

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

**COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE PAINÉIS SANDUICHES COM  
FACES EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM  
TECIDO DE JUTA COM QUANTIDADES DIFERENTES DE  
CAMADAS**

RAFAELA SANTOS VIANA

CRUZ DAS ALMAS- BA  
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**

**COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE PAINÉIS SANDUICHES COM  
FACES EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM  
TECIDO DE JUTA COM QUANTIDADES DIFERENTES DE  
CAMADAS**

RAFAELA SANTOS VIANA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal do  
Recôncavo da Bahia como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Engenheiro Luciano de Santana Rocha  
Coorientador: Prof. M. Sc. Adilson Brito de Arruda Filho

CRUZ DAS ALMAS – BA  
2020

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais com carinho Izalda Ribeiro e Raimundo Viana e minha irmã Thaila Viana por todas as coisas não visíveis, o amor e a crença de vocês me sustenta.

RAFAELA SANTOS VIANA

COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE PAINÉIS SANDUICHES COM FACES EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDO DE JUTA COM QUANTIDADE DIFERENTES DE CAMADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Cruz das Almas, 25 de novembro de 2020.

Banca Examinadora:

Profº Engenheiro Luciano de Santana Rocha



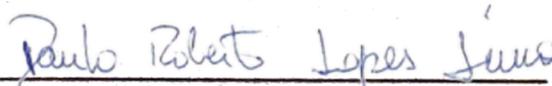
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Profº M.Sc. Adilson Brito de Arruda Filho



Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Profº Dr. Paulo Roberto Lopes Lima



Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Profº Dr. Ricardo Fernandes Carvalho



Universidade Federal da Bahia – UFBA

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por renovar minhas forças e me fazer enxergar que posso ir muito além e permitir chegar até aqui.

Aos meus pais Raimundo e Izalda e minha irmã Thaila, por acreditarem que eu posso ir mais além e por serem o alicerce e o impulso que eu preciso sempre, toda minha gratidão por toda vida.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, seu corpo docente, direção e administração pelas oportunidades durante toda a graduação.

A Universidade Estadual de Feira de Santana e ao professor Dr. Paulo Roberto Lopes Lima pela oportunidade de utilizar os laboratórios.

Ao Professor Adilson Arruda por todo conhecimento, apoio e incentivo durante esta jornada.

Ao meu Orientador Professor Luciano de Santana Rocha por ser uma ponte firme nesse grupo de pesquisa.

Aos integrantes do grupo de pesquisa científica, em especial a imensa ajuda de Victor Gomes e Mariana Nunes durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

A equipe do laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Feira de Santana principalmente a Marta de Jesus Sampaio, Igor Ferreira de Almeida e Izabela Pinho Maciel obrigada pela colaboração.

A Francisco Antonio da Silva Neto e ao professor Dr. Mário Sérgio de Souza Almeida por permitir a utilização do Laboratório de Pavimentação durante a fase inicial desta pesquisa.

A Henrique Junqueira, que caminhou lado a lado comigo, meu companheiro em todas as horas, incentivador e impulsionador.

A Yndiane Dourado e Laysa Café pela cumplicidade e amizade ao longo dos anos, sempre trazendo luz e alegria para minha vida.

A todos os meus familiares principalmente a minha avó Nilzete Luz por estarem sempre torcendo pelo meu crescimento pessoal e acadêmico.

