a) foi considerado aprovado, podendo pleitear o título de Mestre.

() Reprovação de sua Dissertação. O (A) aluno (a) não foi considerado aprovado (a) na sua Defesa de Dissertação. Não podendo pleitear o título de Mestre.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que será assinada pelos membros da banca e pelo (a) aluno (a).

Observações Seguir as recomendações

Manaus, 25 de março de 2019.

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Presidente)

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos (Membro)

Profa. Dra. Jean Carlos Silva Andrade (Membro Externo)

Maria Clara Macedo Pereira (Discente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me deu o dom da vida, me abençoou e iluminou meu caminho sempre e especialmente durante esta pesquisa.

À minha mãe Dalcicleia Macedo Pereira, meu pai Luiz Guilherme Rodrigues Pereira e meu irmão Diego Lucas Macedo Pereira, que são minha base para tudo na vida, meu grande exemplo e sempre me apoiaram durante toda a minha caminhada.

À minha madrinha Dalcemira Dias Macedo, meu padrinho Pedro Sampaio (in memoriam), minha tia Claudomira Dias Gesta e demais familiares, que me apoiaram durante o período do mestrado e me incentivaram no caminho da pesquisa.

Ao meu professor orientador João de Almeida Melo Filho que estava sempre pronto a me ajudar, e acreditou no meu potencial, especialmente na reta final desta pesquisa.

À minha amiga de longa data, Fernanda Caroline, que com muita bondade me ajudou em vários momentos desde a época da graduação e sempre me apoiou.

À minhas amigas desde o ensino médio Ana Claudia Cabrinha e Karoliny Benton que iniciaram o mestrado comigo e seguiram novos caminhos, mas também foram muito importantes nessa caminhada e são muito importantes na minha vida.

Aos meus amigos Raphael Frota, Italo Viana (in memoriam) e Michele Alves que sempre torceram pelo meu sucesso e estão sempre a me apoiar.

Aos meus amigos de longa data Elene Rebelo e Matheus José, junto com Eraldo Menezes e Brendo Cavalcante que me ajudaram durante este período e estão sempre ao meu lado.

Aos meus amigos Elias Santos e Ariel Praia que me apoiaram durante esta pesquisa e desde a época da graduação.

Ao meu amigo desde o ensino médio e também técnico do IFAM Daniel Passos de Oliveira, que me ajudou muito nos ensaios que realizei.

As Minhas colegas Fernanda Oikawa e a Adma Darwich que me ajudaram bastante durante o mestrado, tirando dúvidas e me doando material.

Aos meus amigos que também foram colegas de trabalho durante a docência Michell Barros e a professora Ana Seráfico que foram companheiros durante os dois anos que fiquei na docência e no mestrado, me aconselhando e me ajudando no que eu precisava.

Aos meus colegas que conheci ou tive mais contato no Mestrado Armyris, Ewerton Mazoni Daniela Lima, Erick Oliveira, Virlane, Eduarda Pereira.

À Universidade Federal do Amazonas e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Aos técnicos do laboratório de Materiais de Construção da UFAM, Nilson Braz Videll e Jorge Euvaldo Oliveira Santiago que me deram todo apoio necessário e contribuíram muito para esse trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Ensaios do IFAM André Miguel Huk Enriconi que me ajudou durante a realização dos ensaios mecânicos.

Ao engenheiro Domingos Sávio Coelho por disponibilizar a empresa Konkrex Engenharia de Concreto Ltda.

As empresa MC-Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda. e Mizu Cimentos S. A. que cederam respectivamente o aditivo superplastificante e cimento utilizado nesta pesquisa.

À Prof.^a Dr.^a Virgínia Mansanares Giacon pela disponibilização do Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos

Ao Prof. Dr. Lizandro Manzato por disponibilizar equipamento em seu laboratório no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), para que pudesse calcinar o caulim e aos técnicos Mitsuo Takeno e Wanison Pessoa que me auxiliaram

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro a pesquisa.

A todos aqueles, que mesmo não mencionados, me apoiaram em diversos momentos durante esta caminhada, meu sincero agradecimento.

“Confia ao Senhor a tua sorte, espera nele e ele
agirá.
Como a luz fará brilhar a tua justiça;
E como o sol do meio-dia, o teu direito.”

Salmos 36: 5-6

Resumo da dissertação apresentada ao PPGEC/UFAM como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (Msc.)

DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE CONCRETO LEVE COM CAROÇO DE AÇAÍ E LAMINADOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA

Maria Clara Macedo Pereira

2019

Orientador: João de Almeida Melo Filho

Programa: Engenharia Civil

No presente estudo realizou-se o desenvolvimento e caracterização mecânica de um painel sanduíche composto por núcleo de concreto leve com caroço de açaí e outro por poliestireno expandido, com faces de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta. Na produção do núcleo estudou-se três tipos de traços com dois tipos de agregados diferentes (poliestireno expandido e caroço de açaí), escolheu-se o caroço de açaí (agregado natural) visando a redução da geração de resíduo e elevação do valor agregado deste material. O núcleo foi analisado quanto a resistência mecânica, o tipo de tratamento utilizado no agregado natural e a densidade. As faces foram produzidas com o teor de 6% de fibras de juta longas, alinhadas unidirecionalmente e distribuídas em 3 camadas, formando um laminado. Os laminados e o painel sanduíche foram analisados por meio de ensaios de flexão em quatro pontos. O tratamento aliado com saturação no agregado natural acrescentou à resistência no compósito do núcleo e o tratamento com parafina ou resina reduziu em cerca de 36% a absorção de água, observou-se que a densidade do núcleo influenciou na resistência a compressão. A tensão média de ruptura dos laminados foi de 27,7 MPa com deflexão máxima de 5,10 mm. O painel sanduíche rompeu por flexão da face inferior e com carga máxima de ruptura de 3,67 KN. Com os resultados apresentados observou-se vantagens da utilização do elemento painel sanduíche no sistema construtivo e a utilização do agregado natural no núcleo tanto do ponto de vista mecânico quanto ambiental.

Palavras-chave: Painel sanduíche, Poliestireno Expandido, Caroço de Açaí, Juta, Caracterização.

Summary of the dissertation presented to the PPGEC / UFAM as part of the requirements needed to obtain a Master's degree in Civil Engineering (MSc.)

DEVELOPMENT OF SANDWICH PANELS WITH LIGHT CONCRETE CORE WITH AÇAÍ SEED AND CIMENTARY REINFORCED LAMINATES WITH JUTE FIBERS

Maria Clara Macedo Pereira

2019

Advisor: João de Almeida Melo Filho

Department: Civil Engineering

In the present study, the development and mechanical characterization of a sandwich panel composed of a lightweight concrete core with açai seed and another by expanded polystyrene, with faces of cementitious composites reinforced with long jute fibers were carried out. In the production of the core, three types of traces were studied with two types of different aggregates (expanded polystyrene and açai seed), the açai seed (natural aggregate) was chosen aiming the reduction of the residue generation and increase of the added value of this material. The core was analyzed for resistance range, type of treatment used in the natural aggregate and density. The faces were produced with 6% content of long jute fibers, aligned unidirectionally and distributed in 3 layers, forming a laminate. The laminates and the sandwich panel were analyzed by four-point bending tests. The treatment combined with saturation in the natural aggregate added to the strength in the core composite and the treatment with paraffin or resin reduced the water absorption about 36%, it was observed that the density of the core influenced the compressive strength. The average of tensile stress of the laminates was 27,7 MPa with an maximum deflection of 5,10 mm. The sandwich panel ruptured by bending of the lower face and the maximum rupture load was 3,67 KN. With the present results were observed advantages of using the sandwich-panel element in the construction system and the use of the natural aggregate in the core from both a mechanical and an environmental point of view were observed.

Key words: sandwich panel, expanded polystyrene, açai seed, jute, characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Morfologia de cristais de caulinita (WYPYCH e SATYANARAYANA, 2004)	22
Figura 2- Compósito (Matriz + reforço). (CALLISTER e RETHWISCH, 2012)	24
Figura 3- Tipos de compósitos. (Adaptado de Callister e Rethwisch, 2012).....	24
Figura 4- Distribuição das fibras. a) curtas aleatórias; b) contínuas unidirecionais; c) contínuas bidimensionais. (OLIVEIRA, 2013).....	26
Figura 5- Utilização dos compósitos reforçados por fibras vegetais. a) Aplicação em telhas (TONOLI, 2006) b) Aplicação em painéis sanduíche (GLORIA, 2015).....	27
Figura 6- Estrutura do painel sanduíche (GLORIA 2015).....	30
Figura 7- Estrutura de painel sanduíche de núcleo colmeia. (CALLISTER, 2012).....	30
Figura 8. Utilização do painel sanduíche na Construção Civil (SHHANYAO, 2018)	31
Figura 9- Faces do painel sanduíche (SETUBAL, 2012).....	32
Figura 10- Açazeiro.....	34
Figura 11- Semente do açaí. (MESQUITA, 2013).....	35
Figura 12 - Esferas de EPS.....	37
Figura 13 - Reciclagem do EPS. (ABRAPEX, 2017).....	39
Figura 14- Estrutura da celulose. (MOHANTY et al., 2005).....	43
Figura 15- Estrutura de uma fibra natural. (Fidelis, 2014).....	44
Figura 16- Planta de onde é extraída a fibra de juta.....	45
Figura 17- Fibras de juta e malva beneficiadas industrialmente: (a) Cordões e (b) Sacarias. Fonte: Oliveira (2013).....	45
Figura 18- Produção de Juta. (CONAB, 2018)	46
Figura 19 - Produção mundial de Juta/malva (CSFN, 2017)	46
Figura 20- Planejamento experimental	47
Figura 21- Fluxograma do pré-processamento do caroço de açaí.....	51
Figura 22- Curva granulométrica da areia.....	56
Figura 23 -Morfologia caroço de açaí A0 e fibras	57
Figura 24- Morfologia caroço de açaí AP.....	57
Figura 25- concretos A0, AP e AR	59
Figura 26- concretos APS, ARS e AS.....	59
Figura 27- concreto leves CA1, CEPS e CA2 (da esquerda para a direita)	61
Figura 28- Curva Tensão x Deformação CA1, CA2 e CEPS.....	62
Figura 29- Difratograma de Raio X do caulim e metacaulinita	70

Figura 30- Sequência de produção do painel sanduíche	71
Figura 31- Máquina de Ensaio AME- 5 kN	72
Figura 32- Curva típica de Tensão x Deflexão do compósito.....	75
Figura 33- Curvas Tensão x Deflexão do compósito.....	76
Figura 34- Região B da Curva Tensão x Deflexão do compósito.....	77
Figura 35 -Gráfico Força x Deflexão painel sanduíche	78
Figura 36- Modo de ruptura laminado após o ensaio de flexão	80
Figura 37- Modo de ruptura do painel sanduíche após o ensaio de flexão	80
Figura 38- Fissura de cisalhamento no núcleo	81
Figura 39- Fissura de cisalhamento no núcleo	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção nacional do cimento em 2017 (SNIC, 2017)	18
Tabela 2 - Composição do Cimento (BAUER, 2016).....	19
Tabela 3- Classificação dos materiais pozolânicos	21
Tabela 4 – Limites sugeridos pela norma.....	21
Tabela 5- tipos de EPS (KNAUF, 2018).....	38
Tabela 6- Propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras.....	41
Tabela 7 – Constituintes químicos de algumas fibras.....	42
Tabela 8- Características físicas do agregado miúdo e caroço de açaí	56
Tabela 9- Absorção de água dos caroços A0, AP e AR.....	58
Tabela 10- Resistência a compressão dos concretos leves.....	60
Tabela 11- Resistência e densidade dos concretos leves CA1, CA2 e CEPS	63
Tabela 12 - Análises químicas (FRX) das amostras de Metacaulinita.....	69
Tabela 13- Propriedades Mecânicas obtidas a partir das Curvas Tensão x Deflexão dos compósito	76
Tabela 14- Propriedades mecânicas do painel sanduíche	79
Tabela 15- Sequência de abertura de fissuras do compósito durante o ensaio de flexão...82	

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 MATRIZ CIMENTÍCIA	18
2.2 ADIÇÃO DE POZOLANA EM MATRIZ CIMENTÍCIA	19
2.3 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS E PARTÍCULAS	23
2.4 CONCRETO LEVE	28
2.5 PAINEL SANDUÍCHE.....	29
2.5.1. Faces do painel sanduíche	31
2.5.2. Núcleo do painel sanduíche.....	32
2.5.3. Adesivos do painel sanduíche	33
2.6 AÇAÍ	34
2.7 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	36
2.8 FIBRAS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS	40
2.8.1 Fibras naturais	42
2.8.2. Fibras de Juta.....	44
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA	47
CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO LEVE COM ADIÇÃO DE CAROÇO DE AÇAÍ OU EPS COMO AGREGADO	49
4.1 INTRODUÇÃO.....	49
4.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	51
4. 2.1. Caracterização dos materiais	51
4.2.2. Tratamento dos caroços de açaí.....	53
4.2.3 Análise morfológica e absorção de água do caroço de açaí	53
4.2.4. Produção do concreto leve	54
4.2.5. Análise microestrutural, densidade e propriedades mecânicas	55
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
4.3.1. Caracterização dos materiais	55
4.3.2. Análise morfológica e absorção do caroço de açaí	56
4.3.3. Análise microestrutural densidade e propriedades mecânicas do	

concreto leve.....	58
4.4 CONCLUSÕES PARCIAIS.....	64
CAPÍTULO 5. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE PAINEL SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE CONCRETO LEVE COM CAROÇO DE AÇAÍ E FACES COM FIBRAS DE JUTA.	66
5.1 INTRODUÇÃO.....	66
5.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	68
5.2.1 Materiais.....	68
5.2.2 Dosagem do concreto utilizado no painel sanduíche.....	70
5.2.3 Produção do painel sanduíche.....	71
5.2.4 Propriedades mecânicas.....	72
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
5.3.1 Flexão em quatro pontos dos laminados.....	75
5.3.2 Flexão em quatro pontos do painel sanduíche.....	78
5.3.3 Modo de Fratura.....	79
5.4 CONCLUSÕES PARCIAIS.....	83
CAPÍTULO 6 . CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
6.1. CONCLUSÕES FINAIS	84
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
REFERÊNCIAS	86

Capítulo 1. Introdução

A indústria da Construção Civil tem uma participação de cerca de 6,2% do PIB do Brasil (FIBRA, 2017), e é considerada uma das indústrias mais importantes para a economia do país, entretanto é uma das grandes consumidoras de energia e poluidora em vários países (HUOVILA et.al, 2007 e DEVI e PLANIAPPAN, 2014). No ano de 2016, a geração de resíduos pela Construção Civil foi de 45 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017).

De acordo com o CBCS (2014), a Construção Civil engloba em suas escalas de abrangência impactos observados nos três pilares da sustentabilidade: o aspecto ambiental, com altas emissões de gases de efeito estufa, o consumo de recursos naturais, energia e água, e a geração de resíduos, com impactos ao meio ambiente desde a retirada da matéria prima até o descarte de materiais de maneira inadequada (BARBOSA, 2016).

Com o desenvolvimento do setor da construção civil e por ser uma indústria que tem um elevado consumo de recursos naturais, é crescente a necessidade em utilizar recursos renováveis para produção de novos materiais (JAVASINHE et.al, 2016 e DISSANYAKE, 2016). A utilização de resíduos de demolição de edifícios reciclados ou de qualquer outro material residual está tornando-se atrativa (JAVASINGHE et.al, 2016), qualquer material de construção que minimize o uso de recursos naturais ou use resíduos em certa medida tem um futuro promissor.

Como explica Lambert et.al (2008), a sustentabilidade nas edificações promove o bem-estar social, aumento da produção dos usuários e contribui para a redução do impacto ao meio ambiente. Porém, exige ação em diversos tópicos de forma combinada e simultânea, desde a concepção do empreendimento.

Neste contexto, hoje em dia, a escolha de um material de construção não deve levar em conta apenas o custo. Fatores como a durabilidade, o consumo energético e a interação com o meio ambiente também devem ser considerados, até pela influência que tem no custo total de operação do edifício (GLORIA, 2015).

A contribuição maior para a sociedade não é somente contribuição ambiental do sistema construtivo sustentável, mas também a sua contribuição técnico-econômica, melhorando a racionalidade, industrialização e gestão com menos desperdício de matéria-prima

(FERNANDES, 2016). Desta maneira, diversas pesquisas vem sendo desenvolvidas para a produção de compósitos com matéria prima de fontes renováveis e boas propriedades físicas e mecânicas, usando fibras naturais e resíduos sólidos.

Uma aplicação dentro da Construção Civil de compósitos com matéria prima renovável, é utilizando-as em painéis sanduíche, os quais podem ser empregados como elemento construtivo em áreas internas e externas de edificações, contribuindo para um menor desperdício de material e uma construção mais limpa.

O painel sanduíche é um material compósito, formado basicamente de dois laminados de material resistente, separados por uma camada mais espessa de material (núcleo) com menor densidade.

Como materiais renováveis que podem ser agregados neste compósito, temos as fibras vegetais, como a juta e malva, amplamente estudadas nos trabalhos de Melo Filho (2012), Oliveira (2013) e Fidelis (2014), podendo ser utilizadas como reforço nas faces do painel sanduíche. Para o núcleo, considerando a sua produção na região norte, temos o caroço de açaí.

O açaí tem destaque no extrativismo vegetal no Norte do Brasil, ficando atrás somente da Castanha-do-Brasil. Em 2017 a produção agrícola de açaí foi 1,33 milhão toneladas, e é o principal produto agrícola da Região Norte (IBGE, 2017). De acordo com Pereira e Rodrigues Junior (2013), 80% do fruto correspondem ao caroço e fibras.

Desta maneira, a seguinte pesquisa tem como objetivo geral;

- Desenvolver painel sanduíche com faces cimentícias reforçadas por fibra natural de juta e com núcleo composto de um concreto leve com adição de caroço de açaí.

E como objetivos específicos:

- Analisar a influência do tratamento do caroço de açaí para utilização em matrizes cimentícias;
- Caracterizar fisicamente o caroço de açaí;
- Produzir e caracterizar física e mecanicamente concretos leves com adição de caroço de açaí ou EPS.

- Produzir e caracterizar mecanicamente placas cimentícias reforçadas com fibras longas de juta;
- Produzir e caracterizar mecanicamente painéis sanduíche com núcleo de concreto leve com caroço de aço e faces com fibras longas de juta.

A presente dissertação foi escrita e dividida em seis capítulos.

- Capítulo 1: Capítulo Introdutório;
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica;
- Capítulo 3: Metodologia;
- Capítulo 4: Descreve o artigo intitulado caracterização física e mecânica de concretos leves com caroço de aço e EPS;
- Capítulo 5: Descreve o artigo intitulado caracterização mecânica de painéis sanduíche com núcleo de concreto leve com caroço de aço e faces com fibras de juta;
- Capítulo 6: Capítulo conclusivo.

Capítulo 2. Revisão Bibliográfica

2.1 Matriz cimentícia

Atualmente, o principal material de construção é o Cimento Portland, amplamente utilizado em diferentes tipos de construção em todo o mundo. O concreto, material composto basicamente de cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas, representa, em conjunto com o aço, a base da engenharia estrutural moderna (CORDEIRO, 2016).

De acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2017), a produção nacional de Cimento Portland em 2017 foi de 54.003.893 toneladas, sendo que na região Norte produziu-se 2.637.706 toneladas, o que representa somente 4,88% deste total (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção nacional do cimento em 2017 (SNIC, 2017)

REGIÃO	PRODUÇÃO EM (T)	PARTICIPAÇÃO NACIONAL (%)
Norte	2.637.706	4,88
Nordeste	11.491.440	21,28
Centro-Oeste	5.777.317	10,69
Sudeste	25.384.010	47,00
Sul	8.713.420	16,13
Total	54.003.893	100

O processo de fabricação do Cimento Portland segue algumas etapas. Primeiramente obtém-se o clínquer por meio de uma mistura de calcário e argila, a qual é aquecida (temperatura em torno de 450°C) até a fusão incipiente (30% de fase líquida), para que toda a cal se combine com os materiais argilosos, não resultando cal livre em quantidade prejudicial (OLIVEIRA, 2013). O clínquer é resfriado e reduzido junto com uma quantidade de gesso e materiais corretivos, em moinho rotativo, até uma granulometria geralmente menor que

75µm (NEVILLE, 1997) e a adição do gesso tem como objetivo regularizar o tempo de início das reações químicas do cimento.

Os principais componentes do Cimento Portland são a Alita, Belita, Aluminato Tricálcico e a Ferrita (Tabela 2), além de outros componentes que podem ocorrer, como a cal livre

Tabela 2 - Composição do Cimento (BAUER, 2016)

NOME DO COMPOSTO	COMPOSIÇÃO	ABREVIÇÃO
Silicato tricálcico (Alita)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico (Belita)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF

O Cimento Portland é utilizado na produção de compósitos cimentícios ou matizes cimentícios (argamassa e concreto), formada pela união do cimento, agregado miúdo e/ou graúdo e água. Tais matrizes formam uma pasta de consistência plástica as quais podem ser moldadas em fôrmas e seu endurecimento se dá pelas reações químicas entre o cimento e a água, através da hidratação do cimento, aumentando a resistência à compressão com o passar do tempo (OLIVEIRA M, 2017).

2.2 Adição de Pozolana em matriz cimentícia

A matriz cimentícia tem como principal aglomerante o cimento, o qual é constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, e como matéria-prima em geral para sua fabricação, temos o calcário, a argila e o gesso. Os silicatos e aluminatos reagem quimicamente com a água quase instantaneamente, à medida que vai se adicionando água ao cimento, são as chamadas reações de hidratação do cimento. De acordo com (MEHTA e MONTEIRO, 2008; ODLER, 1998) essas reações de hidratação se processam de maneiras diferentes, em relação ao tempo:

- Nos estágios iniciais, a hidratação ocorre por dissolução-precipitação, na qual ocorre a dissolução de compostos anidros, formação de hidratos na solução e precipitação dos

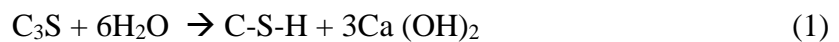
produtos hidratados;

- Em estágios posteriores, a hidratação pode ocorrer por reações no estado sólido, denominadas topoquímicas.

O processo de hidratação do Cimento Portland ocorre com reações simultâneas nos anidros com a água. De acordo com ODLER (1998), o silicato tricálcico (C_3S) tem rápida hidratação, a qual gera um gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e cristais de hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$. O C_3S é responsável pela resistência inicial da pasta endurecida e aumento da resistência final.

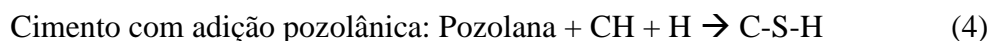
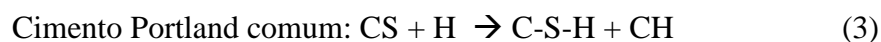
Ainda segundo ODLER (1998), o silicato dicálcico (C_2S) desprende uma quantidade pequena de calor e tem uma hidratação mais lenta, produz C-S-H e hidróxido de cálcio em menor volume e é responsável pelo aumento de resistência nas idades avançadas.

As equações (1) e (2) demonstram as reações de hidratação do C_3S e do C_2S ; Utiliza-se a notação C-S-H, para o silicato de cálcio hidratado pois as relações C:S e H:S são variáveis, dependendo de fatores como temperatura, grau de hidratação e outros (MICHAUX *et al.*, 1990).



Por conta de a matriz cimentícia quando hidratada produzir alta alcalinidade oriunda da Portlandita $Ca(OH)_2$ liberada (OLIVEIRA, 2013), nas últimas décadas vem sendo estudados os benefícios de substituição de parte do cimento por aditivos minerais, como metacaulinita, resíduo cerâmico entre outros.

As reações com o aditivo mineral irão consumir o hidróxido de cálcio e formar o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), diminuindo assim a alcalinidade. Nas equações (3) e (4) temos o processo de hidratação do Cimento Portland sem e com adições pozolânicas.



De acordo com Gonçalves (2005), o desempenho da pozolana no concreto vai depender de v\c3rios fatores, divididos em dois grupos principais:

- Composi\c3o\c3o qu\c3mica, teor de fase v\c3trea, \c3ndice de atividade pozol\c3nica, teor de substitui\c3o\c3o, granulometria, di\c3metro m\c3dio, forma e massa espec\c3fica do material pozol\c3nico;
- Propor\c3o\c3o dos materiais, rela\c3o\c3o \c3gua/cimento, tipo de cimento, tipo de agregados, aditivos qu\c3micos, idade e grau de hidrata\c3o\c3o do concreto.

A NBR 12.653 (1992) classifica os materiais pozol\c3nicos em tr\c3s grupos, de acordo com a Tabela 3, al\c3m disso, esta norma apresenta os limites f\c3sicos e qu\c3micos para a utiliza\c3o\c3o do material como material pozol\c3nico (Tabela 4).

Tabela 3- Classifica\c3o\c3o dos materiais pozol\c3nicos

CLASSE	MATERIAIS QUE ATENDEM AOS REQUISITOS
N	Pozolanas naturais, materiais vulc\c3nicos, terras diatom\c3ceas, argilas calcinadas
C	Cinza proveniente da queima de carv\c3o\c3o betuminoso
E	Cinza proveniente da queima de carv\c3o\c3o sub-betuminoso e qualquer material que difere das classes anteriores

Tabela 4 – Limites sugeridos pela norma

LIMITES F\c3SICOS	CLASSE DE MATERIAL		
	N	C	E
Material retido na peneira de 45 _m (% , m\c3ximo)	34	34	34
com cimento Portland aos 28 dias, em rela\c3o\c3o ao controle (% , m\c3nima)	75	75	75
com cal aos 7 dias (MPa, m\c3nima)	6,0	6,0	6,0
\c3gua requerida (% , m\c3ximo)	115	110	110
EXIG\c3NCIAS QU\c3MICAS			
SiO2 + Al2O3 + Fe2O3 (% , m\c3nima)	70	70	50
SO3 (% , m\c3ximo)	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade (% , m\c3ximo)	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo (% , m\c3ximo)	10,0	6,0	6,0
\c3lcalis dispon\c3veis, em Na2O (% , m\c3ximo)	1,5	1,5	1,5

Além das vantagens da sua adição no cimento, com relação as reações de hidratação, a utilização das pozolanas podem diminuir a emissão de poluentes, como o CO₂. Atualmente a Construção Civil produz grande quantidade de gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, por conta da calcinação de materiais para a produção de cimento. De acordo com Kua e Kamath (2014), a indústria de produção de cimento contribui com cerca de 7% das emissões de CO₂ em todo o mundo.

As principais adições minerais utilizadas nas matrizes cimentícias, que vão proporcionar reações pozolânicas são a sílica ativa ou microssílica, cinzas de cascas de arroz e de restos de colheitas de grãos, resíduos cerâmicos e a metacaulinita.

A metacaulinita é uma sílica amorfa obtida pela calcinação de argila caulinitica (caulim), a temperaturas entre 500 ° C e 900 ° C e depois moída até a finura de 700 m²/kg ou 900 m²/kg, o que irá resultar num material de grande pozolanicidade (LIMA, 2004). O caulim é um minério composto de silicatos hidratados de alumínio, sendo formado principalmente por caulinita, um argilomineral produzido pela decomposição do feldspato, apresentando coloração branca ou esbranquiçada, devido ao baixo teor de ferro (LUZ *et al.*, 2005).

Na Figura 1 tem-se a morfologia de cristais da Caulinita, ela é formada pelo empilhamento regular de lamelas do tipo 1:1, constituída por duas camadas juntas através de um oxigênio apical (uma camada de sílica e uma folha de octaedros de gipsita), sendo as lamelas unidas entre si por ligações de hidrogênio, produzindo uma estrutura altamente coesa (WYPYCH e SATYANARAYANA, 2004)

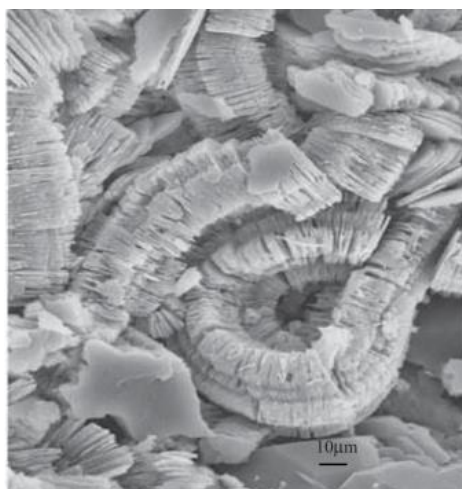


Figura 1- Morfologia de cristais de caulinita (WYPYCH e SATYANARAYANA, 2004)

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a metacaulinita é classificada como superpozolana, pois além de ter alta reatividade, ela aumenta a coesão da pasta melhorando a resistência mecânica em torno de 10% a 40% e diminui o PH da água, e a porosidade total, além de aumentar o consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por meio da reação pozolânica.

Especificamente no Brasil, a metacaulinita apresenta grande disponibilidade e baixo custo, sendo uma boa alternativa na produção de material cimentício. Esta substituição tem trazido muitos benefícios às argamassas e concretos.

Podemos citar estudos realizados nos últimos anos, como os de Melo Filho (2012) e Oliveira (2013), os quais estudaram compósitos com substituição de 50% do cimento por metacaulinita e constataram que após 28 dias, havia somente 1,47% de CH. Já Fidelis (2014) produziu compósitos com substituição de 50% do cimento por 40% de metacaulinita e 10% de cinza volante, concluiu que houve consumo total do CH e aumento das propriedades mecânicas do compósito.

2.3 Compósitos cimentícios com adição de fibras e partículas

Segundo CALISTTER e RETHWISCH (2012), os compósitos são formados por dois ou mais materiais (multifásico) e geram um material que irá unir as melhores propriedades de cada um dos materiais que foi misturado, combinando suas vantagens.

Os compósitos se constituem de duas fases distintas (Figura 2), a matriz (fase contínua) que irá circundar a outra fase (descontínua ou dispersa) denominada reforço (LEVY NETO e PARDINI, 2006; HOLLAWAY, 2009).

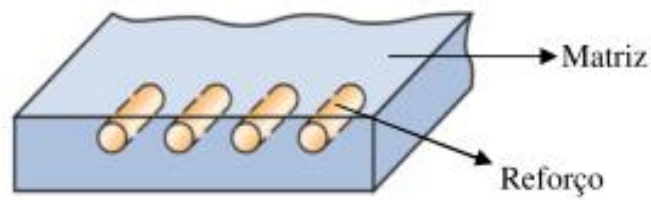


Figura 2- Compósito (Matriz + reforço). (CALLISTER e RETHWISCH, 2012)

Segundo Callister e Rethwisch (2012), os compósitos são divididos em 3 tipos:

- Reforçados com partículas;
- Reforçados com fibras;
- Estruturais.

Neste estudo serão desenvolvidos os três tipos de compósitos, o primeiro com partículas grandes (caroços de açaí) reforçado com fibras contínuas alinhadas (devido ao uso das fibras de juta unidirecionalmente). E ao final estes dois compósitos serão unidos em um painel sanduíche, que constitui um compósito estrutural (Figura 3).

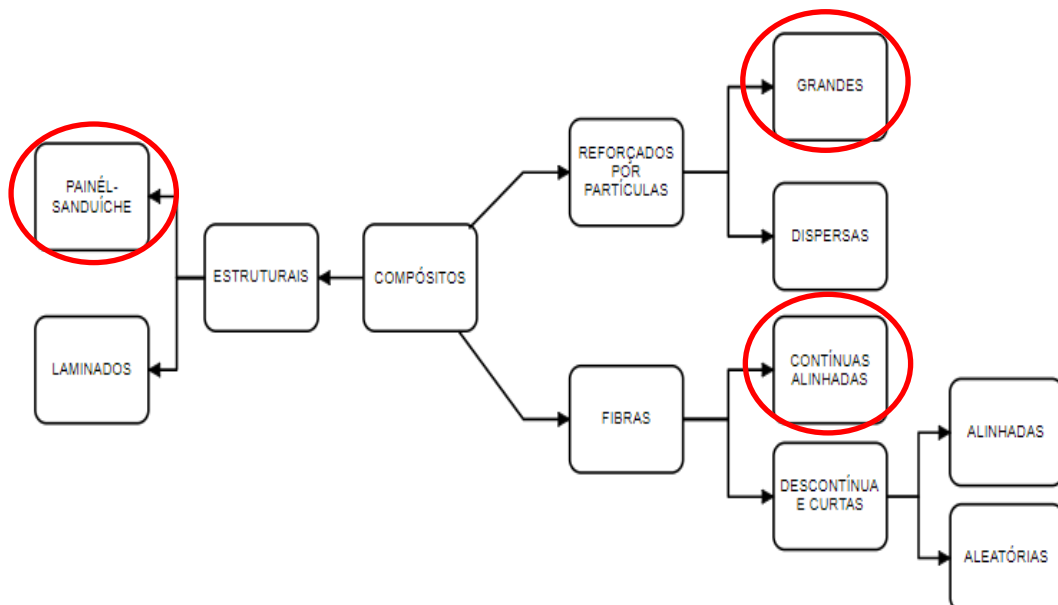


Figura 3- Tipos de compósitos. (Adaptado de Callister e Rethwisch, 2012)

Quanto aos compósitos reforçados por partículas, a sua principal característica se refere a transferência de tensões matriz-partículas. O aumento no comportamento mecânico vai depender da interação partícula/matriz, quanto mais homogênea essa distribuição, o compósito tende a ter melhores propriedades mecânicas (CALLISTER e RETHWISCH, 2012). Quanto aos compósitos reforçados por fibras, suas propriedades são influenciadas pelo comprimento, orientação, concentração e distribuição das fibras.

De modo geral, Callister e Rethwisch (2012) destaca que as propriedades mecânicas de um material compósito e o seu comportamento estrutural dependem das propriedades dos constituintes individualmente (matriz e reforço) e da interação entre eles, podemos citar:

- Tipo de matriz e de reforço;
- Volume de matriz e de reforço;
- Formato (seção e comprimento) e distribuição (orientação) do reforço;
- Características da interface (aderência) reforço-matriz.

Os materiais compósitos podem ser formados por combinações de diferentes tipos de materiais (cimentícios, cerâmicas) e essas combinações vão depender das condições de processamento e compatibilidade entre os componentes. Nas aplicações estruturais usualmente são utilizadas fibras como reforço, as quais podem ser metálicas, sintéticas ou naturais, também podem ser contínuas ou descontínuas, alinhadas ou com distribuição aleatória, podendo ser obtidas em uma variedade de formas, como mantas e estruturas têxteis de diferentes arquiteturas (SILVA, 2003).

De acordo com FIDELIS (2014), o papel das fibras como reforço em materiais compósitos é o de melhorar as propriedades mecânicas, destacando-se a ductilidade, no estágio pós-primeira fissura.

Na figura 4 tem-se os tipos de distribuição das fibras

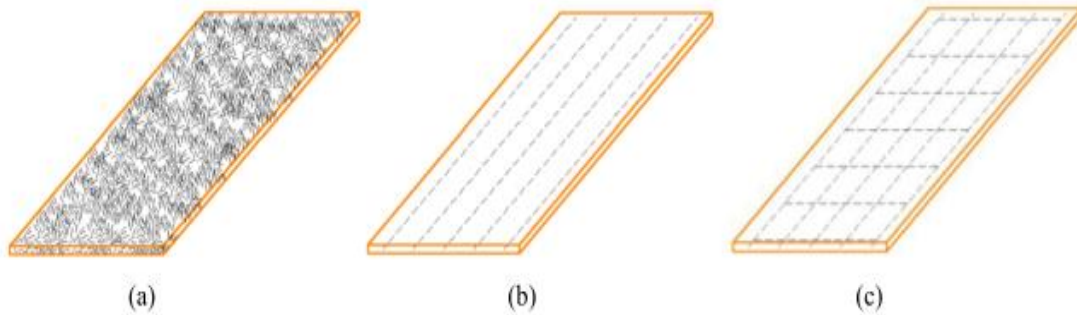


Figura 4- Distribuição das fibras. a) curtas aleatórias; b) contínuas unidirecionais; c) contínuas bidimensionais. (OLIVEIRA, 2013)

Oliveira (2000), destaca que as propriedades dos compósitos fibrosos dependem de vários fatores:

- Resistência mecânica do material empregado na fabricação do compósito;
- Característica geométrica da fibra;
- Teor de fibras adicionadas na matriz cimentícia;
- Orientação e distribuição das fibras dentro da matriz cimentícia;
- Dimensão máxima do agregado utilizado para confecção da matriz cimentícia;
- Tensão de aderência entre as fibras e a matriz.

Quanto ao comportamento mecânico dos compósitos fibrosos, temos o estado de múltiplas fissuras, na qual o compósito fibroso, submetido a esforços de tração ou flexão, apresenta inúmeras microfissuras, que irão surgindo à medida que a tensão é transferida pelas fibras. De acordo com Oliveira (2013), as fissuras, atuam como uma ponte de transferência de tensões, parte das tensões é transferida para as fibras ao longo de sua superfície, o que leva ao aparecimento de microfissuras, denominado de estado de múltiplas fissuras.

Com relação à interação fibra-matriz, a alta capacidade de absorção de água da fibra vegetal pode provocar a perda de aderência, diminuindo assim a resistência de aderência e resultando na diminuição da transferência de tensões (SALES, 2006).

De acordo com OLIVEIRA (2013) os compósitos laminados cimentícios reforçados com fibras vegetais podem ser utilizados em: reforços de elementos estruturais; bancadas e divisórias entre ambientes internos e externos; elementos de cobertura no formato de telhas ou painéis e outros (Figura 5).

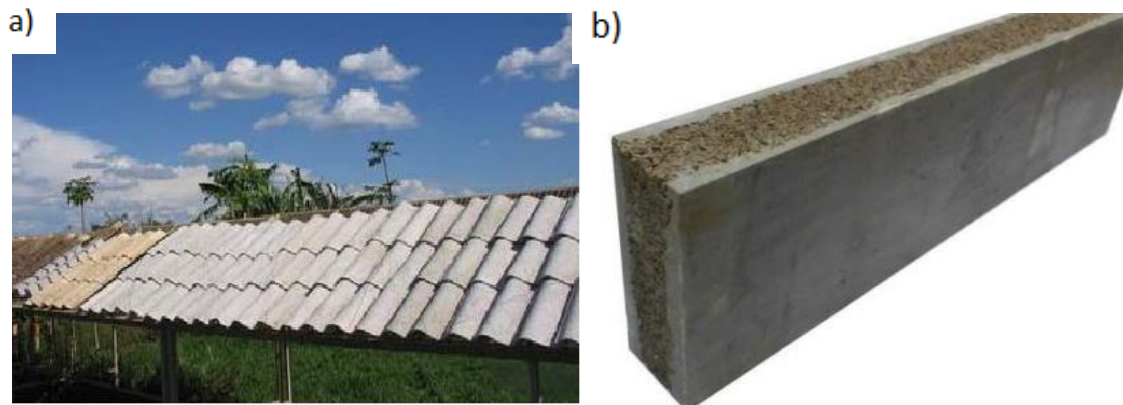


Figura 5- Utilização dos compósitos reforçados por fibras vegetais. a) Aplicação em telhas (TONOLI, 2006) b) Aplicação em painéis sanduíche (GLORIA, 2015)

Segundo Savastano (2000) o estudo de fibras vegetais com finalidade de reforço em matrizes para aplicação na Construção Civil começou na Inglaterra em 1970, e no Brasil em 1980, pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) na Bahia (CEPED, 1983).

De modo geral, quanto aos estudos onde se trabalhou com compósitos podemos citar, o estudo de MELO FILHO (2012) no qual foram produzidos compósitos com reforço uni e bidirecional, fração volumétrica de 6% e 10%, respectivamente, além do estudo de Oliveira (2013) que utilizou em seu compósito uma fração de 8% em volume da fibra de malva e juta alinhadas e unidirecionalmente distribuídas em uma matriz livre de hidróxido de cálcio. Em ambos os estudos, os ensaios físico-mecânicos apresentaram a possibilidade da aplicação destas fibras em compósitos de alta resistência e ambos os compósitos apresentaram um comportamento de múltipla fissuração tanto na flexão como na tração.

Já Barbosa (2016) estudou compósitos reforçados com partículas, produzindo compósitos poliméricos com resina bicomponente à base de óleo de mamona e reforçados com partículas de caroço do açaí para mitigação de efeitos térmicos em habitações na Amazônia.

2.4 Concreto leve

As densidades dos concretos tradicionais variam entre 2200 a 2600 kg/m³, o que leva a infra e supraestruturas de grande porte e ao elevado consumo de insumos. Deste modo, procurando contornar essa situação, atualmente procura-se utilizar concretos com agregados mais leves que os usuais (concretos leves), substituindo-os parcial ou completamente (Neville, 2016).

Como vantagem dos concretos leves temos a redução do peso próprio e o aumento da capacidade de absorção de energia. Entretanto, como desvantagem a utilização dos agregados leves interfere em várias características do concreto, como a quantidade de água de amassamento e resistência (ANGELIN, 2014), por conta dos agregados leves na maioria das vezes absorverem mais água e ter resistência menor que os agregados tradicionais.

Segundo Angelin (2014), o concreto leve apresenta absorção de água superior a do concreto tradicional, por conta do tipo de agregado utilizado, o que pode afetar algumas propriedades do concreto endurecido.

Segundo Rossignolo (2009) o uso de agregados de elevada absorção tem como desvantagens o aumento de fissuras de retração por secagem, aumento da massa específica do concreto seco e a redução da resistência ao fogo, como vantagem pode se citar a melhoria das propriedades na zona de transição agregado-pasta. Para minimizar os efeitos negativos recomenda-se a pré-saturação para aqueles agregados que apresentem valores de absorção de água superior a 10%.

Para a produção do concreto leve Angelin (2014) recomenda que a ordem de colocação no equipamento de mistura seja a adição dos materiais sólidos e uma parte da água, até os mesmos apresentarem uma mistura homogênea, para posteriormente inserir o agregado graúdo leve pré-saturado e o restante da água para finalização do processo. Esse procedimento é válido para agregados que apresentem absorção de água superior a 10%.

A redução da massa específica obtida com o uso do agregado leve vai interferir diretamente na resistência mecânica do concreto. Segundo Liu e Chen (2014), quanto maior as dimensões e volume ocupado pelo agregado a queda da resistência acaba sendo mais

potencializada, pois a resistência do concreto acaba sendo redirecionada para o agregado leve, que muitas vezes tem resistência menor que a da argamassa.

Um dos materiais mais utilizados e difundidos como agregado a ser utilizado em concreto é o EPS, o qual já foi estudado em diversas pesquisas, entre as quais podemos citar o trabalho de Tang, *et.al* (2008), que adicionou poliestireno expandido na faixa de 20 e 60% de volume, e relatou que a densidade, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade do compósito diminuem em função da concentração do EPS na mistura. Babu e Babu (2004), estudaram compósitos cimentícios com a adição de EPS em uma concentração até 95%, os resultados foram comparados com os de outros compósitos, observando que o compósito cimentício com adição de EPS apresentou menor absorção de água do que o concreto normal, além de uma melhor resistência mecânica. Além desses, destacam-se outras pesquisas em que se utilizou o EPS como agregado, que são as de Kan e Dermigoba (2009), Demirel (2013), Liu e Chen (2014) e Kaya e Kar (2016).

2.5 Painel sanduíche

Os painéis sanduíche são considerados uma classe de compósitos estruturais, empregados em vigas ou painéis de baixo peso, com rigidez e resistência relativamente elevadas (CALLISTER, 2012).