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar o efeito da variação do número de camadas de reforço no comportamento a flexão de painéis sanduíches com faces em compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta e núcleo de poliestireno extrudado (XPS). A principal característica de matrizes cimentícias é o seu processo de ruptura frágil, mas com o uso de fibras naturais tem-se potencializado significativamente o desempenho mecânico à flexão. A preferência da utilização de fibras naturais e não as sintéticas deve-se ao fato do custo e produção serem reduzidos. O núcleo em XPS proporciona a redução do peso do painel, aumentar o seu momento de inércia, além de melhorar o isolamento térmico. Para melhorar a aderência e prevenir a delaminação entre o núcleo e a face foram realizadas ranhuras em paralelos no núcleo com espessura e profundidade de dois milímetros espaçadas igualmente em 20 milímetros. Para caracterização do material utilizado, foram realizados ensaios de tração direta nas fibras, fios e nos tecidos nas direções da trama e urdume, após a análise dos dados pode-se inferir que os valores dos ensaios na direção do urdume tiveram um desempenho semelhante em relação aos da trama. Foram produzidos 5 painéis com o mesmo tipo de núcleo variando de 1 a 5 camadas de reforço na face. Os resultados dos ensaios de flexão em quatro pontos mostram que o desempenho do painel sanduíche é diretamente afetado pelo número de camadas de reforço, tendo suas tensões máximas, rigidez e tenacidade evoluindo gradativamente até o painel com quatro camadas de reforço. Já o painel com cinco camadas de reforço teve seu desempenho inferior.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research was to analyze the effect of varying the number of reinforcement layers in the flexural behavior of sandwich panels with cementitious composites reinforced with jute fabric and extruded polystyrene (XPS) core with the configuration of parallel grooves. The main characteristic of cementitious matrices is their fragile rupture process, but the mechanical flexural performance has been significantly enhanced with the use of natural fibers. The preference for natural fibers over synthetic ones is due to the fact that the cost and production are reduced. The XPS core reduces the weight of the panel, increases its moment of inertia, and improves thermal insulation. In order to improve the adhesion and prevent lamination between the core and the face, grooves were made in parallel on the core, with a thickness and depth of two millimeters, equally spaced at 20 millimeters, in the fabrics in the weft and warp directions, after analyzing the data it can be inferred that the values of the tests in the warp direction had a similar performance in relation to those of the weft. 5 panels were produced with the same type of core ranging from 1 to 5 layers of reinforcement on the face. The results of the four-point bending tests show that the performance of the sandwich panel is directly affected by the number of reinforcement layers, with its maximum stresses, stiffness and toughness gradually evolving to the panel with four reinforcement layers. The panel with five layers of reinforcement underperformed.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
<b>2.1 Estrutura dos painéis sanduiches</b> .....	4
<b>2.2 Reforço</b> .....	6
2.2.1 Fibra .....	6
2.2.2 Fios e Tecidos .....	8
<b>2.3 Matriz</b> .....	9
<b>2.4 Compósitos</b> .....	10
<b>2.5 Núcleo</b> .....	11
<b>2.6 Painel Sanduíche</b> .....	12
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	14
<b>3.1 Materiais</b> .....	16
3.1.1 Reforço .....	16
<b>3.2 Método</b> .....	17
3.2.1 Caracterização do Reforço .....	17
3.2.1.1 Fibra.....	17
3.2.1.2 Fios .....	19
3.2.1.3 Tecidos .....	21
3.2.2 Matriz.....	23
3.2.3 Núcleo .....	23
3.2.4 Moldagem das placas e painéis cimentícios reforçados com tecido de juta 25	
<b>3.3. Avaliação do comportamento mecânico dos compósitos</b> .....	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	30
<b>4.1 Ensaio de tração nas fibras</b> .....	30
<b>4.2 Ensaio de tração nos fios</b> .....	31
<b>4.3 Ensaio de Tração nos tecidos</b> .....	33
<b>4.4 Ensaio de flexão em quatro pontos nos compósitos</b> .....	35
<b>4.5 Tenacidade</b> .....	43
<b>4.6 Eficiência</b> .....	45
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	47
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	48

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representação esquemática dos painéis sanduíche .....	4
<b>Figura 2.</b> Seção transversal de um painel sanduíche .....	5
<b>Figura 3.</b> a) Planta de juta durante extração b) Fibra após a extração .....	7
<b>Figura 4.</b> Produtos oriundos da produção de juta .....	8
<b>Figura 5.</b> Produtos oriundos da produção de juta .....	8
<b>Figura 6.</b> Tipos de tecido urdidos .....	9
<b>Figura 7.</b> Fluxograma esquemático do desenvolvimento desta pesquisa.....	15
<b>Figura 8.</b> Tecido utilizado como reforço nesta pesquisa.....	16
<b>Figura 9.</b> Medições das fibras utilizando o software Motic imagens .....	17
<b>Figura 10.</b> Modelo esquemático dos corpos de prova de fibra e corpo de prova confeccionado para ensaio.....	18
<b>Figura 11.</b> Ensaio de tração direta utilizando o texturômetro TA. XT PLUS Texture Analyzer .....	18
<b>Figura 12.</b> Medição dos corpos de prova de fios .....	19
<b>Figura 13.</b> Modelo esquemático dos corpos de prova de fio e corpo de prova confeccionado para ensaio.....	21
<b>Figura 14.</b> Modelo esquemático dos corpos de prova de tecido e corpo de prova confeccionado para ensaio.....	22
<b>Figura 15.</b> Representação gráfica do núcleo utilizado nesta pesquisa.....	24
<b>Figura 16.</b> Materiais utilizados para moldagem dos painéis. ....	25
<b>Figura 17.</b> Processo de moldagem dos compósitos. ....	27
<b>Figura 18.</b> Painéis sendo serrados com máquina de policorte. ....	27
<b>Figura 19.</b> Desenho esquemático do corte dos painéis sanduíche. ....	28
<b>Figura 20.</b> Arranjo esquemático do ensaio de flexão em quatro pontos. ....	29
<b>Figura 21.</b> Ensaio de flexão em quatro pontos na placa, XPS e painel sanduíche.....	29
<b>Figura 22.</b> Curvas Tensão x Deformação Específica do ensaio de tração nas fibras.....	30
<b>Figura 23.</b> Curvas Tensão x Deformação do ensaio de tração nos fios. ....	32
<b>Figura 24.</b> Curvas Tensão x Deformação do ensaio de tração direta nos tecidos. ....	33
<b>Figura 25.</b> Curvas Tensão x Deslocamento das placas na direção da trama e do urdume .....	35
<b>Figura 26.</b> Curva Tensão x Deslocamento no ensaio de flexão em quatro pontos no XPS .....	36
<b>Figura 27.</b> Curva Tensão x Deformação específica no ensaio de flexão em quatro pontos .....	37
<b>Figura 28.</b> Evolução de fissuras no ensaio de flexão em quatro pontos em cada tipo de painel sanduíche.....	38
<b>Figura 29.</b> Contagem de fissuras.....	39
<b>Figura 30.</b> Curvas de Tensão x Deslocamento dos corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos para cada tipo de painel sanduíche. ....	40
<b>Figura 31.</b> Modo de ruptura por cisalhamento do núcleo.....	41