O painel sanduíche constitui um tipo especial de laminado e segue geralmente o padrão de três camadas: duas faces de revestimento superficial (Figuras 6 e 7), que tem as características de serem finas, rígidas e resistentes; e uma camada interna, de material de baixa densidade, e que pode ser menos rígido e resistente, denominado núcleo (CALLISTER, 2012). Estas três camadas estão ligadas por meio de um material adesivo, que as une formando o painel sanduíche (GLORIA, 2015).

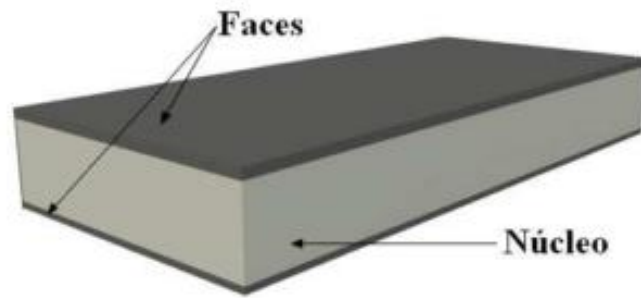


Figura 6- Estrutura do painel sanduíche (GLORIA 2015)

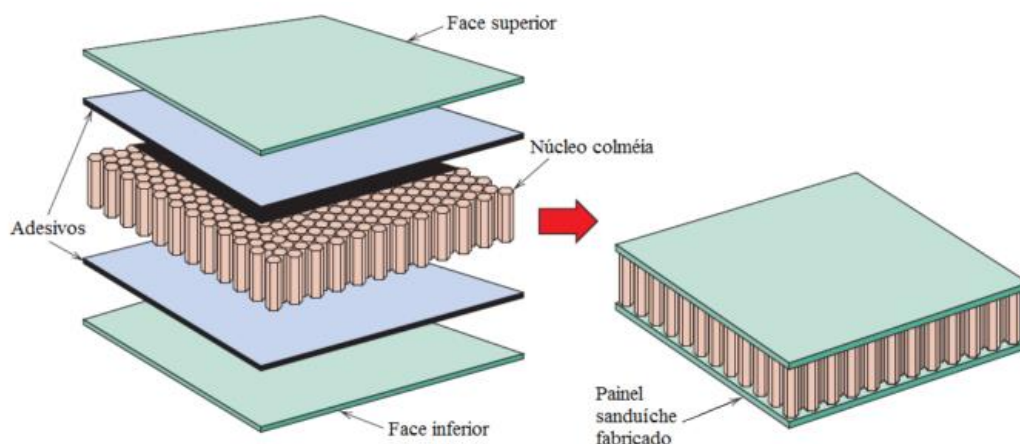


Figura 7- Estrutura de painel sanduíche de núcleo colmeia. (CALLISTER, 2012)

A principal vantagem deste compósito é que ele permite a otimização das funções do núcleo e das faces, as propriedades positivas dos materiais individuais podem ser combinadas e as propriedades negativas eliminadas. As faces tem o papel de fornecer resistência e rigidez e o núcleo (além de aumentar o momento de inércia da estrutura) fornecendo resistência ao cisalhamento e impacto, baixa densidade, e pode fornecer isolamento térmico e acústico (GLORIA, 2015 e FARIA,2014)

Desta maneira os painéis sanduíche podem ser utilizados de diversas maneiras na Construção Civil, como elementos estruturais, isolantes térmicos e acústicos. As suas vantagens, como leveza, balanço energético e melhor transporte e implementação (construção mais limpa) fazem com que seja cada vez mais amplamente utilizado.

Segundo Ferreira (2013) os painéis sanduíche são aplicados em diferentes áreas, como:

- Aviões: pás de rotor de helicóptero, painéis de asas, bico de aeronave, dutos de ar, piso de compartimento de carga, porta e estrutura de portal;
- Mísseis e veículos espaciais: aletas e superfícies de controle, tanques, antenas e containers de carga;
- Construção civil: abrigos pré-fabricados para defesa civil, divisórias em escritórios, portas, pisos e forros;
- Outros: móveis domésticos e de escritório, casco de barcos, piso de trailers e motor-homes, containers e carrocerias, esquis de neve e aquáticos, caiaques, mesas de bilhar, remos etc.

Na Construção Civil, tem seu uso voltado para elementos de fechamento, com ou sem função de estrutura (Figura 8). Os painéis sanduíche vão se diferenciar pela grande quantidade de combinações entre face e núcleo.



Figura 8. Utilização do painel sanduíche na Construção Civil (SHHANYAO, 2018)

2.5.1. Faces do painel sanduíche

As faces do painel são geralmente finas e de mesma espessura, compostas de material rígido e resistente. Podendo ser de madeira, alumínio, chapa de aço, concreto, argamassa e outros. Devem apresentar estanqueidade ao vento, vapor d'água, resistência a flexão, corrosão e ao fogo (GLORIA, 2015).

Segundo Davies (2001), estruturalmente o painel deve ter uma capacidade de resistência adequada, não só aos carregamentos ao qual o painel está sujeito como também à corrosão

e ao fogo. Segundo Ferreira (2013), devem ainda ter espessuras adequadas para resistir às tensões de tração e compressão introduzidas pelo carregamento e apresentar um módulo de elasticidade em compressão adequado, de modo a evitar o encurvamento do painel.

Nas faces utiliza-se tipicamente os materiais como ligas de alumínio, plásticos reforçados com fibra, titânio, aço e madeira compensada. Usualmente as faces se apresentam em lâminas planas, entretanto, podem também apresentar uma superfície não plana, com uma seção transversal recortada (Figura 9).



Figura 9- Faces do painel sanduíche (SETUBAL, 2012)

Como já mencionado, neste trabalho irá se utilizar como face do painel sanduíche placas cimentícias reforçadas com fibras longas e alinhadas de juta, buscando um material ecologicamente sustentável e observando-se as vantagens da utilização das fibras naturais em matrizes cimentícias.

2.5.2. Núcleo do painel sanduíche

Segundo Gloria (2015) o núcleo tem maior espessura e baixa densidade, com finalidade de aumentar a inércia do painel sem um aumento significativo de massa volumétrica. Ele tem baixa resistência a flexão e trabalha em compressão e cisalhamento, podendo fornecer isolamento térmico e/ou acústico e devem apresentar rigidez para que não haja deslizamento entre as faces.

Estruturalmente, o núcleo deve exercer basicamente duas funções (FERREIRA, 2013):

- separar as faces, garantindo um alto momento de inércia e resistir às deformações perpendiculares ao plano da face;

- Proporcionar um grau de rigidez mínimo à compressão, de modo que evite o esmagamento do painel.

O núcleo pode ser constituído por diversos materiais e formas construtivas, como exemplo temos: espumas poliméricas expandidas (EPS), cimentos inorgânicos, corrugados, colmeias (VINSON, 1999). Os núcleos podem ser divididos em núcleos homogêneos e núcleos não homogêneos, de acordo com os tipos de materiais

Especificamente falando dos núcleos homogêneos, estes podem ser constituídos por espumas, lãs, diferentes tipos de plásticos expandidos ou até mesmo concreto leve e produtos de argila (DIAB, 2003). Na construção civil, um dos materiais mais utilizados em núcleos homogêneos é o EPS por conta de suas propriedades isolantes, e por possuir baixa densidade, boa resistência, facilidade de manuseio e custo reduzido (SARTORI, 2009).

2.5.3. Adesivos do painel sanduíche

Segundo Callister (2012), um adesivo é uma substância utilizada para unir as superfícies de dois materiais sólidos, com o objetivo de produzir uma junta com alta resistência ao cisalhamento. Os adesivos devem ser homogêneos e molhar o substrato, para uniformizar a textura e evitar a formação de pontos de concentração de tensões, que podem diminuir a resistência mecânica.

Os adesivos podem ser classificados em três tipos, de acordo com sua origem. Podem ser naturais, semissintéticos e sintéticos. Os adesivos naturais podem ser obtidos de fontes animais como, por exemplo, os ossos; vegetais, como dextrina; e minerais, como os silicatos. Os adesivos semissintéticos são derivados dos produtos naturais que sofrem modificação química como, por exemplo, o nitrato de celulose e o poliuretano (PU). Os adesivos sintéticos são formados através da reação de poliadição e policondensação, como é o caso do poliuretano, resina uréica e resina epóxi (MANO e MENDES, 1999).

2.6 Açaí

Na região amazônica existe grande quantidade de plantas perenes, com relevância para as espécies frutíferas, dentre estas, destaca-se o açaí. O açaizeiro (figura 10) é encontrado principalmente na Amazônia Oriental brasileira, predominantemente em terrenos submetidos à inundação periódica. As palmeiras reproduzem-se de forma sexuada e assexuada, o que agiliza o processo de multiplicação da mesma para a produção do fruto e do palmito, na região amazônica observa-se que a frutificação ocorre em praticamente todo o ano (IMAZON, SEBRAE, 2010).



Figura 10- Açaizeiro

No Brasil há pelo menos dez espécies, sendo duas delas mais comuns na Amazônia: *Euterpe oleracea* (o açaí de touceira) e *Euterpe precatoria* (o açaí solteiro). O açaí de touceira (*Euterpe oleracea* Mart.) é encontrado principalmente na Amazônia Oriental, em ambientes de várzea, sendo predominante no Pará. O açaí solteiro ou solitário (*Euterpe precatoria* Mart.), por sua vez, é mais abundante na Amazônia Ocidental, onde ocorre em áreas de terra-firme e de várzea, sendo predominante no Amazonas (IMAZON, SEBRAE, 2010)

O açaizeiro, pode ser considerada como a palmeira de maior importância econômica, social e cultural da região Norte do Brasil (QUEIROZ e MELÉM, 2001), onde o Estado do Pará se destaca como o maior produtor e consumidor, ele é encontrado ao longo dos rios,

igarapés, baixadas e áreas muito úmidas. O açaí tem destaque no extrativismo vegetal no Norte do Brasil, em 2017, a produção de açaí no Brasil foi de 1,33 toneladas, representando 1,7% do valor total da produção nacional agrícola (IBGE, 2017), o que mostra a importância socioeconômica deste fruto para a região Amazônica.

A semente do açaí (Figura 11) é constituída morfologicamente pela polpa, endocarpo, pericarpo/tegumento, endosperma, embrião e cicatriz. As fibras do fruto do açaizeiro encontram-se fixadas ao redor da semente do fruto, e após o beneficiamento do suco, elas se localizam no mesocarpo do fruto, justamente onde se localiza a polpa. Depois de desidratadas naturalmente podem ser facilmente removidas com as mãos e possuem um comprimento médio da ordem de 12 mm (MESQUITA, 2013)



Figura 11- Semente do açaí. (MESQUITA, 2013)

Segundo (SEBRAE, 2015), os caroços de açaí da espécie *Euterpe precatória* Mart., possuem diâmetro médio de 11,5 mm, e conforme Pereira e Rodrigues (2013), o caroço representa 80% do fruto, que após o beneficiamento da polpa, transforma-se em resíduo orgânico comumente utilizado para queima em fornos com baixo valor agregado, apesar de ser uma fonte de material lignocelulósico renovável, este resíduo representa um grave problema ambiental.

Diferentes métodos têm sido investigados para a utilização do resíduo da agroindústria do açaí, como a sua utilização para geração de energia, para produção de adubo e para extração de antioxidante.

O mesocarpo comestível é a parte mais utilizada do fruto de *E. precatória*, de onde é

extraído, a partir de frutos frescos, um líquido espesso conhecido como “vinho de açaí”, amplamente consumido na Amazônia brasileira em todos os níveis sócio-econômicos da população (CASTRO, 1992).

De acordo com (NASCIMENTO, et.al, 2008), o açaizeiro tem várias utilizações tais como alimentação, produção de celulose, fabricação de casas, ração animal, arborização, medicina caseira e corante natural. Porém, seu potencial econômico está nos frutos (explorado desde a época précolombiana) e no palmito (consumido a partir da década de 70, como substituto do palmito).

A utilização das fibras e cinzas do caroço de açaí já foram estudadas por Quirino (2010), Valença e Frota (2011) e Cordeiro, et.al (2019), sua utilização como agregado graúdo foi estudada na área de pavimentação por Souza (2013) que visou sua utilização em misturas asfálticas. No trabalho de Barbosa (2017) foi avaliado o potencial de uso do caroço de açaí moído na confecção de painéis particulados eco-alternativos como estratégia de aumento do conforto térmico em edificações na Amazônia, buscando outro tipo de uso que possa agregar maior valor para o resíduo

2.7 Poliestireno expandido (EPS)

O Poliestireno Expandido (EPS) é um plástico celular e rígido, que resulta da polimerização do estireno em água. Como produto final tem-se esferas de até 3 milímetros de diâmetro, que durante o processo de transformação se expandem em até 50 vezes seu tamanho original (Figura 12).



Figura 12 - Esferas de EPS

O EPS é utilizado em diversos setores de embalagens industriais, artigos de consumo, produtos alimentícios, agricultura e também na construção civil e é classificado como um polímero, estima-se que em 2015 a produção de EPS no mundo superou os 2,95 Milhões de toneladas ano (ROCHA, et.al, 2016).

Segundo Fernando, et.al (2017), as esferas de EPS tem a característica de conter 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Portanto, tem uma densidade muito baixa na faixa de 20-30 kg/m³ e também não possui resistência à compressão de magnitude útil. Individualmente têm uma forma esférica e o tamanho pode variar de cerca de 1 mm a 8 mm, além disso não absorve água. É dividido em sete tipos de acordo com a Tabela 5.

Usualmente o EPS é utilizado em embalagens ou para isolamento, e após seu uso é muitas vezes descartado para o lixo normal. Entretanto o EPS não é biodegradável e, portanto, ao ser liberado na natureza após seu uso, ele não se decompõe naturalmente (KAYA e FAR, 2016). Sendo assim a sua reutilização acaba sendo um modo de diminuir a poluição causada por esse resíduo.

A reutilização pode ser na sua forma natural, constituída por esferas ou sob uma forma modificada obtida com tratamento térmico (KAN e DERMIBOGA, 2009) ou pode ser em várias outras formas de resíduos de poliestireno (BABU e BAKU, 2004). A reciclagem pode ser feita de diversas maneiras, como mostrado na figura 13.

Tabela 5- tipos de EPS (KNAUF, 2018)

PROPRIEDADES	NORMA Método de Ensaio	Unid.	Tipos de EPS						
			TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6	TIPO 7
Densidade Aparente nominal	NBR 11949	kg/m ³	10,0	12,0	14,0	18,0	22,5	27,5	32,5
Densidade Aparente mínima	NBR 11949	kg/m ³	9,0	11,0	13,0	16,0	20,0	25,0	32,5
Condutividade Térmica máxima (23°C)	NBR 12094	W/m.K	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão com formação de 10%	NBR 8082	Kpa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima a flexão	ASTM C-203	Kpa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao cisalhamento	EN-12090	Kpa	≥25	≥30	≥60	80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (Se material Classe F)	NBR 11948		Material Retardante a Chama						

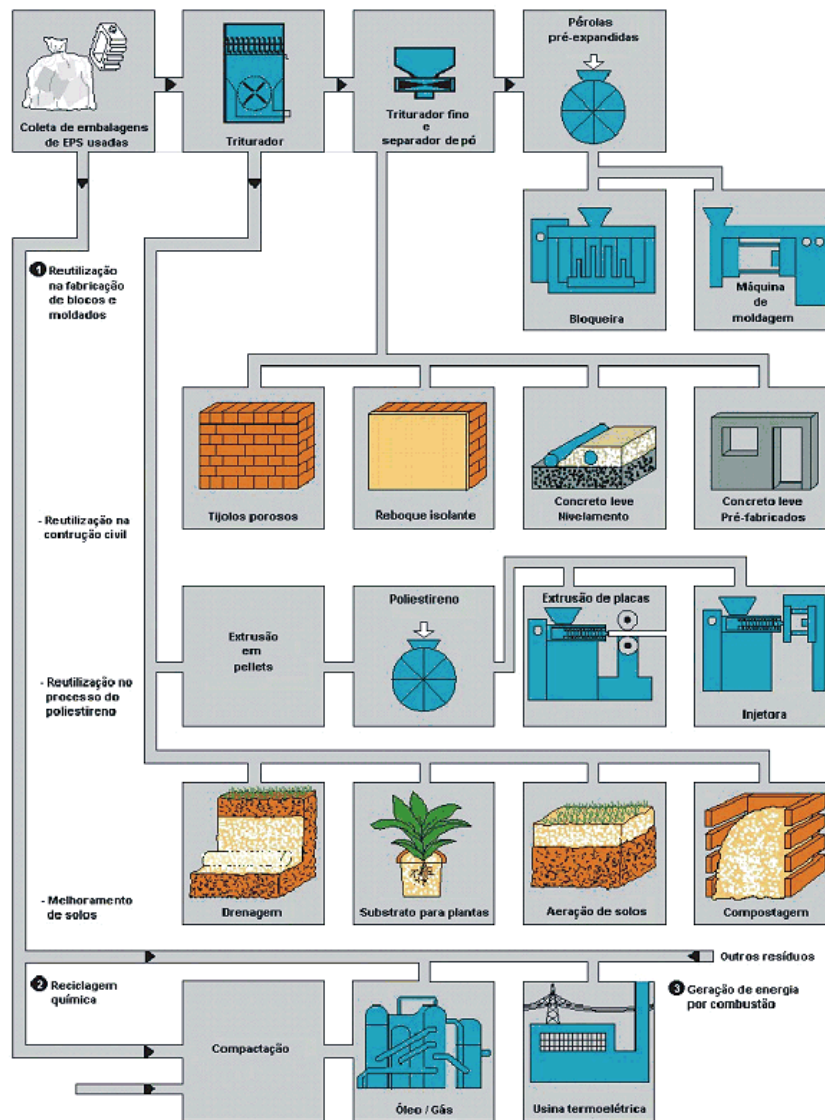


Figura 13 - Reciclagem do EPS. (ABRAPEX, 2017)

Um possível uso de esferas EPS é como um agregado para produzir concreto leve (FERNANDO et.al, 2017). Entre os materiais utilizados como agregados leve, o Poliestireno Expandido (EPS) destaca-se por ter algumas vantagens, como ser um material isolante térmico, leve devido sua baixa densidade, resistente, fácil de manusear e de baixo custo e também não contaminar o solo, ar ou água.

Atualmente, o concreto leve EPS é usado em várias estruturas, tais como painéis de revestimento, sistemas de revestimento compacto, blocos de concreto, materiais sub-base para uso em pavimentos, estruturas marinhas flutuantes, devido às suas boas características de absorção de energia.

A pesquisa sobre concreto EPS pode ser rastreada até 1973, quando Cook investigou EPS como o agregado de concreto (COOK, 1973). Nos últimos anos, várias pesquisas, tanto teóricas, quanto práticas foram realizadas com relação ao EPS na Construção Civil. Vários estudos de pesquisa analisaram muitos aspectos diferentes do EPS na Construção Civil. No estudo de Babu e Baku (2005), concretos de agregados leves foram feitos com densidades variando de cerca de 550 kg / m³ para 2200 kg / m³.

Coppola *et al.* (2016), relataram que o uso de agregados de EPS demonstrou alguns benefícios, destacando-se a redução do consumo de areia natural, o uso de resíduos plásticos e menor densidade da estrutura. Também se observou que todas as dosagens estudadas, apesar de alguma redução na resistência à compressão, apresentaram valores maiores do que o mínimo exigido para o concreto estrutural.

Tang *et al.* (2008), adicionou poliestireno expandido na faixa de 20 e 60% de volume, relatando que a densidade, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade do compósito diminuem em função da concentração do poliestireno expandido da mistura. Podemos citar outros trabalhos que estudaram a adição de EPS em compósito cimentício, destacando-se os estudos de Fernando, *et.al* (2017), Liu e Chen (2014) e Strecker, *et.al* (2014).

2.8 Fibras em compósitos cimentícios

As fibras são subdivididas em duas classes principais: orgânicas e inorgânicas, sendo cada uma dessas divididas em naturais e artificiais. Como exemplo de fibra orgânica temos a fibra de celulose (natural) e de PVA (artificial), quanto as fibras inorgânicas, temos como exemplo as fibras de amianto (natural) e de aço (artificial) (OLIVEIRA, 2013).

Em relação as fibras de amianto, o Brasil se destacava como um dos maiores produtores, após a descoberta e comprovação do perigo a saúde que as fibras de amianto causam, como por exemplo a abestose e o câncer de pulmão iniciou-se uma busca por substituições para esta fibra, que pudessem proporcionar um igual desempenho (MELO FILHO, 2012).

Diversos grupos de fibras, como as fibras de coco, sisal, bambu, entre outras tem sido

motivo de vários estudos para a sua possível aplicação como reforço. Destacam-se nas últimas décadas os estudos de fibras vegetais como reforço, tais como Savastano Jr. *et al.* (2002), Bilba *et al.* (2003), Melo Filho *et al.* (2007), Silva (2009), Melo Filho (2012), Fidelis (2014) e Gloria (2015). Dentre os estudos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFAM pode se citar os trabalhos de Oliveira (2013), Aguiar (2016), Rebelo (2016), Barbosa (2016), Oliveira (2017) e Cavalvante (2017).

Apresenta-se na Tabela 6 as propriedades de algumas fibras que são comumente estudadas no Brasil e no mundo.

Tabela 6- Propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras.

Fibras	Densidade (g/cm³)	Diâmetro (mm)	Alongam. na Ruptura (%)	Resist. à tração (MPa)	Módulo de Elastic. (GPa)	Fonte dos Dados
Juta (Corchorus capsulans)	0,852	0,15	-	405,33	29,7	Oliveira (2013)
Malva (Urena lobata Linn)	0,913	0,08	-	391,47	30,93	Oliveira (2013)
Sisal (Agave sisalana)	900 CV=8,90%	0,12 CV=23,8%	3,0 CV=29,15%	5775 CV=12,66%	15-21	Tôledo Filho (1997)
	1370	-	4,9-5,4	347-378	15,2	Agopyan e Savastano (1997)

Com relação às vantagens e desvantagens na utilização de fibras vegetais como reforço, de acordo com Marquês (2009), Melo Filho (2005), Savastano Júnior (2000) e Fidelis (2014), podem ser citados:

Vantagens - Grande abundância, baixo custo, não são prejudiciais à saúde, envolve a economia agrícola local, mais fáceis de manusear, baixo consumo de energia na obtenção e baixa densidade, biodegradáveis e de fontes renováveis.

Além disso, a “utilização de materiais naturais acoplada a modernas técnicas de construção pode reduzir os resíduos de construção, aumentar a eficiência de energia e ao mesmo tempo

promover o conceito de sustentabilidade” (DITTENBER *et al.*, 2012).

Como desvantagens temos a baixa durabilidade no meio alcalino, grande variação de suas propriedades intrínsecas e grande absorção de água.

2.8.1 Fibras naturais

As fibras naturais podem ser obtidas de diferentes partes de uma planta: caule (algodão), folha (juta, malva), semente (sisal) ou frutos (coco).

As fibras obtidas do caule são formadas por feixes de fibras, cada um contendo fibrocélulas individuais ou filamentos. Fibras de juta, linho, cânhamo são exemplos desse tipo. Fibras das folhas, como o sisal e a banana, possuem diâmetro superior aos das fibras provenientes do caule. O algodão é um exemplo de fibra de sementes e a fibra de coco de fibra proveniente do fruto. Há ainda outras fontes de lignocelulose, que pode ser obtida através de resíduos agrícolas, como a casca de arroz, casca da semente de girassol e do bagaço da cana de açúcar (THOMAS *et al.*, 2011).

As fibras naturais vegetais são constituídas de celulose hemicelulose e lignina. Na Tabela 7 tem-se os constituintes químicos de algumas fibras.

Tabela 7 – Constituintes químicos de algumas fibras.

Fibras	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Liginina(%)	Cinzas (%)	Fonte de dados
Malva (<i>Urena lobata</i> Linn)	66,33	224,85	10,49	-	Oliveira (2013)
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	69,33	21,28	13,55	-	Oliveira (2013)
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)	76	-	10,0	0,7	Agopyan e Savastano Jr. (1997)

A celulose, um dos componentes da fibra é um polímero hidrófilo glucano, e é constituído por uma cadeia linear de unidades de anidra-glucose ($C_6H_{11}O_5$) que contêm grupos de hidroxila alcoólicos, como mostrado na figura 14.

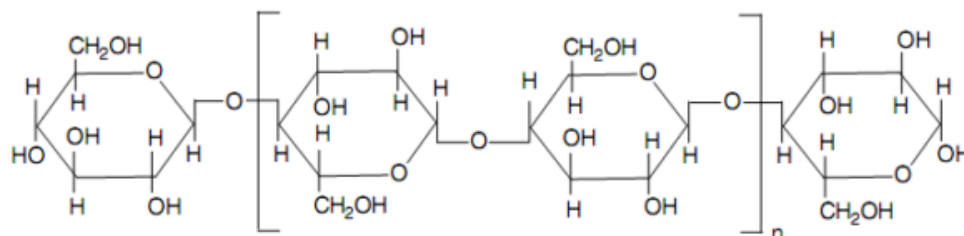


Figura 14- Estrutura da celulose. (MOHANTY *et al.*, 2005).

Os grupos de hidroxilas vão formar ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares com a macromolécula em si e também com outras macromoléculas de celulose ou de moléculas polares, assim, conclui-se que todas as fibras naturais são de natureza hidrofílica.

Apesar da estrutura química da celulose de diferentes tipos de fibras naturais serem a mesma, o grau de polimerização varia. A resistência das fibras celulósicas é influenciada pelo seu arranjo molecular e também pelo seu grau de polimerização (GP), ou seja, quanto maior o seu GP, maior em tese é a resistência da fibra. (MOHANTY *et al.*, 2005).

Quanto a estrutura física das fibras naturais, elas apresentam estrutura complexa, constituídas de uma fina parede primária e de parede secundária formada por três camadas, sendo a camada de espessura média a determinante das propriedades mecânicas da fibra (alguns autores citam como paredes primária, secundária e terciária) (JOHN *et al.*, 2008).

As cavidades centrais das fibrocélulas são denominadas lúmens, é como se as fibras vegetais fossem como tubos microscópicos, onde o lúmen está entre as paredes celulares (THOMAS *et al.*, 2011). As paredes celulares são constituídas por microfibrilas unidas por uma matriz de lignina e hemicelulose e apresentam diferentes orientações em cada parede celular. As microfibrilas possuem diâmetro de cerca de 10 – 30 nm e são constituídas por 30 – 100 moléculas de celulose. (JOHN *et al.*, 2008, THOMAS *et al.*, 2011, DITTENBER *et al.*, 2012). A estrutura de uma fibra natural é mostrada na figura 15.

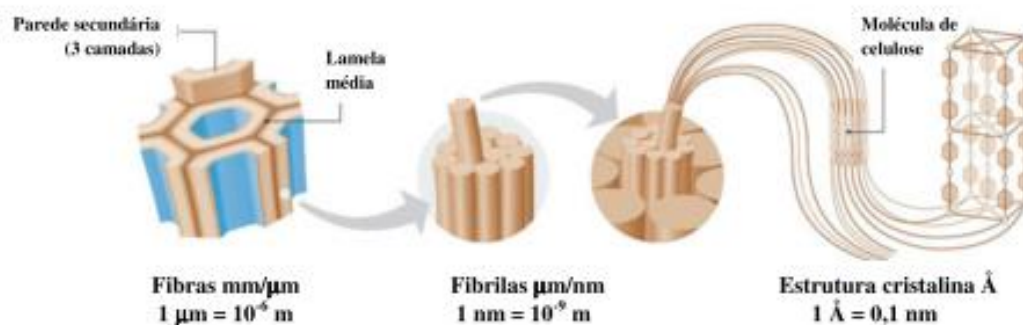


Figura 15- Estrutura de uma fibra natural. (Fidelis, 2014)

Outros fatores que irão afetar a qualidade das fibras, além de sua composição química e características físicas, o ambiente de cultivo, a região de origem e de outras características (OCHI, 2008).

2.8.2. Fibras de Juta

A juta é o nome dado à fibra extraída do caule das plantas pertencentes ao gênero *Corchorus*, da família *Tiliaceae* (Figura 16). Cerca de quarenta espécies desse gênero são conhecidas em todo o mundo, mas apenas as espécies *C. capsularis* (juta branca) e *C. olerius* (juta tossa) são cultivadas (SINGH *et al.*, 2011; RAHMAN, 2010).

A sua utilização vai desde embalagens, até material de isolamento, sendo utilizada também na produção de artesanato, revestimento de pavimentos e proteção do solo. Sua produção no Amazonas se iniciou a partir do final dos anos 1930 até o início de 1990. Imigrantes japoneses introduziram a cultura na região, a fim de suprir a demanda de sacos de juta no sul do Brasil, onde os sacos eram utilizados para embalagem de *commodities*, principalmente o café (FIDELIS, 2014).



Figura 16-Planta de onde é extraída a fibra de juta

Socioeconomicamente a fibra de juta assume um papel de grande importância na economia agrícola da região Norte do Brasil, principalmente nos estados do Amazonas e Pará, a Figura 17 mostra as fibras beneficiadas.



Figura 17- Fibras de juta e malva beneficiadas industrialmente: (a) Cordões e (b) Sacarias.

Fonte: Oliveira (2013)

Quanto a produção, tem-se dados da produção nacional de juta juntamente com a Malva. Em 2015 no Amazonas foram produzidas 2,9 mil toneladas, no Pará, a produção foi de 925 toneladas, apresentando uma elevação surpreendente de 64%, diante das 565 toneladas produzidas em 2014 (CONAB, 2017).

De acordo com CONAB (2018), a produção de juta/malva no Brasil vinha numa constante queda desde o ano de 2011 (Figura 18). A competição com as fibras sintéticas, a importação e a falta de estrutura da cadeia produtiva são as principais causas deste fenômeno, além da falta de sementes, o que agrava este problema. Quanto à safra 2017, houve uma mudança

de tendência e foi observado um aumento na produção, de 2.500 toneladas em 2016 para 3.800 toneladas em 2017. As condições climáticas foram bem mais favoráveis em 2017, fator que contribuiu para o retorno da produção para o patamar que era no ano de 2015.

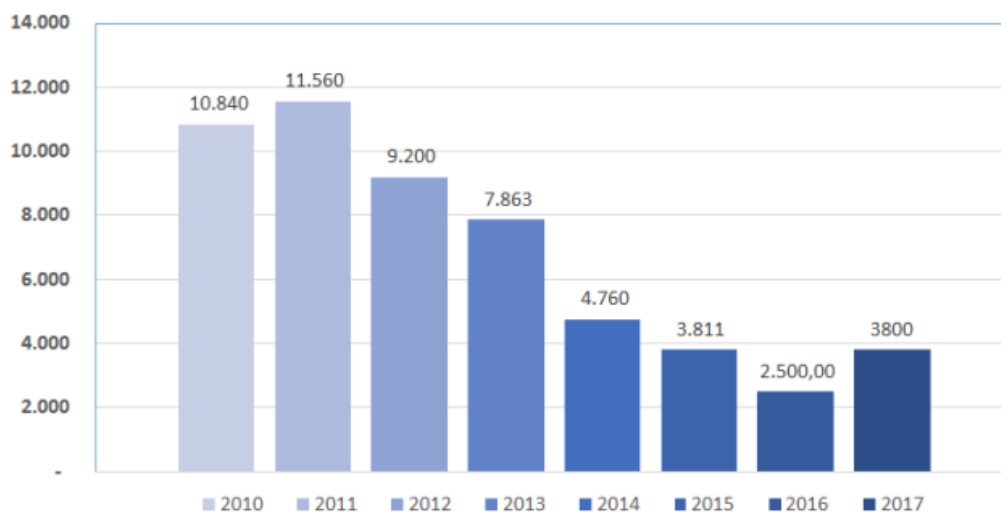


Figura 18- Produção de Juta. (CONAB, 2018)

Na Figura 19 observa-se a queda da produção das fibras de Juta e Malva no Brasil, enquanto que na Índia e Bangladesh esta produção está em constante crescimento, chegando a mais de 2 milhões de toneladas produzidas por ano. Quanto a importação, segundo dados da CONAB (2018), em 2017, o percentual entre importação e exportação foi de 177%.

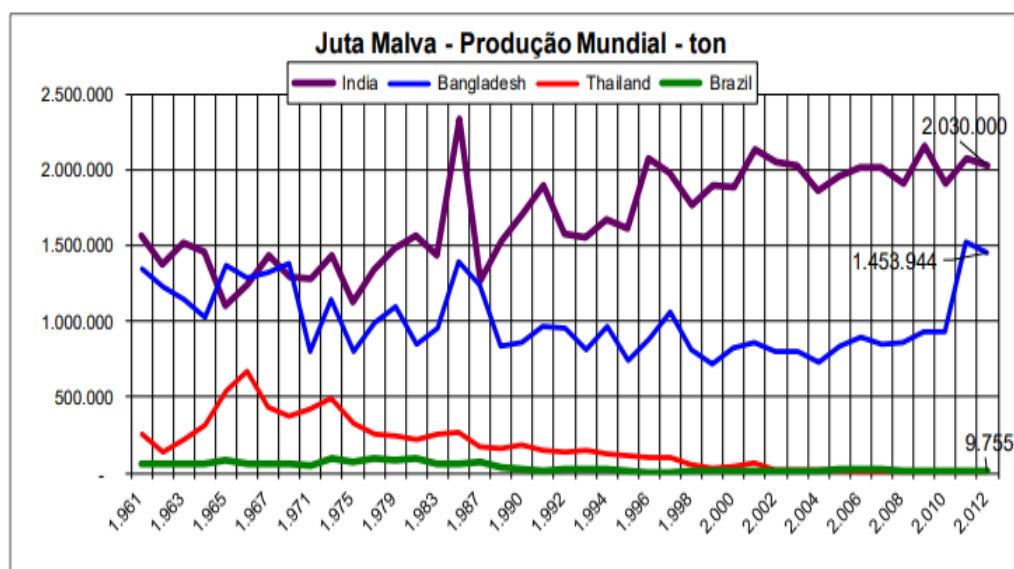


Figura 19 - Produção mundial de Juta/malva (CSFN, 2017)

Capítulo 3. Metodologia

Na figura 20 temos o planejamento experimental da pesquisa.

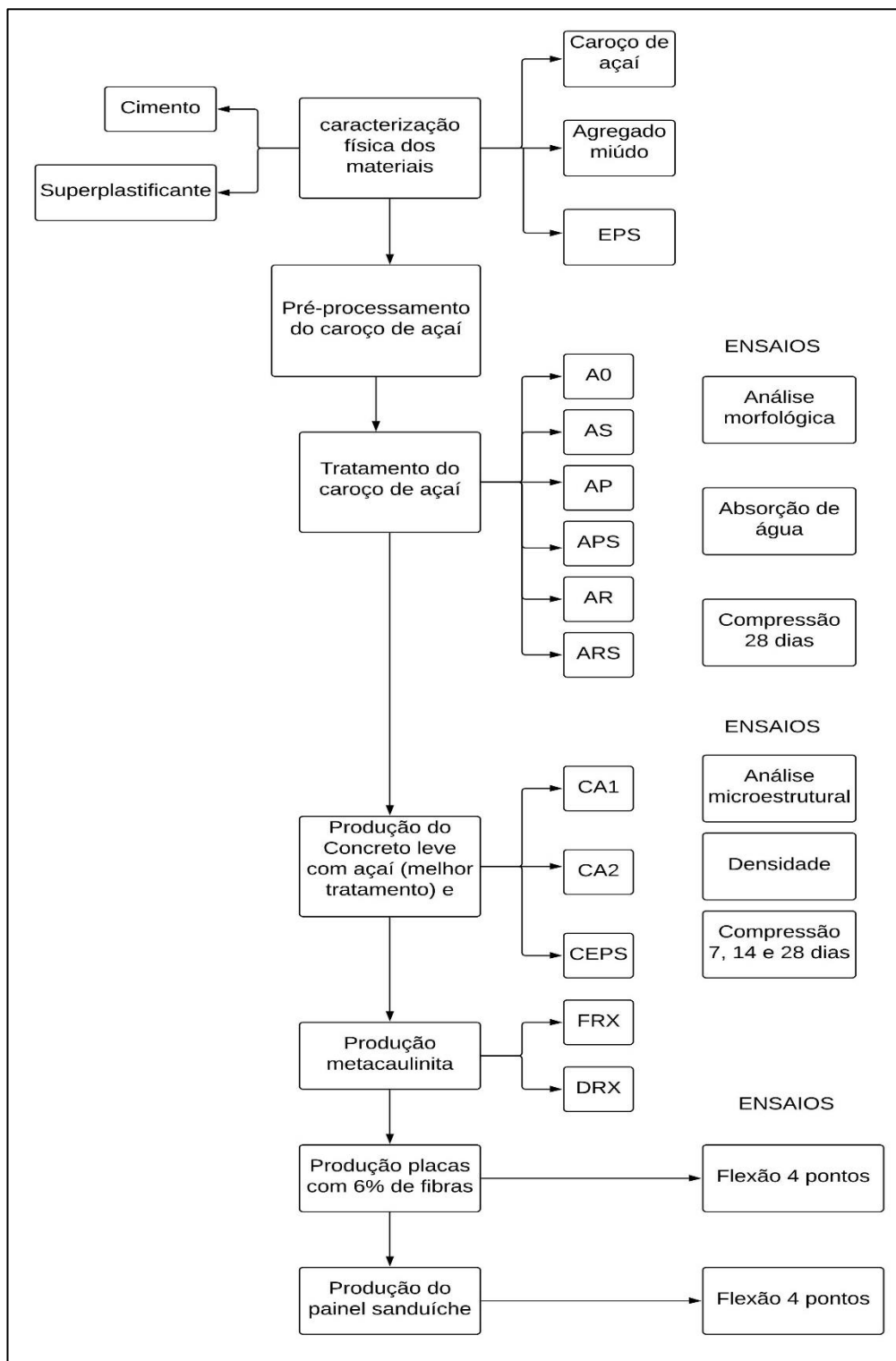


Figura 20- Planejamento experimental

A pesquisa realizou-se em cinco etapas a seguir:

- a) Caracterização dos materiais por meio de ensaios normalizados;
- b) Estudo da influência de tratamento no caroço de açaí como agregado em compósito cimentício. Esta etapa permitiu a escolha do melhor tipo de tratamento a ser realizado no caroço de açaí;
- c) Comparação entre traços de compósito cimento/caroço de açaí alternando a relação cimento / agregado e compósito cimento/EPS, por meio do ensaio de compressão uniaxial;
- d) Avaliação do comportamento em flexão de laminados de argamassa reforçada por 6% de fibras longas de juta alinhadas unidirecionalmente, e repartidas em três camadas;
- e) Moldagem dos painéis sanduíches, com o núcleo de cimento/caroço de açaí escolhido na etapa c, e as faces em laminados de argamassa reforçada com fibras longas de juta, para avaliação das propriedades físico-mecânicas.

Capítulo 4. Caracterização de concreto leve com adição de caroço de açaí ou EPS como agregado

4.1 Introdução

Atualmente o setor da Construção Civil se encontra em busca de maior sustentabilidade. A partir de documentos como do painel Internacional sobre mudanças climáticas (IPCC, 2012) e políticas públicas como a Lei nº12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), nos quais alerta-se quanto a mudança climática e propõe-se diretrizes a respeito da gestão e gerenciamento dos resíduos, percebe-se a tendência na utilização de materiais que causem menor impacto ambiental, agregados alternativos, novos métodos construtivos e redução na geração de resíduos ou reutilização destes.

Segundo Strecker *et al.* (2014), inúmeros trabalhos sobre a utilização de agregados alternativos no concreto foram realizados, podemos citar Silva (2017) que utilizou como agregado alternativo resíduos de corte de mármore e granito, Awoyera, *et.al* (2018) que estudou o uso do resíduo cerâmico, da construção de pisos ou paredes como agregado no concreto, além de trabalhos como o de Strecker, *et.al* (2014), no qual se utiliza Poliestireno expandido como alternativa.

Podemos citar os agregados leves como um desses materiais alternativos, eles podem ser utilizados para a produção do concreto leve, que é um material de menor impacto ambiental e alta resistência específica, ou seja, alta relação resistência/densidade, podendo ser utilizado em diversos elementos estruturais.

Como agregado alternativo natural no concreto leve podemos utilizar o caroço de açaí, presente na região amazônica, que gera uma grande quantidade de resíduo sólido o qual não é comumente reutilizado. Em 2017, a produção de açaí no Brasil foi de 1,33 toneladas, e é o principal produto agrícola da região Norte, representando 1,7% do valor total da produção nacional agrícola (IBGE, 2017), o que mostra a importância socioeconômica deste fruto para a região Amazônica.

Segundo Aguiar e Mendonça (2003), o caroço de açaí possui diâmetro médio de 11,5 mm, e conforme Pereira e Rodrigues (2013), o caroço representa 80% a 90% do fruto, que após o beneficiamento da polpa, transforma-se em resíduo orgânico comumente utilizado para queima em forneiras com baixo valor agregado. Apesar de ser uma fonte de material lignocelulósico renovável, este resíduo representa um grave problema ambiental, por exemplo para a quantidade produzida por exemplo no ano de 2017 tem-se cerca de 1,19 toneladas de resíduo sólido gerado.

Alguns estudos tem sido realizados utilizando o caroço e açaí, podemos citar o de Martins, et.al (2009), o qual voltou-se para o comportamento térmico da fibra e do caroço do açaí. Martins et.al (2009) sugeriu que as fibras de açaí podem ser utilizadas industrialmente, em áreas como a indústria automobilística e de materiais (da mesma maneira como as fibras de sisal e coco para reforço em materiais compósitos).

A utilização do caroço de açaí em materiais alternativos já foi estudada anteriormente. Fibras e cinzas do caroço de açaí já foram estudados por Quirino (2010), Valença e Frota (2011), Cordeiro, et.al (2019) e Costa, et.al (2014), que as adicionaram em compósitos poliméricos. Sua utilização como agregado graúdo foi estudada por Souza (2013) que visou sua utilização em misturas asfálticas para pavimentação. Além desses, Barbosa (2016) avaliou o potencial de uso do caroço de açaí moído na confecção de painéis particulados eco alternativos como estratégia de aumento do conforto térmico em edificações na Amazônia, buscando outro tipo de uso que possa agregar maior valor para o resíduo. Entretanto ainda não se tem grande variedade de estudos voltados para a utilização do caroço do açaí como agregados em compósitos cimentícios.

Um dado importante é que o caroço de açaí tem aproximadamente 3% de açúcares e 25,22% de fibras (ROGEZ, 2000), sendo um material que tende a absorver água e influenciar na matriz cimentícia, assim é necessário o estudo de tratamentos deste caroço para utilização como agregado.

Como agregado alternativo artificial, temos o Poliestireno expandido (EPS), que é um tipo de agregado de baixa densidade, sua densidade é inferior a 300 kg/m³ (SHORT e KINNIBURGH, 1978). Segundo Strecker *et al.* (2014), os agregados de EPS podem substituir em parte ou completamente os agregados miúdos utilizados no concreto ou a areia no caso de compósitos cimentícios. De acordo com SHI, *et.al* (2016), o concreto com EPS

tem características de economia, proteção ambiental e economia de energia que atendem o conceito de material de construção moderno.