<b>Figura 32.</b> Resultados de tensão crítica e máxima para os painéis sanduíche. .....	42
<b>Figura 33.</b> Resultados de rigidez para os painéis sanduíche. ....	42
<b>Figura 34.</b> Definição dos pontos para o cálculo dos índices de tenacidade proposto pela ASTM C1018 (1992) .....	43
<b>Figura 35.</b> Índices de Tenacidade de acordo com cada configuração de painel sanduíche.....	44
<b>Figura 36.</b> Eficiência do compósito na razão entre tensão máxima média e sua massa unitária. ....	45
<b>Figura 37.</b> Eficiência do compósito na razão entre rigidez média e sua massa unitária.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Classificação das faces dos painéis sanduíche .....	5
<b>Tabela 2.</b> Designação dos Painéis Sanduíche.....	28
<b>Tabela 3.</b> Resultados do ensaio de tração nas fibras de juta.....	31
<b>Tabela 4.</b> Resultados do ensaio de tração nos fios de juta.....	32
<b>Tabela 5.</b> Resultados no ensaio de tração nos tecidos de juta na direção da trama e do urdume. ....	34
<b>Tabela 6.</b> Resultados do ensaio de flexão em quatro pontos nas placas na direção do urdume e da trama. ....	36
<b>Tabela 7.</b> Número e espaçamento das fissuras no ensaio de flexão em quatro pontos.....	39
<b>Tabela 8.</b> Resultados do ensaio de flexão em quatro pontos dos painéis sanduíche.....	40
<b>Tabela 9.</b> Índices de Tenacidade associados aos valores múltiplos de Primeira .....	43
<b>Tabela 10.</b> Índices de Tenacidade.....	44

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

UFRB – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

UEFS – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO

AIRPEX – ASSOCIAÇÃO IBÉRICA DE POLIESTIRENO EXTRUDIDO

EPS - POLIESTIRENO EXPANDIDO

XPS - POLIESTIRENO EXTRUDIDO

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos fibras naturais vêm sendo estudadas no processo de incorporação em matrizes cimentícias. O intuito de reforçar o material com fibras vegetais está relacionado a sustentabilidade, pois quando comparadas as fibras sintéticas, as fibras naturais têm apresentado bons resultados de desempenho mecânico, além de serem oriundas de fontes renováveis, biodegradáveis e possuir custo reduzido.

Segundo Frazão *et al* (2018), fibras vegetais vêm ganhando uma atenção significativa como reforço em materiais compósitos, uma vez que são encontradas em várias formas em países tropicais, podendo ser extraídas das folhas das plantas com custo reduzido e com baixo consumo de energia. O uso destas fibras deve-se ao fato de serem biodegradáveis, renováveis e não apresentar risco à saúde durante sua produção.

Dentre as desvantagens do uso de fibras naturais como reforços em materiais compósitos observadas na literatura, destacam-se a qualidade e eficiência da produção que está associado as condições naturais, a própria heterogeneidade da planta, bem como o comportamento hidrofílico que leva a absorção de água pela fibra (FIDELIS, 2014; TOMCZAK, 2010).

Na busca por propriedades mecânicas potencializadas o uso de compósitos tem se tornado uma alternativa viável, pois materiais compósitos são originados da combinação de dois ou mais materiais de classes diferentes que com suas propriedades individuais conseguem criar um material novo com características aprimoradas (CALLISTER, 2008).

Os compósitos sanduíches são materiais constituídos por uma estrutura de várias camadas, dentre elas: duas lâminas finas, denominadas de faces, separadas por uma camada de um material de baixa densidade, onde geralmente é menos rígido e menos resistente, chamado de núcleo (CALDAS, 2014).

A união das faces com o núcleo otimiza as funções de cada um: As faces fornecem o aspecto do painel, a resistência, a rigidez, o núcleo por sua vez confere a resistência ao cisalhamento e impacto, baixa densidade, isolamento

térmico e acústico. Nos compósitos cimentícios, a matriz possui uma baixa resistência a tração e uma baixa capacidade de absorção de energia após primeira fissura. Enquanto a matriz confere a coesão do compósito e a transferência de tensões, as fibras possuem a função de aumentar a resistência à tração e a ductilidade (GLORIA, 2015).

Juta é o nome dado a fibra cuja extração é realizada do caule das plantas pertencentes ao gênero *Corchorus*, da família *Tiliaceae*. A fibra da juta tem um uso amplo em embalagens em todo o mundo, revestimentos de pavimentos, materiais de isolamento, proteção do solo, artesanato, entre outros (FIDELIS, 2014).

Segundo Rahman (2010) a produção de juta se concentra em Bangladesh na Índia, Nepal, China e Tailândia, que juntos correspondem a mais de 95% da produção mundial. A Índia é o maior produtor e consumidor de juta do mundo, Bangladesh é o segundo maior produtor e principal exportador da fibra no mundo.

No Brasil a produção de juta se concentra ao longo do Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém, em regiões de várzea (região onde ocorre inundações devido a variação sazonal anual no regime de chuvas), o plantio de juta se tornou uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica (FIDELIS 2014; PIRES, 2009).

Nesta pesquisa foi utilizado como reforço o tecido bidirecional produzido com fibra de juta. Com o objetivo de produzir compósitos cimentícios têxteis com fibra vegetal. Optou-se por juta, visto que é um tecido facilmente encontrado em casas comerciais.

#### Objetivo Geral

- Analisar o comportamento à flexão de painéis sanduíche com faces reforçadas com tecido de juta.

Objetivos específicos:

- Investigar o comportamento mecânico de fibras e fios de juta;
- Investigar a influência da orientação (trama e urdume) no desempenho mecânico dos tecidos de juta;
- Avaliar a influência da orientação do reforço (trama e urdume) no desempenho mecânico dos compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta;
- Desenvolver o método de moldagem adequado para painéis sanduíche com faces em compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta;
- Investigar o efeito do número de camadas de reforço na face no comportamento à flexão;
- Analisar a eficiência dos painéis sanduíche em relação a sua rigidez e tensão máxima em função da sua massa.

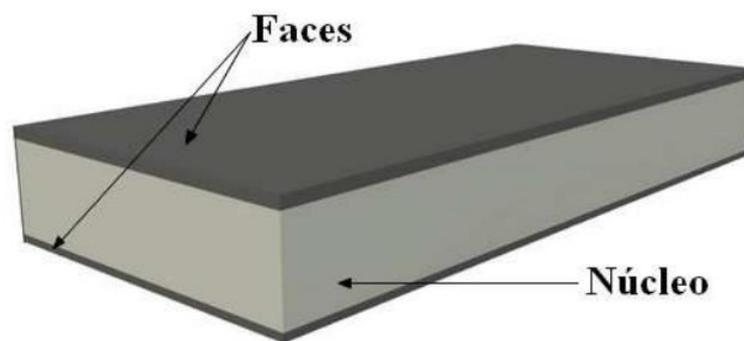
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Estrutura dos painéis sanduíches

- Painel sanduíche

O painel sanduíche é um material compósito, formado por duas faces finas de material resistente, separadas por uma camada mais espessa de material (núcleo) com menor densidade. A combinação de faces e do núcleo permite otimizar as funções de cada um individualmente. As faces compõem o aspecto do painel, a resistência e a rigidez e o núcleo fornecem resistência ao cisalhamento (GLORIA, 2015).

Na Figura 1, observa-se a representação esquemática de painéis sanduíche.



**Figura 1.** Representação esquemática dos painéis sanduíche  
Fonte: Gloria (2015).

- Faces

Normalmente as espessuras das faces são finas em sua maioria são compostas por materiais mais rígidos e mais resistentes. O material componente das faces podem ser: madeira, alumínio, chapa de aço inoxidável, concreto, argamassa, entre outros, e devem apresentar estanqueidade ao vento, à água e vapor de água, resistência à flexão, à corrosão e ao fogo (GLORIA, 2015).