Inúmeras pesquisas foram realizadas para a utilização deste agregado, podemos citar Tang, *et al.* (2008) que adicionou poliestireno expandido na faixa de 20 e 60% de volume, e relatou que a densidade, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade do compósito diminuem em função da concentração do EPS na mistura. Kaya e Kar (2016) que estudou compósitos com adição de EPS reciclado e resina natural, obtendo um compósito de grande potencial produtivo e isolamento térmico. Além desses podemos citar Kan e Dermigoba (2009), Demirel (2013), Strecker (2014) e Liu e Chen (2014).

Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar a influência do tratamento do caroço para o seu uso em compósitos cimentícios, como agregado leve e caracterizar mecanicamente os concretos leves com adição de Caroço de açai ou EPS, buscando comparar os dois tipos em relação ao comportamento mecânico e densidade visando compósito de menor densidade para ser utilizado como concreto leve na Construção Civil.

4.2 Materiais e procedimentos experimentais

4.2.1. Caracterização dos materiais

Os caroços de açai, oriundos da palmeira *Euterpe precatória* Mart. (açazeiro) foram coletados em feiras livres na Zona Leste da cidade de Manaus-AM e passaram por pré-processamento seguindo o esquema na figura 21.

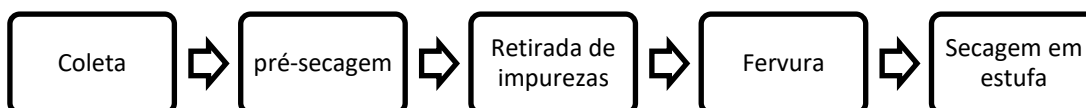


Figura 21- Fluxograma do pré-processamento do caroço de açai

Após a coleta eles foram previamente secos ao ar livre por um período de 24 horas. Em seguida passaram pelo peneiramento para a retirada de impurezas e resíduos de outros materiais, o que possibilitou também a separação do caroço e da “borra”. Após estas etapas,

os caroços foram fervidos em água durante 30 minutos para que fossem eliminados todos os fungos e bactérias presentes, e posteriormente foram secos em estufa a 65°C durante 48 horas.

O cimento utilizado para a produção da matriz cimentícia foi o CP IV 32-RS da Mizu, que tem resistência de 34 MPa (28 dias), massa específica de 2,93g/cm³ e Blaine de 51,73 m²/Kg (segundo informações do fabricante). Utilizou-se como aditivo o superplastificante MC Power-Flow 1108 com teor de sólidos de 42,16 % e massa específica de 1.08 g/cm³, conforme dados obtidos pelo fabricante.

Utilizou-se EPS fornecido pela empresa Prestige da Amazônia. A seguir mostra-se as características do EPS, com dados repassados pela empresa Prestige da Amazônia (Tabela 8).

Tabela 8- Características físicas do EPS

PROPRIEDADE	EPS TIPO P - I
Massa Específica Aparente (Kg/M ³)	13 a 16
Absorção de água / Imersão em água (g/cm ² x100)	≤ 1
Diâmetro das Partículas	Variado em torno de 5mm
Flamabilidade	Material não retardante a chama

Caracterizou-se o agregado miúdo quanto a massa específica e massa específica aparente, conforme a NBR NM 52/2009, e também sua composição granulométrica, conforme a norma NBR NM 248/2009.

O caroço de açaí foi caracterizado quanto a massa unitária e volume de vazios, conforme a NBR NM 45/2006, quanto a massa específica e massa específica aparente, conforme a NBR NM 53/2009, e também aspectos de sua composição granulométrica, conforme a norma NBR NM 248/2009. Quanto as pérolas de EPS utilizada, tanto estas quanto suas características foram obtidas com a empresa Prestige da Amazônia.

4.2.2. Tratamento dos caroços de açaí

Foi necessário a realização de um tratamento de impermeabilização no caroço de açaí a fim se reduzir ou neutralizar a absorção e inchamento, tanto do caroço quanto de sua fibra, quando em contato com a água de amassamento utilizada no compósito cimentício.

Escolheu-se cinco tipos de tratamento para o caroço de açaí:

- AS (amostra saturada em água 24h): Os caroços de açaí foram saturados em água durante 24 horas antes de serem utilizados na produção do concreto;
- AP (amostra imersa em parafina líquida em uma camada): Os caroços de açaí foram envoltos em parafina líquida, e secaram ao ar livre em torno de 24 horas antes de serem utilizados na produção do concreto;
- APS (amostra imersa em parafina e após saturada 24h): Os caroços de açaí foram envoltos em parafina líquida, e secaram ao ar livre em torno de 24 horas, depois foram saturados em água durante 24 horas antes de serem utilizados na produção do concreto;
- AR (amostra imersa em resina acrílica em uma camada): Os caroços de açaí foram envoltos em resina acrílica, e secaram ao ar livre em torno de 24 horas antes de serem utilizados na produção do concreto;
- ARS (amostra imersa em resina acrílica e após saturada 24h): Os caroços de açaí foram envoltos em resina acrílica, e secaram ao ar livre em torno de 24 horas, depois foram saturados em água durante 24 horas antes de serem utilizados na produção do concreto.

Produziu-se também compósitos com o açaí in natura (A0), os caroços foram utilizados para a produção de concreto após o pré-tratamento, sem nenhum tratamento adicional.

4.2.3 Análise morfológica e absorção de água do caroço de açaí

A análise morfológica foi realizada por meio do da Lupa Carto 60x do laboratório da UFAM, para se analisar visualmente o caroço de açaí in natura, a distribuição das camadas e das fibras e mudanças em relação ao caroço de açaí tratado.

Os caroços de açaí foram analisados quanto a absorção de acordo com a NBR NM 53/2003, o ensaio foi realizado para os caroços de açaí “in natura” e após os diferentes tipos de tratamento, buscando-se encontrar o melhor tratamento que reduza a absorção.

4.2.4. Produção do concreto leve

Realizou-se o ensaio de mini tronco de cone para se analisar diversos traços, buscando aquele que melhor se adequasse para a produção dos concretos leves com caroço de açaí. Assim, para os concretos leves com caroço de açaí A0, AS, AP, APS, AR e ARS, utilizou-se o traço 1:1,5 (cimento; areia) com fator água/cimento de 0,40 e 0,8% de superplastificante, adicionou-se cerca de 70% em volume de caroços de açaí.

A partir dos resultados dos ensaios mecânicos e físicos pôde-se escolher o melhor tratamento para o caroço de açaí, e com este produziu-se três tipos de compósitos:

- C_{A1}: Adicionou-se uma quantidade de caroço de açaí que completasse o volume do molde, e o volume de vazios foi preenchido com argamassa de traço 1:1,5 (cimento; areia) com fator água/cimento de 0,40 e 0,8% de superplastificante;
- C_{A2}: Adicionou-se uma quantidade de caroço de açaí que completasse o volume do molde, e utilizou-se uma pasta cimentícia de traço 1:0,4 (cimento; água) para envolver os caroços de açaí, objetivando sua aderência. A relação caroço de açaí/pasta foi de 1:1 em peso;
- C_{EPS}: Adicionou-se uma quantidade EPS que completasse o volume do molde, e o volume de vazios foi preenchido com argamassa de traço 1:1,5 (cimento; areia) com fator água/cimento de 0,40 e 0,8% de superplastificante.

Os traços utilizados foram escolhidos levando em conta resultados do ensaio de mini tronco de cone, no qual analisou-se diferentes traços de pasta e argamassa, buscando-se aquele que apresentava melhor fluidez, conseguindo-se assim melhor adensamento da argamassa nos espaços vazios e envolvimento da pasta no caroço de açaí.

Moldou-se 5 (cinco) corpos-de-prova para cada compósito e todos foram moldados em corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 5 x 10cm (diâmetro; altura), de acordo com a

ABNT NBR 5739/2016.

4.2.5. Análise microestrutural, densidade e propriedades mecânicas

Os concretos leves com os tratamentos A0 (in natura), AS (saturado em água), AP (imerso em parafina), APS (imerso em parafina e após saturado), AR (imerso em resina) e ARS (imerso em resina e após saturado) foram analisados micro estruturalmente após sua desmoldagem, observou-se aspectos de inchamento, fissuras e outros aspectos do corpo-de-prova relacionados ao uso do caroço de açaí. A análise da densidade foi realizada conforme a NBR 9778/2009.

O ensaio de compressão foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5739/2007 no laboratório de ensaio de matérias do IFAM, em uma máquina de ensaio universal, EQUILAM Modelo EQTB-100 a uma velocidade de deslocamento de 0,45 Mpa/s. Os concretos leves com diversos tipos de tratamento foram ensaiados aos 28 dias, enquanto os concretos C_{A1} , C_{EPS} e C_{A2} foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias.

4.3 Resultados e discussões

4.3.1. Caracterização dos materiais

Na Tabela 9 mostra-se a caracterização física do agregado miúdo e do caroço de açaí, a curva granulométrica do agregado miúdo é mostrada na Figura 22.

Tabela 9- Características físicas do agregado miúdo e caroço de açai

AGREGADO MIÚDO	
Massa específica (g/cm ³)	2,65
Massa específica aparente (g/cm ³)	1,45
Módulo de finura	1,83
Dimensão máxima característica (mm)	2,4
CAROÇO DE AÇAÍ	
Massa específica (g/cm ³)	0,55
Módulo de finura	7,0
Dimensão máxima característica (mm)	12,5

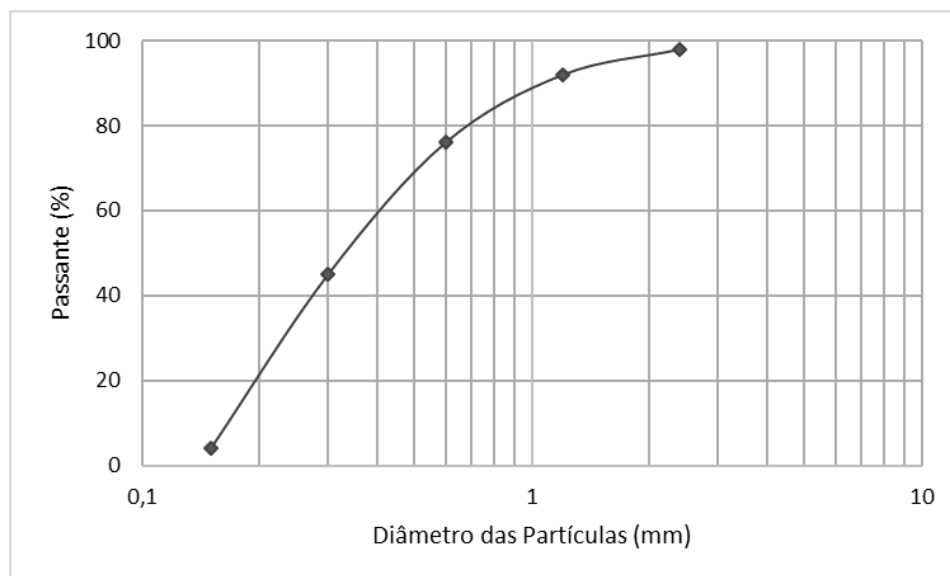


Figura 22- Curva granulométrica da areia

Utilizou-se para a produção dos concretos o agregado miúdo passante na peneira 1,19mm.

4.3.2. Análise morfológica e absorção do caroço de açai

Nas fotomicrografias obtidas por microscopia óptica na Figura 23, observa-se que o caroço de açai tem forma arredondada e o diâmetro em torno de 11mm. O caroço é formado por três camadas, o endocarpo, uma casca que o envolve e as fibras que recobrem o caroço.

Observa-se também que as fibras se encontram alinhadas e coesas em volta do caroço de açaí, assim como descrito por Martins, *et.al* (2009).

No caroço de açaí in natura (A0) observa-se uma coloração marrom escura tanto no mesocarpo quanto na camada que o encobre, como também foi observado por Aguiar e Mendonça (2003), além da presença das fibras mesocárpicas. No caroço de açaí imerso em parafina (AP) (figura 24) percebe-se que a coloração do endocarpo é esbranquiçada e a camada de recobrimento tem coloração escura. Observou-se também uma resistência maior do caroço imerso em parafina (AP) quanto ao corte.

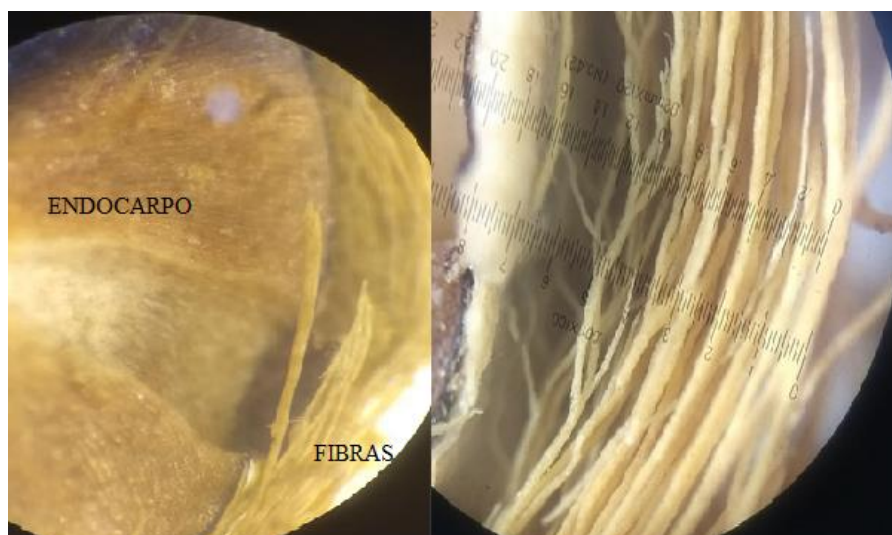


Figura 23 -Morfologia caroço de açaí A0 e fibras

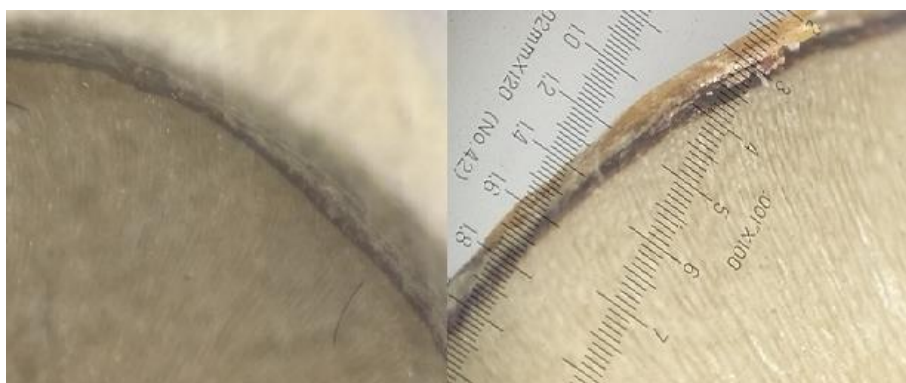


Figura 24- Morfologia caroço de açaí AP

Analisou-se a absorção de água nos caroços in natura (A0), imerso em parafina (AP) e imerso em resina (AR) de acordo com a NBR NM 53/2009. Os resultados são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10- Absorção de água dos caroços A0, AP e AR

TIPO	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
A0	39,6
AP	25,2
AR	25,5

Em relação ao caroço de açaí in natura (A0), obteve-se um resultado de absorção de 39,6%, o que comprova seu comportamento hidrófilo. O caroço de açaí é composto em torno de 25% das fibras mesocárpicas (vegetais), os quais tem como uma de suas desvantagens a grande absorção de água. De acordo com Rodrigues (2015), a água presente na matriz cimentícia acaba sendo internamente absorvida pela fibra vegetal o que causa a expansão desta, durante a cura esta água migra para a matriz novamente, causando retração, este processo pode gerar o inchamento e fissuração do compósito.

Em relação ao caroço de açaí do tratamento imerso em parafina (AP) e o tratamento com o caroço de açaí imerso em resina (AR) obteve-se resultados similares, a absorção de água ficou em torno de 25%. Observa-se que com os tratamentos buscando a impermeabilização houve uma redução de 36,3% da absorção de água do caroço de açaí.

4.3.3. Análise microestrutural densidade e propriedades mecânicas do concreto leve

Analisou-se micro estruturalmente os concretos moldados com os caroços de açaí in natura AP0 e os caroços de açaí com tratamento A0, AS. AP, APS, AR e APS (Figuras 25 e 26).



Figura 25- concretos A0, AP e AR



Figura 26- concretos APS, ARS e AS

Para o concreto leve com o caroço de açaí in natura (A0), por não ter tratamento o caroço de açaí absorveu grande parte da água de amassamento utilizada, durante a cura houve retração e expansão do concreto, dificultando a sua desmoldagem e levando a perda de alguns corpos-de-prova. Observou-se ainda a presença de várias fissuras e grande quantidade de porosidade e vazios no concreto. Para os concretos leves com o caroço de açaí de tratamento sem saturação (imerso em parafina AP e imerso em resina AR) observou-

se que o inchamento do material e a presença de fissuras foi menor, mesmo assim, ainda há a presença de muitos poros e vazios.

Para os concretos leves com o caroço de açaí de tratamento saturado (saturado em água AS, imerso em parafina e saturado APS e imerso em resina e saturado ARS) observou-se que não há a presença de fissuras no material, além disso a expansão foi menor do que a dos concretos sem saturação e encontra-se ainda porosidade.

Os concretos leves moldados foram avaliados sob esforços de compressão após 28 dias de cura. Esta análise buscou avaliar a influência do tipo de tratamento no comportamento mecânico do concreto. Na Tabela 11 tem-se o resumo da resistência a compressão média e desvio-padrão de cada um.

Tabela 11- Resistência a compressão dos concretos leves

TIPO	TENSÃO (MPa)	DESVIO-PADRÃO (MPa)
A0	2,14	0,14
AS	7,59	0,75
AR	2,53	0,11
ARS	6,49	0,57
AP	2,78	0,44
APS	5,23	0,41

Observa-se que a utilização dos tratamentos do caroço de açaí com saturação do caroço (AS, APS e ARS) acrescentou a resistência a compressão dos concretos e pôde se distinguir assim duas faixas de resistência:

- $F_{ck} 28 < 3$ MPa: contendo os A0, AP e AR. Estes concretos apresentaram uma resistência entre 2,14MPa a 2,78MPa.
- $5 < F_{ck} 28 < 8$ MPa: contendo os As, APs e ARS. A resistência dos concretos com caroço de açaí saturado foi em média entre 5,23MPa a 7,59MPa.

Observa-se um aumento de resistência de 88% a 254,6% entre os concretos leves com

caroço de açaí saturado (AS, APS e ARS) em relação aos concretos leves com caroço de açaí não saturado (A0, AP e AR). Sendo 88% o ganho de resistência do concreto leve APS em relação ao AP e 254,6% o ganho de resistência do concreto leve AS em relação ao A0.

Dentre os concretos leves com caroço de açaí com tratamento AS, APS e ARS, observou-se que os melhores resultados de resistência obtidos foram dos tipos AS e ARS, os quais são estatisticamente iguais. Assim, escolheu-se como melhor tratamento para ser utilizado no caroço de açaí como agregado em concreto o tipo saturado (AS), pois leva ao melhor resultado de resistência, com menor custo e maior praticidade, além do concreto apresentar menos fissurações e menor expansão.

Os concretos leves C_{A1} , C_{A2} e C_{EPS} (figura 27) foram avaliados sob esforços de compressão após 7, 14 e 28 dias de cura e quanto a densidade.



Figura 27- concreto leves CA_1 , $CEPS$ e CA_2 (da esquerda para a direita)

Na Figura 28 tem-se o gráfico das curvas Tensão x Deformação do ensaio de resistência a compressão em 28 dias dos três concretos leves (C_{A1} , C_{A2} e C_{EPS}).

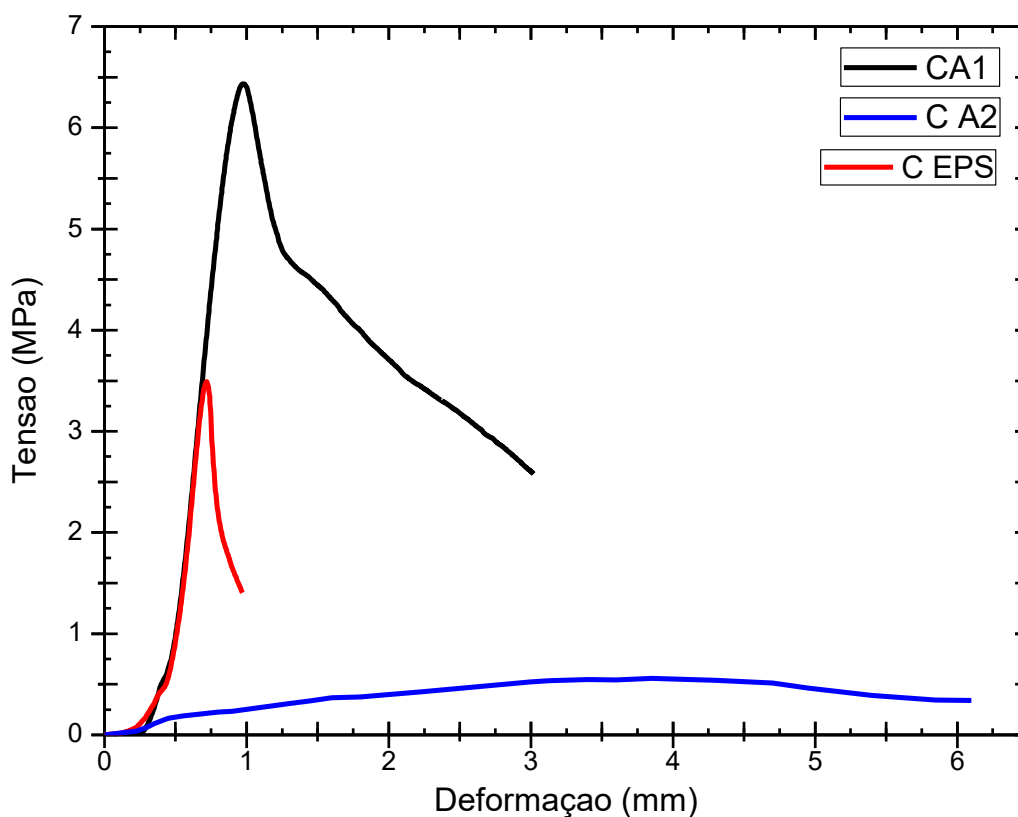


Figura 28- Curva Tensão x Deformação CA1, CA2 e CEPS

Para o concreto leve C_{A1} ocorre uma deformação em torno de 1mm quando se chega na Tensão máxima, logo após ocorre o decaimento da curva quase que linearmente até a deformação de 1,5mm, após esse estágio a deformação aumenta de 1,5mm a 3mm com o decaimento de 1,5MPa de tensão.

Quanto a Curva Tensão x Deformação do concreto leve C_{EPS} observa-se uma deformação em torno de 0,7mm quando se chega na Tensão máxima, logo após ocorre um decaimento maior da curva, com a deformação passando de 0,7mm a 1mm, enquanto que a tensão decai 2 MPa.

Na curva Tensão x Deformação do concreto leve C_{A2} ocorre uma deformação em torno de 6mm, observa-se que houve um grande aumento da deformação com pouca variação de carga aplicada, logo após a Tensão Máxima houve um aumento de 2 mm de deformação com decaimento em torno de 0,2 MPa de tensão.

Observa-se comportamentos parecidos entre as curvas dos concreto leves C_{A1} e C_{EPS} , com

comportamento linear no início da curva, logo após tem-se um trecho de não-linearidade até se chegar na Tensão máxima e após isto a redução de carga com aumento da deformação. Quanto ao concreto leve C_{A2} , a sua curva Tensão x Deformação tem um comportamento diferente das dos outros dois concreto leves, houve uma grande deformação do material, com pouca variação de carga aplicada, não houve um pico na tensão máxima. A taxa de amolecimento foi maior no concreto leve C_{EPS} .

Na Tabela 12 é mostrado os resultados médios de resistência em 7, 14 e 28 dias e densidade dos três tipos de concreto leves, assim como o desvio-padrão.

Tabela 12- Resistência e densidade dos concretos leves $CA1$, $CA2$ e $CEPS$

TIPO	Resistência 7 Dias (MPa)	Desvio-Padrão (MPa)	Resistência 14 Dias (MPa)	Desvio-Padrão (MPa)
C_{A1}	3,78	0,021	5,75	0,48
C_{A2}	0,32	0,07	0,41	0,04
C_{EPS}	2,43	0,61	3,24	0,27
TIPO	Resistência 28 Dias (MPa)	Desvio-Padrão (MPa)		Densidade (g/cm³)
C_{A1}	6,77	0,29		1,75
C_{A2}	0,53	0,06		1,03
C_{EPS}	3,71	0,13		1,29

Observa-se que quanto ao concreto leve C_{A1} a resistência a compressão em 14 dias teve um aumento de 52,46% em relação a resistência em 7 dias, no concreto leve C_{A2} esse aumento foi de 25,0% e no concreto leve C_{EPS} foi de 13,29%. Os resultados de resistência a compressão em 7 e 14 dias foram melhores no concreto leve C_{A1} , e no concreto leve C_{A2} obteve-se a menor resistência.

Quanto a resistência a compressão em 28, ela variou em média entre 0,53 a 6,77MPa. Observa-se que quanto maior a densidade do concreto leve, maior foi a resistência a compressão, sendo a resistência do concreto leve C_{EPS} 45,19% menor que a do concreto leve C_{A1} e a resistência do concreto leve C_{A2} 92,17% menor que do concreto leve C_{A1} . O concreto

leve C_{EPS} tem densidade 26,28% menor que o concreto leve C_{A1} e o concreto leve C_{A2} tem uma densidade 41,15% menor que o do concreto leve C_{A1} . O aumento de resistência dos 14 aos 28 dias foi de 17,94% no C_{A1} , 25% no C_{A2} e 14,86% no C_{A3} .

Por conta da diferença de diâmetro dos dois tipos de agregados utilizados (caroço de açaí e EPS), o mesmo volume aparente adicionado nos três tipos de concreto leves levou a volume de vazios diferentes, o concreto leve C_{EPS} teve menos vazios a serem preenchidos por argamassa, assim sua densidade foi menor que do concreto leve C_{A1} , por conta da quantidade de EPS adicionada a resistência também foi menor.

Quanto a relação entre os concreto leves com caroço de açaí (C_{A1} e C_{A2}), neles utilizou-se a mesma quantidade de agregado, entretanto no concreto leve $CA1$ todos os vazios foram preenchidos por argamassa, o que levou ao aumento da densidade e conseqüentemente resistência a compressão, já no concreto leve C_{A2} a relação agregado e pasta foi de 1:1 levando a utilização de menor volume de pasta cimentícia, sendo a resistência do concreto leve dada prioritariamente pelos caroços de açaí.

4.4. Conclusões parciais

A absorção de água dos caroços de açaí com tratamento AP e AR foi em torno de 25%, reduzindo em 36,3% a absorção de água em relação ao caroço de açaí A0. Os concretos leves moldados com caroço de açaí A0 apresentaram expansão, inchamento e fissuras, efeito da grande absorção de água pelo caroço de açaí sem tratamento. Os s leves com açaí AR e AP apresentaram um melhor comportamento, já nos concretos leves saturados não houve inchamento nem aparecimento de fissuras durante o período de cura.

Somente o tratamento com parafina (AP e AR) ou resina reduziu a absorção de água do caroço de açaí, mas não alterou muito o comportamento mecânico dos concretos leves com adição destes, já os tratamentos com saturação do caroço (AS, APS e ARS) melhoraram o comportamento mecânico. Os concretos leves com açaí sem saturação apresentaram uma resistência entre 2,14MPa a 2,78MPa, enquanto nos concretos leves com o açaí saturado essa resistência foi entre 5,23MPa a 7,59MPa. Dentre os concretos leves com caroço de açaí saturado o AS foi o que obteve melhor resistência além disso maior facilidade de tratamento.

A densidade do concreto leve C_{A1} foi $1,75\text{g/cm}^3$, do C_{EPS} , foi de $1,29\text{g/cm}^3$ e do C_{A2} foi de $1,03\text{g/cm}^3$. Quanto a resistência a compressão em 28, ela variou em média entre 0,53 a $6,77\text{MPa}$. Quanto maior a densidade do concreto leve, maior foi a resistência a compressão, sendo a resistência a 28 dias do C_{EPS} 45,19% menor que a do C_{A1} e a resistência do C_{A2} 92,17% menor que do C_{A1} .

Observou-se que a densidade e a diferença de diâmetro dos dois tipos de agregados utilizados (caroço de açai e EPS), influenciou na quantidade de argamassa a ser utilizada e consequentemente na resistência mecânica.

Capítulo 5. Caracterização mecânica de painel sanduíche com núcleo de concreto leve com caroço de açaí e faces com fibras de Juta.

5.1 Introdução

Com o desenvolvimento do setor da Construção Civil e a importância do desenvolvimento sustentável para a sociedade, o emprego de matéria-prima a partir de materiais alternativos, reciclados e/ou recursos renováveis, tem se tornado necessário e benéfico. A utilização desses materiais alternativos leva a uma diminuição da exploração de recursos naturais, redução da geração de resíduos sólidos em grandes cidades e uma construção mais limpa.

Além disso, atualmente a indústria da Construção Civil exige facilidade e rapidez na construção. Deste modo uma das principais áreas de pesquisa atuais se volta para a produção dos painéis sanduíche, os quais podem agregar a utilização de materiais alternativos (SHAMS et.al, 2014).

O painel sanduíche geralmente consiste de duas faces unidas por um núcleo e atua como um único sistema, utilizando usualmente adesivos para esta união. A utilização de painéis sanduíche é uma área de pesquisa frequentemente estudada no campo da Engenharia Civil, por se ter um material rígido leve e utilizando novos materiais (SHAMS et.al, 2014). A utilização dos painéis sanduíche iniciou em 1940, e seu desenvolvimento para aplicação estrutural iniciou depois de 1970 (SHERWOOD, 1970).

Para a produção das faces do painel sanduíche utilizou-se as fibras vegetais como reforço. Dentre as pesquisas realizadas com fibras vegetais podemos citar as de Toledo Filho (2000), Silva et.al (2004), Silva et.al (2005), Roma et.al (2008), Ramírez et.al (2010), Spinacé (2011), Silva, et.al (2018) e Ballesteros, et.al (2019).

Especificamente trabalhou-se com as fibras de juta, onde Oliveira (2013) destacou algumas propriedades físico-químicas deste tipo de fibra, obtendo resistência a tração de 405,33 MPa

e módulo de Elasticidade de 29,70 GPa, sendo estas constituídas de 66,33% de celulose, 24,83% de hemicelulose e 10,49% de lignina.

De acordo com os estudos de Levy Neto e Pardini (2006), Monteiro et.al (2012), Souza et.al (2013) e Sanjay et.al (2015) como vantagens da utilização das fibras podemos citar: baixa densidade, alta deformabilidade e baixo custo, quando comparadas com materiais similares. Melo Filho (2012), Fidelis (2013) e Oliveira (2017) citaram como desvantagens a baixa durabilidade no meio alcalino, grande variação de suas propriedades intrínsecas e grande absorção de água.

Como principal fator limitante do uso dessa fibra em matrizes cimentícia temos a sua deterioração precoce, por conta dos produtos de hidratação do cimento. Estudos mostram que isso pode ser contornado com a utilização de adições pozolânicas, que além de impedir a deterioração da fibra elevam a resistência mecânica do produto final (Toledo Filho *et al.*, 2003; Lima, 2004, Melo Filho, 2012, Oliveira, 2013).

Para a produção do núcleo utilizou-se como agregado o caroço de açaí. A sua produção no Brasil, em 2017, foi de 1,33 toneladas, representando um acréscimo de 22,2% em relação à obtida em 2016, além disso tem uma participação de 1,7% no valor total da produção nacional agrícola (IBGE, 2017). Os caroços de açaí da espécie *Euterpe precatória Mart.*, possuem diâmetro médio de 11,5 mm, e conforme Pereira (2013), o caroço representa 80% do fruto que após o beneficiamento da polpa, transforma-se em resíduo orgânico comumente utilizado para queima em forneiras com baixo valor agregado, apesar de ser uma fonte de material lignocelulósico renovável, este resíduo representa um grave problema ambiental (ROGEZ, 2000), além disso este material tem a vantagem de ter uma baixa densidade, em torno de 0,55 g/cm³, podendo ser utilizado no concreto leve.

Nesta pesquisa produziu-se painéis sanduíche compostos por faces de compósitos cimentícios com reforço de fibras de juta e núcleo de concreto leve com caroço de açaí. Objetivando caracterizar mecanicamente os painéis sanduíche e os laminados utilizados nas faces, estes compósitos foram ensaiados quanto a flexão em quatro pontos para analisar seu comportamento e analisar a resistência e a viabilidade de produção dos painéis com os materiais em estudo.

5.2. Materiais e Procedimentos experimentais

5.2.1 Materiais

Os caroços de açaí, oriundos da palmeira *Euterpe precatória* Mart. (açaizeiro) foram coletados em feiras livres na Zona Leste de Manaus – AM. Estes caroços passaram por um pré-processamento (Artigo A) e posteriormente por um processo de tratamento para impermeabilização AS (Artigo A). Os caroços de açaí tem uma massa específica de $0,55\text{g/cm}^3$.

Utilizou-se o Cimento Portland CP IV-32 RS, que tem massa específica de $2,67\text{g/cm}^3$, areia quartzosa de rio com massa específica de $2,67\text{g/cm}^3$ (utilizou-se areia com dimensão menor que $1,18\text{mm}$) além da água proveniente da rede de abastecimento.

As fibras de juta foram obtidas em empresa da cidade de Manacapuru, localizada a aproximadamente 84 Km da cidade de Manaus – AM, as fibras foram beneficiadas na zona rural e na indústria local, utilizou-se o processo de limpeza adotado por Melo Filho (2012), onde as fibras foram “lavadas” e “penteadas”.

Para a produção dos compósitos utilizou-se o mesmo volume de fibras que Gloria (2015), as fibras passaram pelo processo de limpeza e foram cortadas com comprimento de 40 mm para serem distribuídas em 3 camadas totalizando um volume total de 6% . Utilizou-se como aditivo o superplastificante MCPowerFlow 1108 com teor de sólidos de 42,16 % e massa específica de $1,08\text{ g/cm}^3$ (dados obtidos pelo fabricante).

Para a produção da metacaulinita, utilizou-se caulim coletado em jazida na ponte sobre o Igarapé Cabeça Branca, Km 45 BR 174 (coordenadas: -2,5859; -60,0328), próximo a Presidente Figueiredo. O material foi secado e destorroado, após esta etapa, a fim de alcançar a granulometria ideal para produção de material pozolânico, foi passado na peneira $150\ \mu\text{m}$ (nº 100).

O material passado nas peneiras foi calcinado em forno resistivo mufla de marca QUIMIS Q318M com capacidade de 1200°C , a 750°C com taxa de aquecimento de $15^\circ\text{C}/\text{min}$, durante 2 horas e resfriado dentro do forno durante 2 horas. O tempo de calcinação

influencia diretamente no processo de transformação dos minerais em metacaulinita e na produção de sílica amorfa. A temperatura e o tempo de calcinação foram definidos com base nos estudos de Shafiq, *et al.* (2015); Mallik, *et al.* (2015) e Campos (2016).

Na Tabela 13 tem-se a composição química em porcentagem de alguns dos principais componentes da Metacaulinita obtida. Observa-se que a soma dos óxidos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ é maior que 70%, o que pela NBR 12.653/2015 é uma das exigências químicas para que a pozolana seja de classe N.

Tabela 13 - Análises químicas (FRX) das amostras de Metacaulinita

COMPONENTE	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Mn (%)	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	T (%)
JUTA	40,836	55,40	1,768	0,228	0,02	0,746	0,207	0,665

Na figura 29 é apresentado os difratogramas de raio X (DRX) do caulim e metacaulinita obtidos. No caulim observa-se a presença de minerais dos grupos caulinita de formulação química Al₂(Si₂O₅)(OH₄) (ref: 01-080-0886) e de quartzo, de formulação química SiO₂ (ref: 01-078-1253). Na metacaulinita os minerais encontrados foram o quartzo (ref: 01-085-0457) e fórmula SiO₂.

Nota-se que as fases anteriormente correspondentes ao mineral caulinita desapareceram após a calcinação, como pode ser visto em relação ao pico de maior intensidade em 12,50°. Observa-se também a queda de intensidade de alguns picos de quartzo, correspondentes aos ângulos de 26° e 40°.

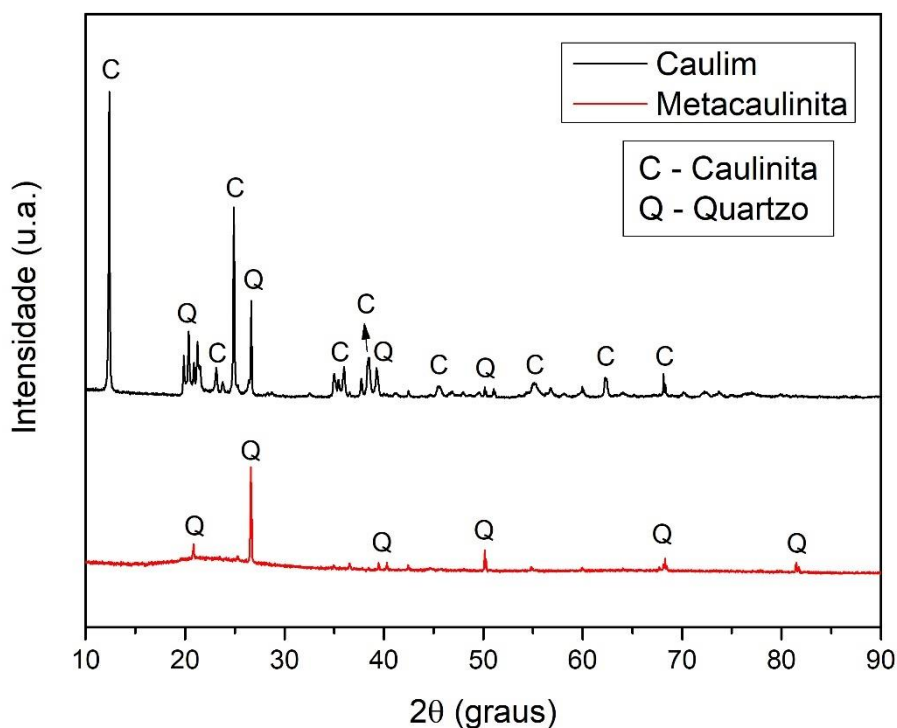


Figura 29- Difratoograma de Raio X do caulim e metacaulinita

5.2.2 Dosagem do concreto utilizado no painel sanduíche

A dosagem do concreto do núcleo foi realizada conforme o compósito C_{A2} apresentado no Artigo A, utilizou-se um traço de pasta 1:0,4, a relação entre caroço de açaí e pasta foi de 1:1. Apesar deste concreto apresentar pouca resistência a compressão, foi o que obteve menor densidade, em torno de 1g/cm^3 , podendo assim ser utilizado como o núcleo de um painel sanduíche.

Para as faces do painel sanduíche, utilizou-se como materiais o cimento Portland, areia quartzosa de rio, água, metacaulinita e fibra de juta, na proporção de metacaulinita proposta pela matriz produzida por Melo Filho (2012), onde utilizou-se 50% de cimento portland e 50% de metacaulinita. Utilizou-se fator água/material cimentante de 0,4, adição de 1,0% de superplastificante e 6% em volume de fibras distribuídas em três camadas.

5.2.3 Produção do painel sanduíche

A produção dos painéis sanduíches foi realizada juntando os métodos de produção do núcleo (matriz cimentícia com adição de caroços de açaí) e das faces (placas cimentícias com reforço de fibras de juta). Foram moldados painéis sanduíche com comprimento de 20cm, largura de 6cm e espessura de 10cm, seguindo a metodologia de Gloria (2015). Como adesivo utilizou-se uma pasta de cimento com traço 1:0,4.

A sequência de produção do compósito é mostrada na Figura 30, tendo a seguinte sequência:

- 1) Produção de matriz cimentícia para a face de espessura de 1cm, com adição de 6% de fibras de juta alinhadas unidirecionalmente em 3 camadas;
- 2) Núcleo de matriz cimentícia com adição de caroço de açaí com espessura de 8cm;
- 3) Produção da segunda face idêntica a primeira.

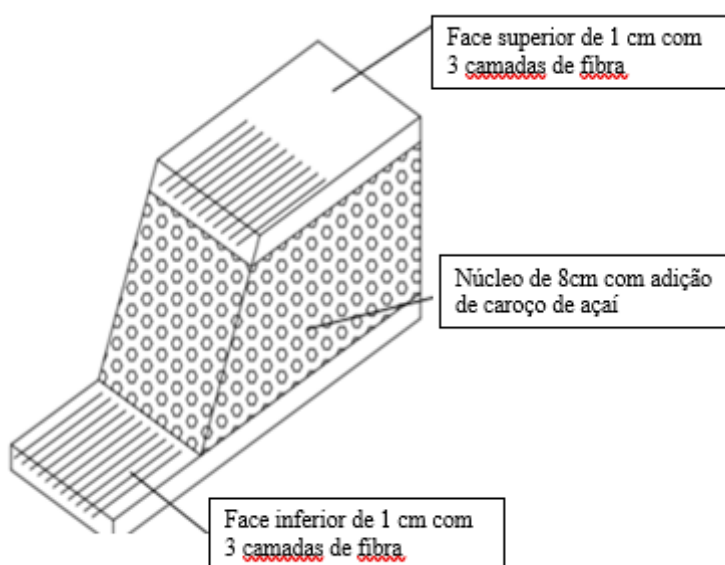


Figura 30- Sequência de produção do painel sanduíche

5.2.4 Propriedades mecânicas

Os ensaios de flexão dos laminados que compõem as faces do painel sanduíche foram realizados na Máquina Universal de Ensaio Osvaldo Fiziola, modelo AME – 5 kN, com célula de carga de 5 kN, mostrada na Figura 31. Nesse ensaio foram realizadas três repetições para cada tipo de reforço fibroso. A velocidade de ensaio utilizada foi de 0,5 mm/min, padronizada para todos os ensaios de flexão.

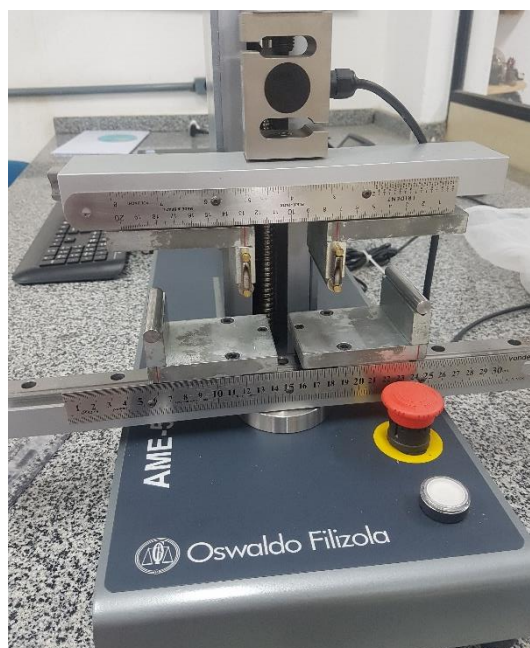


Figura 31- Máquina de Ensaio AME- 5 kN

Para as faces do painel sanduíche, o corpo de prova utilizado foi prismático, com dimensões 80x400x10mm, distância entre pontos de carga de 100mm, e distância entre os vãos de 300mm.

Os resultados foram expressos em tensão de tração na flexão, onde foi utilizada a equação (1) para o cálculo da mesma. Calculou-se os índices de tenacidade pelo método da RILEM (1984), calculando-se a área sob a curva do gráfico carga x deslocamento até a carga de ruptura e dividindo-se o valor encontrado pela área da seção transversal.

Os resultados foram expressos em tensão de tração na flexão, de acordo com a equação (1)

$$\sigma = \frac{6.M}{b.d^2} \quad (1)$$

O índice de tenacidade foi calculado pelo método da RILEM (1984), utilizando-se a área sob a curva do gráfico carga x deslocamento até a 40% da carga de ruptura e dividindo-se o valor encontrado pela área da seção transversal, como mostrado na equação (2).

$$T = \frac{A}{b.d} \quad (2)$$

onde:

σ = tensão de tração na flexão;

M = momento de inércia;

T = energia absorvida;

b = largura da amostra;

d = altura da amostra e

A = área do gráfico carga x deflexão

Para o cálculo do módulo de elasticidade dos compósitos através dos resultados dos ensaios de flexão, foi adotada a fórmula conhecida da resistência dos materiais. O módulo de elasticidade é obtido da equação de flecha no vão central em função da força aplicada, como mostrado na Equação (3).

$$E = \frac{23 \times L^3}{1296 \times I} \times \left(\frac{P}{\delta}\right) \quad (3)$$

Onde P/δ é o coeficiente angular da reta obtida da curva P x δ (Carga x flecha) no trecho elástico.

O ensaio de flexão em quatro pontos do painel sanduíche foi realizado de acordo com a

Norma ASTM C393-11. O objetivo deste ensaio é avaliar a resistência ao cisalhamento do núcleo e resistência a tração da face inferior do painel. O corpo de prova foi prismático com as seguintes dimensões 200x60x100mm. A distância entre os apoios foi de 180mm e entre os pontos de aplicação de carga foi 60mm.

A resistência ao cisalhamento do núcleo e a resistência a tração da face inferior do painel foram calculadas pelas equações:

$$\tau = \frac{P_{max}.S}{(d+c).b} \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{P_{max}.S}{4.t.(d+c).b} \quad (5)$$

Onde:

σ = Resistencia das faces (MPa);

τ = Resistencia ao cisalhamento do núcleo (MPa);

P max = Forca máxima (N);

S= distância entre os apoios (mm);

b = largura do sanduíche (mm);

d = espessura do sanduíche (mm);

c = espessura do núcleo (mm);

t = espessura de uma face (mm)

5.3 Resultados e discussões

5.3.1 Flexão em quatro pontos dos laminados

As curvas tensão x deflexão dos laminados reforçadas com fibras longas de juta são divididas em cinco regiões (A, B, C, D e E), como mostrado na Figura 32.

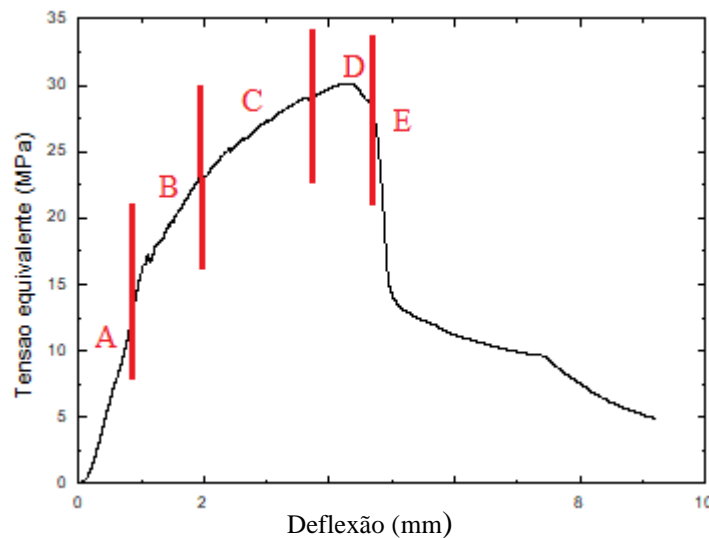


Figura 32- Curva típica de Tensão x Deflexão do compósito

Na região A temos o trecho onde o material apresenta um comportamento linear elástico, antes do surgimento da primeira fissura. Nesta região obtém-se a tensão (σ_{1f}) e deflexão de primeira fissura (d_{1f}) e o módulo de elasticidade do compósito (E_{comp}).

Na região B tem-se como característica a formação de múltiplas fissuras com redução do módulo de elasticidade do compósito. Na região C ocorre a abertura progressiva das fissuras e em alguns casos a formação de outras fissuras. Nesta região obtém-se a rigidez aparente de endurecimento (E_{pf}), dominada pelo reforço fibroso.

A região D inicia quando a curva apresenta um desvio e termina quando a capacidade do compósito (σ_u) é atingida, nesta região temos a máxima tensão pós-fissuração. Por último, na região E ocorre o decaimento da curva e aumento das aberturas das fissuras, até que uma delas abra predominantemente até o final do ensaio

O gráfico da curva Tensão x Deflexão de três compósitos ensaiados é mostrado na Figura 33, os valores das propriedades obtidas em cada região estudada e seu respectivo desvio-padrão é mostrado na Tabela 14.

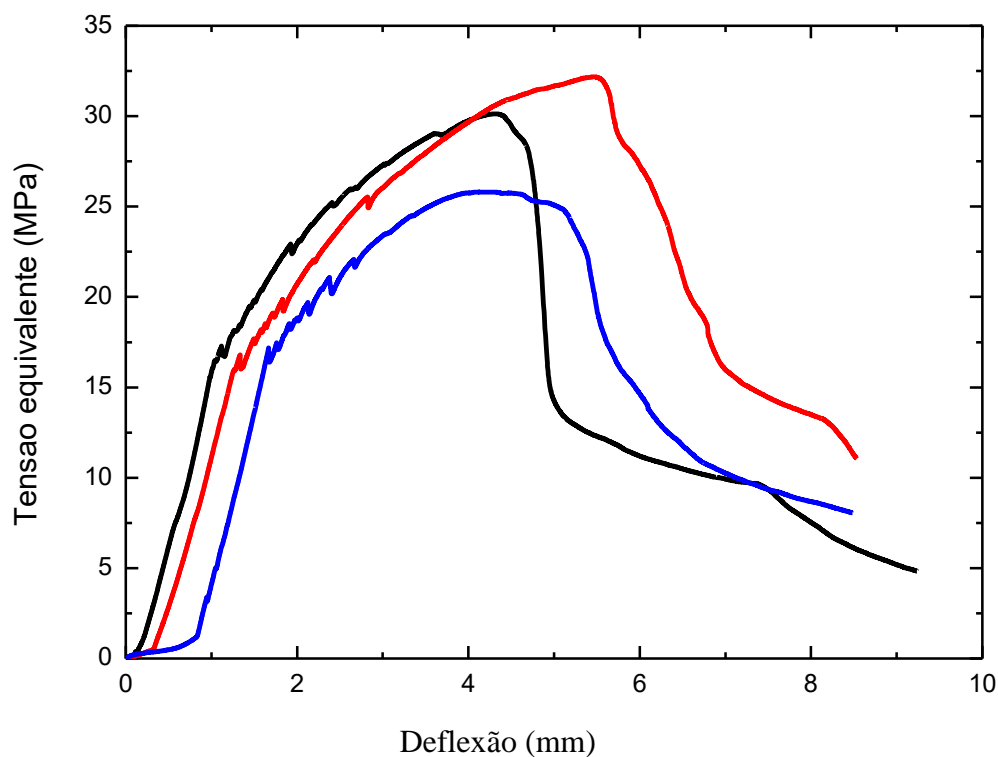


Figura 33- Curvas Tensão x Deflexão do compósito

Tabela 14- Propriedades Mecânicas obtidas a partir das Curvas Tensão x Deflexão dos compósitos

Propriedades	σ_{1f} (MPa)	d_{1f} (mm)	E_{comp} (GPa)	σ_u (MPa)	d_u (mm)	T_u (KJ/m ²)
A 01	15,560	0,980	0,347	30,120	4,310	4,810
A 02	11,230	1,560	1,430	26,440	6,260	4,980
A 03	15,870	1,270	3,005	32,170	5,270	6,010
A 04	17,050	1,690	1,956	25,800	4,350	4,440
A 05	12,720	1,850	1,340	24,090	5,330	4,050
Média	14,486	1,470	1,616	27,724	5,104	4,858
Desvio-Padrão	2,417	0,347	0,970	3,319	0,808	0,737

A partir dos resultados obtidos, tem-se que a tensão de ruptura média do compósito é de 27,7MPa, com uma deflexão média de 5,104mm, a tenacidade do compósito ficou em torno de 4,858 KJ/m².

Observa-se que após a fissuração dos compósitos houve um acréscimo médio de 91,3% da tensão de primeira fissura, por conta da utilização de somente 6% de fibras de juta. À medida que ocorrem as fissurações do compósito, ocorre esse aumento, causado pelo reforço das fibras longas de juta. No trabalho de Oliveira (2013) no qual se utilizou reforço de 8% de fibras de juta, esse acréscimo teve uma média de 400%, nos trabalhos de Gloria (2015) e Melo Filho (2005), no qual utilizou-se fibra de sisal, observou-se ganho de resistência de 200%.

Na região B do compósito a curva apresenta vários picos referentes à formação de fissuras, assim como ocorreu no compósito reforçado com juta no trabalho de Oliveira (2013). Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 34 onde esse trecho foi ampliado.

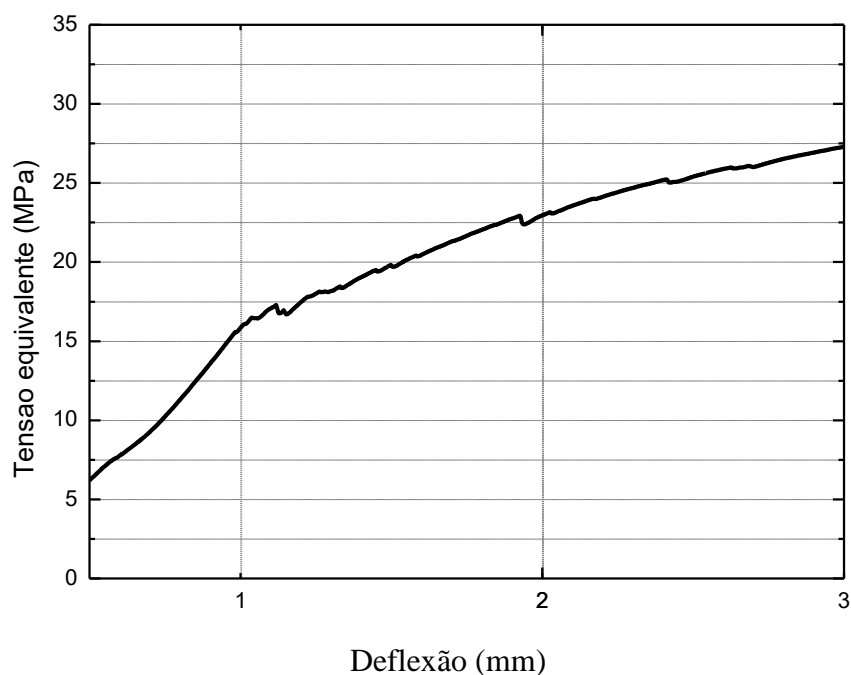


Figura 34- Região B da Curva Tensão x Deflexão do compósito

5.3.2 Flexão em quatro pontos do painel sanduíche

De acordo com Gloria (2015), no decorrer do ensaio de flexão em quatro pontos de um painel sanduíche, a face superior trabalha em compressão, a inferior sobre tração e o núcleo a cisalhamento. As amostras PS1, PS2 e PS3 do painel sanduíche, que tem em média uma densidade de $1,56\text{g/cm}^3$ romperam por flexão da face inferior do painel sanduíche.

De acordo com o gráfico Força x Deflexão Figura 35 e de acordo com a Tabela 15, observa-se um ganho entre 65% a 95% de resistência a partir da primeira fissura até a carga máxima de ruptura. Após a Carga máxima ser atingida houve a ruptura total da face inferior do painel sanduíche.

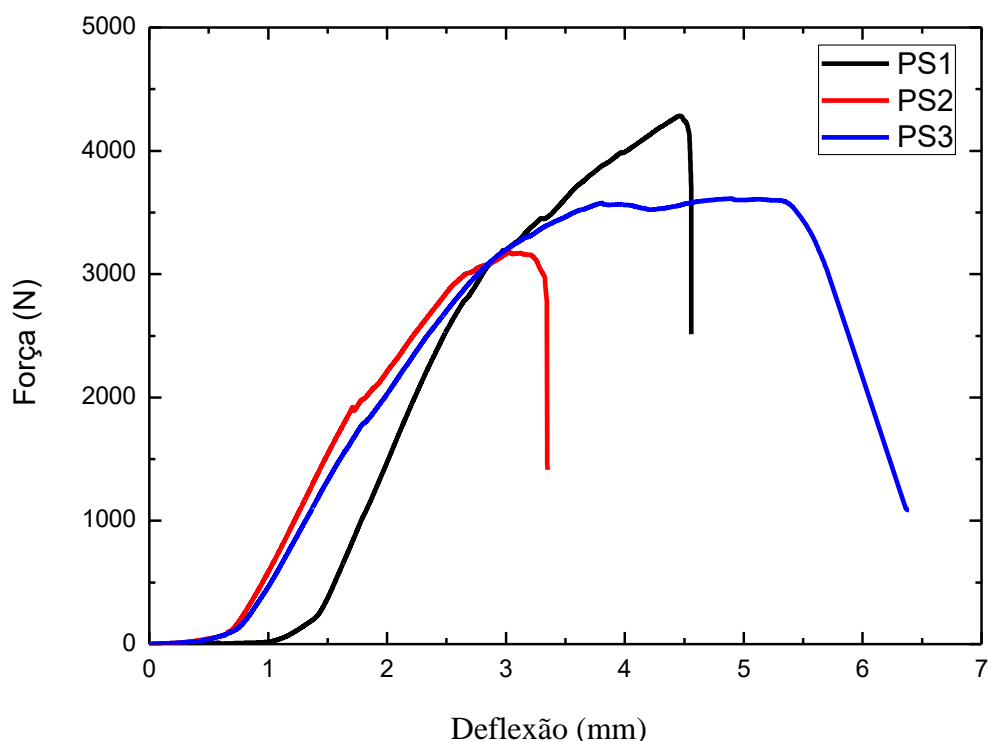


Figura 35 -Gráfico Força x Deflexão painel sanduíche

O painel apresentou um comportamento linear até em média 56,11% do pico de força. Após a fissuração, ele teve uma ampla redução de carga, o que ocorreu quando houve o rompimento total da face. Este comportamento foi o mesmo que ocorreu nos painéis sanduíche PS-2,5 estudados por Gloria (2015), os quais também romperam por flexão da face inferior do painel.

A Tabela 15 apresenta para três amostras estudadas do painel sanduíche, os seguintes dados: Carga de primeira fissura (F_f), deflexão na primeira fissura (d_f), carga máxima ($F_{m\acute{a}x}$), deflexão central na carga máxima (mm), a tensão máxima no laminado inferior ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e a tensão máxima de cisalhamento no núcleo ($\tau_{m\acute{a}x}$).

Tabela 15- Propriedades Mecânicas do painel sanduíche

Painéis	F_f (KN)	d_f (mm)	$F_{m\acute{a}x}$ (KN)	$d_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (Mpa)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (Mpa)
PS 01	1,701	1,808	3,606	5,1358	2,601	0,293
PS 02	1,920	1,625	3,170	3,159	1,811	0,257
PS 03	2,568	2,567	4,237	4,277	2,421	0,344

Observa-se que após a primeira fissura houve um ganho de força em torno de 65% até se chegar na Força máxima., a deflexão variou em média de 2 mm na primeira fissura para 4,19mm na Força máxima, assim houve um aumento de 109,5% na deflexão.

Nota-se que a Carga máxima de ruptura foi em média 3,671 KN, com deflexão máxima entre 1,8 a 2,6mm. A tensão de cisalhamento máxima do núcleo foi em média 0,298 MPa, e é de 7 a 8 vezes menor que a tensão máxima nas faces, isso ocorreu, pois, o painel sanduíche rompeu por flexão das faces, assim não se chegou a tensão máxima de cisalhamento que o núcleo poderia resistir.

5.3.3 Modo de Fratura

O modo de fratura após os ensaios de flexão do para o os laminados e o painel sanduíche são mostrados nas Figuras 36 e 37. O laminado reforçado com fibras de juta apresentou 12 fissuras bem espaçadas, paralelas e transversais, o que coincide com o que observou Oliveira (2013). A face inferior do painel sanduíche apresentou 9 fissuras que se abriram na região central da face inferior do compósito.

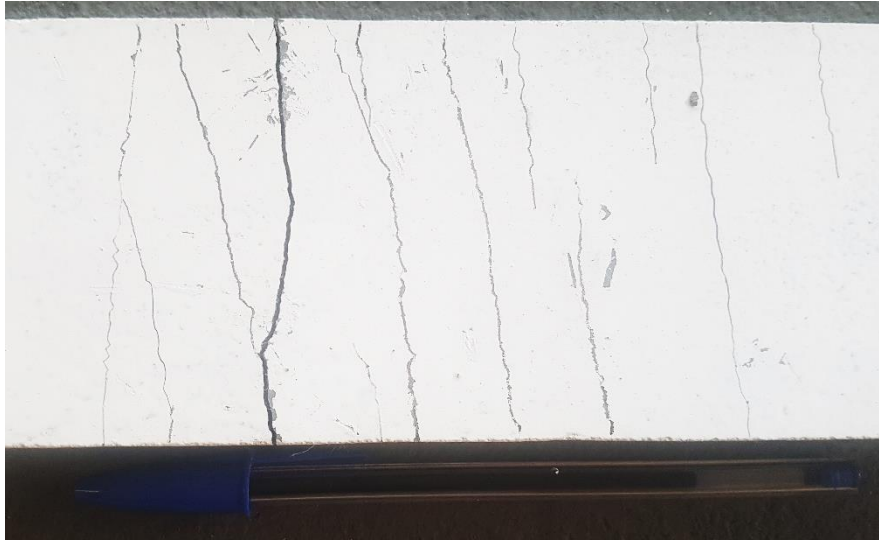


Figura 36- Modo de ruptura laminado após o ensaio de flexão



Figura 37- Modo de ruptura do painel sanduíche após o ensaio de flexão

No núcleo do painel sanduíche observou-se fissuras que demonstram que o núcleo trabalhou sobre cisalhamento (Figura 38), além dessas ocorreram várias fissuras na pasta que envolveu os caroços de açaí (Figura 39).



Figura 38- Fissura de cisalhamento no núcleo









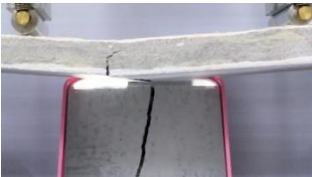



Figura 39- Fissura de cisalhamento no núcleo

Na Tabela 16 tem-se a sequência de abertura de fissuras dos laminados reforçados com fibras de juta e do painel sanduíche. Observou-se que a deflexão do laminado na ruptura chegou em torno de 8,5mm, enquanto a do painel sanduíche foi em torno 3,159mm, cerca de 62,8% menor que do laminado. Isso ocorreu por conta da espessura do painel, que é 10 vezes maior que a dos laminados.

Além disso, ao chegar na tensão de ruptura a face inferior do painel rompeu totalmente, enquanto nos laminados houve um aumento de deformação com diminuição contínua da tensão. Podemos observar também um problema de aderência entre as faces e o núcleo no decorrer do ensaio, causado provavelmente pelo traço de pasta utilizado.

Tabela 16- Sequência de abertura de fissuras do compósito durante o ensaio de flexão

Laminado	Def. Laminado	Painel sanduíche	Def. painel
	0		0
	2,5 mm		1 mm
	5 mm		1,75 mm
	7,5 mm		2,25 mm
	8,5 mm		3,159 mm

5.4 Conclusões parciais

Produziu-se painéis sanduíche compostos por faces de compósitos cimentícios com reforço de fibras de juta e núcleo de concreto leve com caroço de açai e realizou-se ensaio de flexão em quatro pontos no painel e nos laminados que compõem a face.

Os laminados reforçados com 6% em volume fibras de juta longas alinhadas em três camadas apresentaram uma Tensão de ruptura de 27,7MPa, com uma deflexão média de 5,104 mm e a tenacidade em torno 4,858 KJ/m² e houve um acréscimo médio de 91,3% de resistência até se chegar a tensão de ruptura. A maioria das fissuras que ocorreram nos laminados na região B da curva Tensão x Deflexão do compósito levou ao aparecimento de 12 fissuras, a maioria transversais e paralelas bem espaçadas, o que coincide com o que observou Oliveira (2013) em seus resultados com o compósito reforçado com juta.

Os painéis sanduíche tiveram uma densidade em torno de 1,56g/cm³ e romperam por flexão da face inferior, na qual se observou várias fissuras paralelas, assim como houve pequenas fissuras no núcleo. Observou-se um ganho entre 65% a 95% de resistência a partir da primeira fissura até a carga máxima de ruptura e aumento de 109,5% na deflexão. A Carga máxima de ruptura foi em média 3,671KN, com deflexão máxima entre 1,8 a 2,6mm e a tensão de cisalhamento máxima do núcleo foi em média 0,298 MPa.

As propriedades apresentadas comprovam vantagens do sistema do painel sanduíche em geral, e abre caminho para seu uso como material portante ou não, observando-se a durabilidade.

Capítulo 6. Considerações finais

6.1. Conclusões finais

Analisou-se a influência de tratamento no caroço de açaí para utilização em concreto leve. O tratamento somente com parafina ou resina (AP e AR) reduziu a em torno de 36,3% absorção de água do caroço de açaí. Os compósitos com açaí sem saturação apresentaram uma resistência a compressão em 28 dias entre 2,14MPa a 2,78MPa, enquanto que nos compósitos com o açaí saturado essa resistência foi entre 5,23MPa a 7,59MPa. Dentre os tratamentos realizados, o tratamento AS foi o que obteve melhor resistência e além disso maior facilidade de utilização.

Produziu-se compósitos com adição de açaí ou EPS como agregado (C_{A1} , C_{A2} e C_{EPS}). A densidade foi 1,03 g/cm³ para o C_{A2} , 1,29 g/cm³ para o C_{EPS} e 1,75g/cm³ para o C_{A1} . A resistência a compressão a 28 dias foi em média 0,53MPa para o C_{A2} , 3,71MPa para o C_{EPS} e 6,77MPa para o C_{A1} . Observou-se que o aumento de densidade do compósito elevou a resistência a compressão, o compósito CA2 obteve a menor densidade podendo ser utilizado como núcleo em painel sanduíche,

Produziu-se laminado com matriz cimentícia e adição de 6% de fibras de juta, o laminado apresentou uma Tensão de ruptura na flexão em quatro pontos de 27,7 MPa, com uma deflexão média de 5,104 mm e a tenacidade em torno 4,858 KJ/m², observou-se comportamento de múltiplas fissuras, com o aparecimento de fissuras transversais e paralelas bem espaçadas.

Desenvolveu-se um painel sanduíche com núcleo de concreto leve com caroço de açaí e faces com laminados reforçados com fibras de juta, a densidade média obtida foi de 1,56 g/cm³, realizou-se o ensaio de flexão em quatro pontos no compósito. A ruptura ocorreu flexão das faces e a carga média de ruptura foi de 3,761 KN, com deformação máxima entre 1,8 a 2,6mm e tensão de cisalhamento máxima do núcleo de 0,298 MPa. As propriedades apresentadas comprovaram vantagens do sistema do painel sanduíche em geral como material portante ou não na Construção Civil.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para as futuras pesquisas da linha dos painéis sanduíches contendo compósitos cimentícios com adição de caroço de açaí, as sugestões são:

- Estudar o comportamento físico mecânico de compósitos cimentício com adição de caroço de açaí em diferentes porcentagens, para poder projetar as resistências em função da quantidade utilizada.
- Avaliar a durabilidade dos compósitos cimentício com adição de caroço de açaí em condições de envelhecimento natural e envelhecimento acelerado;
- Realizar mais ensaios físicos ou mecânicos como o ensaio de impacto no painel sanduíche;
- Estudar os processos de montagem e junção dos painéis sanduíche;
- Analisar as propriedades de conforto térmico dos painéis sanduíche.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 12653 – **Materiais Pozolânicos – Especificação**. Rio de Janeiro, 2015
- ABNT NBR 5739: **concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2016;
- ABNT NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009
- ABNT NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003
- ABNT NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006
- ABNT NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009
- ABNT NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009;
- ABRAPEX, 2017. Disponível em: <http://www.abrapex.com.br/61Recicla.html>. Acesso em 25 set 2017
- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wpcontent/uploads/2018/09/SITE_grappa_p panoramaAbrelpe_ago_v4.pdf. Acesso em: 20 setembro 2018.
- AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. **Uso de materiais alternativos à base e fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira**. In: Seminário Iberoamericano 1997 de materiais Fibrorreforçados, 1., y Reunión Proyecto PIP VIII.5 Cyted, 3., Cali, 1997. Memoriais. Cali, Universidad Del Valle, 1997. P.23-40 (Artículo 03).
- AGUIAR, Alcinea Silva de. **Estudos das propriedades físicas e mecânicas de placas cimentícias reforçadas com fibras longas de malva**. 2016. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

AGUIAR, M.O e MENDONÇA, M.S. **Morfo anatomia da semente de Euterpe Precatória Mart (Palmae)**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 25, nº 1, p.37-42, 2003

AMERICAN STANDARD TEST METHOD. ASTM C393/C393M-11. **Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions**

ANGELIN, A. F. concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 2014. 98p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014. Disponível em Acesso em 01 de fev. 2018.

AWOYERA, P.O.; NDAMBUKI, M.; AKINMUSURU, J. O. A; OMOLE, D. O. **Characterization of ceramic waste aggregate concrete**. Housing and Building National Research Center Journal.14, 282–287. 2018

BABU, K.; BABU, D. S.; **Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates**, Cem. Concr. Composites, vol. 26, 605-611; 2004.

BALLESTEROS, J. E. M, MARMOL, G. FILOMENO, R., RODIER, L., SAVASTANO JR., H., FIORELLI, J. **Synergic effect of fiber and matrix treatments for vegetable fiber reinforced cement of improved performance**. Construction and Building Material, vol 205, pg 52-60, 2019.

BARBOSA, A. M. **Compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos como estratégias eco-alternativas em habitações na amazônia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus - AM, 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção – Novos materiais para a Construção Civil**. 5 ED. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 488 p.

BILBA, K. ARSÈNE, M. A. OUENSANGA, A. **Sugar Cane Bagasse Fibre Reinforced Cement Composites. Part I. Influence of the Botanical Components of Bagasse on the Setting of Bagasse/Cement Composite**. Cement and Concrete Composites, v.25, p. 91-96, 2003.

BRASIL, **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm

CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 817 p.

CAMPOS, W. A. **Placas cimentícias obtidas a partir de argamassa de aluminossilicatos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Manaus, 2016

CASTRO, A. **O extrativismo do açaí no Amazonas**. In: RELATÓRIO de resultados do projeto de pesquisa: extrativismo na Amazônia Central, viabilidade e desenvolvimento. Manaus: INPA-CNPq/ ORSTOM, 1992. p.779-782

CAVALCANTE, Daiana Góes. **Estudo das características física, mecânica e química de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta e malva tratado e adição de materiais pozolânicos**. 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas**. São Paulo, 2014. 111 p. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4>. Acesso em: 19 jun. 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura Mensal de setembro de 2018**. Disponível em file:///C:/Users/cmp_m/Downloads/FibrasZ-ZAnaliseZMensalZ-ZSetembroZ2018%20(1).pdf. Acesso em 20 jan. 2018

COOK, D, J., Expanded polystyrene beads as lightweight **aggregate for concrete**. Precast Concr 1973;4:691–3.

COPPOLA, B. COURARD, L. MICHEL, F. INCARNATO, L. DI MAIO, L. **Investigation on the use of foamed plastic waste as natural aggregates replacement in lightweight mortar**, Composites Part B: Engineering, vol. 99, pp. 75-83, 2016.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2016. 485 f. Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2016.

CORDEIRO, L. de N. P. C.; PAES, I. de N. L.; SOUZA, P. S. L.; AZEVEDO, C. M. **Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, nV. 1, p. 45-55, jan./mar. 2019.

COSTA, A.S.G., ROCHA, K.B., BRITO, S.C.S., ANDRADE, S.M.C. **Ensaio de tração e absorção de água em compósitos de resina poliéster e fibra de açaí .** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2014

CSFN – Câmara Setorial de Fibras Naturais. **Panorama das fibras naturais no Brasil e cenários futuros.** Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/fibras-naturais/2017/17a-ro/panorama_atual_fibras_ivo-naves2.pdf. Acesso em 20 jan. 2018

DAVIES, J.M., **Lightweight Sandwich Construction**, ed. J.M. Davies. 2001: Cib Working Commission

DEMIREL, B. **Optimization of the composite brick composed of expanded polystyrene and pumice blocks.** Construction and Building Materials 40. 306–313, 2013

DEVI, P. L. e PALANIAPPAN S., **A case study on life cycle energy use of residential building in southern India,** *Energy Build.*, vol. 80, pp. 247–259, 2014.

DIAB, **Sandwich concept** - DIAB Sandwich Handbook, 2003

DISSANAYAKE D.M.K.W., JAYASINGHE, C. JAYASINGHE M.T.R., **A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels.** Energy and Buildings 2016.

DITTENBER, D. B., GANGARAO, H. V. S., 2012, **Critical Review of Recent Publications on Use of Natural Composites in Infrastructure**, Composites: Part A, Article in Press.

FARIA, R. F. J. **Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS.** Dissertação de Mestrado. Universidade da Madeira. Funchal, Madeira. 2014

FERNANDES, G. D, **Desenvolvimento técnico e avaliação de custo e benefício do sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas pet, moldados no local.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás. Goiania, 2016.

FERNANDO, P.L.N, JAYASINGHE, M. T. R, JAYASINGHE, C. **Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels.** Construction and Building Materials 139 (2017) 45–51

FERREIRA, M. R. S. **Estudo de painéis sanduíches de poliéster reforçado com fibras vegetais para aplicação como forro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2013.

FIBRA. **Construção Civil representa 6,2% do PIB do Brasil.** Disponível em <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html>. Acesso em: 28 agosto 2017.

FIDELIS, M. E. A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

GLORIA, M. Y. R. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíche de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e contendo argila calcinada e areia artificial.** 2005. 292p. Tese (Doutorado) Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro – PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

HOLLAWAY, L. C. **Polymer composites in construction: a brief history.** Engineering and Computational Mechanics 162, p. 107-118, 2009.

HUOVILLA, P., ALLA-JUUSELA, M., MELCHERT, L. e POUFFARY, S. **Buildings and climate change: Summary for Decision-Makers.** Paris, 2007.

IBGE, **Produção agrícola Municipal 2017.** Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2017_v44_br_informativo.pdf. Acesso em: 20 maio 2018 .

IMAZON; SEBRAE. **Boas práticas para manejo florestal e agroindustrial – Produtos florestais não madeireiros: Açaí, Andiroba, Babaçu, Castanha-do-Brasil, Copaíba e**

Unha-de-gato. Imazon e Sebrae, Belém, 2010. 66p. Disponível em: <http://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/BoasPraticasManejo.pdf>. Acesso em: 9 mar 2017

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge: Cambridge University Press, 582 p. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012

JAYASINGHE C., FONSEKA W.M.C.D.J., BEYGUNAWARDHENE Y.M. A, **Load bearing properties of composite masonry constructed with recycled building demolition waste and cement stabilized rammed earth**, Constr. Build. Mater. 102 , 471–477, 2016.

JOHN, M. J., ANANDJIWAL, R. D., 2008, **Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites.** Polymer Composites, pp. 187-207.

KAN, A., DEMIRBOĞA, R. **A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates**, J. Mater. Process. Technol. 209 (2009) 2994– 3000,

KAYA. A. KAR, F., **Properties of concrete containing waste expanded polystyrene and natural resin**, Constr. Build. Mater. 105 (2016) 572–578, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.177>.

KNAUF, **Características técnicas.** Disponível em: <https://www.knauf-isopor.com.br/produtos/servicos-em-inovacao/eps/>. Acesso em: 22 abril de 2018

KUA, H. W.; KAMATH, S. **An attributional and consequential life cycle assessment of substituting concrete with bricks.** Journal of Cleaner Production, vol 81, 2014.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A.; FOSSATI, M.; BATISTA, J. O. **Sustentabilidade nas edificações: Contexto internacional e algumas referências brasileiras na área.** Disponível em: http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_conte_xto_internacional_e_alguas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edifica

coes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf. Acesso em: 20 jan. 2018

LEVY NETO, F., PARDINI, L. C., **Compósitos estruturais - ciência e tecnologia**, São Paulo, Edgard Blucher, 2006.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

LIU, N. CHEN, B. *Construction and Building Materials* 68 (2014) 227–232 **Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete**

LUZ, A. B., CAMPOS, A.R., CARVALHO, E.A. e BERTOLINO, L.C., **Caulim**. In **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. Ed. Luz, A. B. e LINS, F.A.F. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2005.

MALLIK, A., BARIK, A. K., & PAL, B. **Comparative studies on physico-mechanical properties of composite materials of low-density polyethylene and raw/calcined kaolin**. *Journal of Asian Ceramic Societies*, pp. 212-216, 2015

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução à polímeros**. 2 ed. Revista e Ampliada. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

MARQUES, M.G.S. **Caracterização das Propriedades da Fibra Vegetal de Arumã para Aplicação como Reforço à Matriz Cimentícia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2009.

MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J, D, C. **Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí**; revista brasileira de fruticultura; vol. 31; 1150-1157; dezembro de 2009

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **concreto: estrutura, propriedades e materiais**, 3 ed. São Paulo: IBRACOM, 2008.

MELO FILHO, J. A. **Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal**. 2005.124 f Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2005.

MELO FILHO, J. A., **Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

MELO FILHO, J.A., SILVA, F.A., TOLEDO FILHO, R.D., FAIRBAIRN, E.M.R., 2007, **“Effect of Reinforcement Ratio and Molding Pressure on the Mechanical Performance of Short Sisal FRC”**, In: 4th International Conference on Science and Technology of Composite Materials, Rio de Janeiro – RJ

MENDES, R. **Amianto e Política de Saúde Pública no Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, 23(7):1-2, jul., Editorial, 2007.

MESQUITA, A. L., **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (euterpe oleracea mart.) Da amazônia para produção de ecopainel de partículas homogêneas de média densidade**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará. 2013.

MICHAUX, M., NELSON, E. B., VIDICK, B., **Chemistry and characterization of Portland cement**. In: Nelson, E. B. (ed), *Well cementing*, Houston: Schlumberger Educational Services. 1990

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T., 2005, **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites** Taylor & Francis Group, 1 edição, pp.896.

MONTEIRO, S. N., CALADO, V., RODRIGUES, R. J. S., *et al.*, **Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites – An overview**, Materials Science & Engineering A, v. 557, pp. 17-28, 2012.

NASCIMENTO, J.S, COURI, S., ANTONIASSI, R., FREITAS, S. P., **Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com betano**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 30, n. 2, p. 498-502, junho 2008

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5a ed. Porto Alegre: Bookman, 2016

OCHI, S., 2008, **Mechanical Properties of Kenaf Fibers and Kenaf/PLA Composites**, Mechanics of Materials, v. 40, pp. 446–452.

ODLER, I. **Hydration, setting and hardening of Portland cement**. 4 Ed. New York, In: Hewlett, P. C. (ed), Lea's chemistry of cement and concrete, 1998.

OLIVEIRA, I. R.C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus, 2013.

OLIVEIRA, M. S. **Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras vegetais da amazônia**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus, 2017.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto Estrutural de Pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. 246p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEREIRA, E. N; RODRIGUES JÚNIOR, V. C. **Carvão do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com Hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Moju: Ccim, 2013. 24 p. Disponível em: http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/EnsinoMedio/1Lugar_1671_Edivan_Nascimento_Pereira.pdf.

QUEIROZ, J.A.L.; MELÉM Jr., N.J. **Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.23, n.2, p.460-462, 2001

QUIRINO, M. G. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*)**. Dissertação - Manaus: UFAM, 2010

QUIRINO, M. G. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*)**. Dissertação - Manaus: UFAM, 2010

RAHMAN, S., 2010, “**Jute - A Versatile Natural Fibre: Cultivation, Extraction and Processing**”, in **Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and**

Technical Applications. 1 ed., Wiley Series in Renewable Resources. Edited by JÖRG MÜSSIG.

RAMÍREZ, M.G.L., MUNIZ, G.I.B., SATYANARAYANA, K.G., *et al.*, **Preparation and characterization of biodegradable composites based on Brazilian cassava starch, corn starch and green coconut fibers**, Revista Matéria, v. 15, n. 2, pp. 370-377, 2010.

REBELO, Viviane Siqueira Magalhães. **Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia piassaba) para produção de painéis de partículas de média densidade.** 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

ROCHA, B.F.M, figueiredo, f.b., a, d.a., **Estudo das propriedades físicas e mecânicas do concreto leve com agregados de poliestireno expandido-EPS.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC. 2016

RODRIGUES, F. A. **Estudo da influência de diferentes tratamentos (fibra/matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibra de malva.** Dissertação: Manaus – UFAM, 2015

ROGEZ, H. Açaí: **Preparo, composição e melhoramento da conservação.** Belém: UFPA, 2000.

ROMA Jr L. C, MARTELLO LS, SAVASTANO Jr H. **Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers.** Constr Build Mater 2008; 22:668–74

ROSSIGNOLO, João Adriano. concreto leve Estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. 1 ed. São Paulo: Pini, 2009.

SALES, A.T.C. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu.** 2006. 273p – Tese (Doutorado na area de Concentração: Estruturas) – Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC). Rio de Janeiro, 2006.

SANJAY, M.R., ARPITHA, G.R., YOGESHA, B., **Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: a review**, Materials today: proceedings, v. 2, pp. 2959-2967, 2015.

SARTORI, A. P. **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Sanduíche para Isolamento Térmico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2009.

SAVASTANO Jr, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 152p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000

SAVASTANO Jr., H., JOHN, V. M., AGOPYAN, V., GATTO, E. G. **Developing waste cellulose fiber reinforced composites with clinker free cement**. Proceedings of International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies NOCMAT3, Hanoi, 12-14 março 2002.

SEBRAE, **Produção nacional de açaí**. Brasília, 2015. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64153228c3c444bcd587b6b501fa076/\\$File/5827.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64153228c3c444bcd587b6b501fa076/$File/5827.pdf). Acesso em 2 fev 2017.

SETUBAL. **Forros**. Disponível em: www.setubal.geradordeprecos.info. Acesso em: 05 abril 2017.

SHAFIQ, N., NURUDDIN, M. F., KHAN, S. U., & AYUB, T. **Calcined kaolin as cement replacing material and its use in high strength concrete**. Construction and Building Materials, pp. 313-323, 2015

SHAMS A., HEGGER J., HORSTMANN M.. **An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete**. Constr Build Mater 2014;64:451–9.2014

SHERWOOD G.E. **Long-time performance of sandwich panels in forest products laboratory experimental unit**, U.S.D.A. Forest Service Research Paper, FPL 144, 1970

SHHANYAO. **Building materials**. Disponível em: http://www.shhanyao.cn/info2.asp?base_id=3. Acesso em: 20 junho de 2018.

SHI, W; MIAO, L.; LUO, J.; WANG, J.; CHEN, Y.; **Durability of modified expanded polystyrene concrete after dynamic cyclic loading; Shock and vibration**; vol. 2016; 1-7; 2016.

SHORT, A.; KINNIBURGH, W. “**Lightweight Concrete**”, 3rd Ed. Ing.: Appl. Sci. Publishers (1978).

SILVA FA, GHAVAMI K, d’Almeida JRM. **Bamboo-Wollastonite hybrid cementitious composites: toughness evaluation**. In: Joint ASME/ASCE/SES conference on mechanics and materials, Baton Rouge; 2005.

SILVA FA, GHAVAMI K, d’Almeida JRM. **Toughness of cementitious composites reinforced by randomly distributed sisal pulps**. In: Eleventh international conference on composites/nano engineering (ICCE – 11), Hilton-Head Island; 2004.

SILVA, E.J.; VELASCO, F.G.; LUZARDO. **Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade**. Revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

SILVA, F. A. **Durabilidade e propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, M. S. **Influência da Mistura de Agregados Graúdos, Resíduo de Corte de Mármore e Granito e Metacaulim e Aditivos no Desempenho Mecânico do concreto**. Rev. Cienc. Exatas Tecnol., v. 12, n. 12, p. 2-8, 2017

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Ciência e Engenharia de Materiais/USP, São Carlos, 2003.

SINGH, B., GUPTA, M., TARANNUM, H., RANDHAWA, A., 2011, **Natural Fiber-Based Composite Building Materials**, in Cellulose Fibers: Bio and Nano Polymer Composites – Green Chemistry and Technology. Springer-Verlag. Edited by KALIA, S., KAITH, B. S., KAUR, I.

SNIC – Sindicato Nacional das Indústrias do Cimento. **Produção de cimentos por regiões e Estados em 2017**. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1537281236.pdf>. Acesso em: 24 agosto 2018.

SOUZA, L.K., MOTTA, L.A.C., SILVA, M.R., **Mechanical properties of ramie reinforced castor oil polyurethane composites**, In: 1st International Conference on Natural Fibers, pp. 1-5, Guimarães, Portugal, June 2013.

SOUZA, R. J. Q. **Validação tecnológica do caroço do fruto do açaí como material alternativo na pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação - Manaus: UFAM, 2013.

SOUZA, R. J. Q. **Validação tecnológica do caroço do fruto do açaí como material alternativo na pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação - Manaus: UFAM, 2013.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M. A. **Poliolefinas Reforçadas com Fibras Vegetais Curtas: Sisal vs. Curauá**. Polímeros, Campinas, v. 21, n. 3, p.168-174, jan. 2011.

STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H. **Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com poliestireno expandido (isopor)**; periódico cerâmica; vol. 60; 310-315; junho de 2014.

TANG, W. C. LO, Y. NADEEM, A. **Mechanical and drying shrinkage properties of structural graded polystyrene aggregate concrete**, Cem. Concr. Composites 30 (2008) 403- 409.

THOMAS, S., PAUL, S. A., POTHAN, L. A., DEEPA, B., 2011, **Natural Fibres: Structure, Properties and Applications**, in Cellulose Fibers: Bio and Nano Polymer Composites – Green Chemistry and Technology. Springer-Verlag. Edited by KALIA, S., KAITH, B. S., KAUR, I.

TOLEDO FILHO RD, SCRIVENER K, ENGLAND GL, GHAVAMI K. **Durability of alkali- sensivite sisal and coconut fibers in cement mortar composites**. Cem Concr Compos 2000;2(22):127–43

TOLÊDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados com fibras naturais: caracterização experimental**. Tese de doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1997.

TONOLI, G.H.D. **Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2006.

VALENÇA, P. M. A. e FROTA, C. A. **Misturas Areia-Asfalto com fibra do açaí e resíduo da construção civil para a cidade de Manaus.** &C Amazônia Ano IX, Número 21, pág 50, 2011.

VINSON, J. R. **The behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials.** 1 ed. Lancaster: Technomic Publishing Company, INC, 1999.

WYPYCH, F., SATYANARAYANA, K. G., **Clay Surfaces – Fundamentals and applications,** Interface Science and Technology, V. 1., pp. 566, 2004.