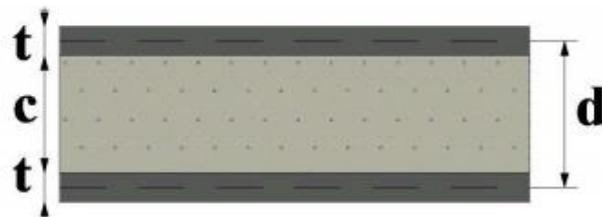
Segundo Allen (1969) as faces das estruturas tipo sanduíche são classificadas de acordo com a espessura, baseado nas seguintes relações, como disposto na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação das faces dos painéis sanduíche

Faces muito finas	$\frac{d}{t} > 100$
Faces finas	$100 > \frac{d}{t} > 5,77$
Faces grossas	$\frac{d}{t} < 5,77$

Fonte: Allen (1969).

A Figura 2 mostra a seção transversal de um painel sanduíche.



**Figura 2.** Seção transversal de um painel sanduíche  
Fonte: Gloria (2015).

Onde:

$d$ : a distância entre os eixos das faces;

$t$ : a espessura das faces;

$c$ : a espessura do núcleo.

- Núcleo

Quanto ao núcleo, em geral possui uma espessura maior e uma baixa densidade. O objetivo de uma espessura maior é aumentar a inércia do painel, sem um aumento expressivo de massa e volume de recursos. O conjunto das faces com o núcleo permitem o aprimoramento das funcionalidades de cada um (GLORIA, 2015).

## 2.2 Reforço

### 2.2.1 Fibra

A função das fibras em materiais compósitos é de aprimorar as propriedades mecânicas, principalmente a ductilidade, no estágio pós-fissuração. Bem como constituir um aumento significativo na resistência do compósito à tração (GLORIA, 2015). Dentre os benefícios do uso de fibras naturais são a natureza não abrasiva, a biodegradabilidade, baixo consumo de energia para produção (ALMEIDA, 2012).

As formas de obtenção das fibras naturais podem ser de diversas partes de uma determinada planta, como caule, folha, sementes ou frutos. As fibras oriundas do caule, são formadas por feixes de fibras, cada um contendo fibrocélulas individuais ou filamentos, as fibras de juta se enquadram nesse tipo. Entre as fibras originárias do caule são mais amplamente aceitas como as melhores candidatas para serem utilizadas como reforços de compósitos devidos às suas boas propriedades mecânicas (GLORIA 2015; ALMEIDA, 2012).

Filamentos de juta são extraídos do caule da planta *Corchorus capsularis* por uma combinação das seguintes etapas: corte, maceração, trituração, secagem, embalagem e classificação (FERREIRA, 2016; FIDELIS, 2019). A maceração é referida ao processo de imersão das fibras em água, a fim de facilitar a separação da fibra da casca. A composição química da fibra de juta é de aproximadamente 72% de celulose, 12,8% de hemicelulose e 8,1% de lignina (FIDELIS, 2019).

Juta é uma fibra vegetal resistente, parecida com o barbante, uma erva lenhosa, pode alcançar alturas variáveis entre 3 a 4 metros, e seu talo tem a espessura de aproximadamente 20 milímetros. Tem época de plantio variando de acordo com o clima, entre agosto e janeiro, pode ser plantada nas calhas dos rios, na Figura 3 observa-se a planta (PIRES, 2009).



a)



b)

**Figura 3.** a) Planta de juta durante extração b) Fibra após a extração

Fonte: [www.revistagloborural.globo.com/Revista](http://www.revistagloborural.globo.com/Revista)

Segundo Pires 2009, a produção da juta tem aproximadamente cinco dias de duração e não utiliza nenhuma adição de produto químico. O processo de produção ocorre com a remoção dos talos/caules, depois a limpeza das hastes, que são reunidas em feixes e colocados em água, numa etapa que chama-se de afogamento ou maceração. Seguidamente as fibras são facilmente desprendidas da casca e lavadas. As fibras são lavadas novamente e logo dispostas em varais de secagem. Depois desses procedimentos são encaminhadas para beneficiamento e processamento, onde são produzidos bobina ou tecidos.

Devido as altas temperaturas das regiões nas quais ocorre o cultivo da juta, entre Manaus e Santárem, em regiões de várzea (região onde ocorre inundações devido a variação sazonal anual no regime de chuvas) favorece a fermentação, deste modo a casca da planta é removida sem dificuldade e a fibra é separada da parte lenhosa da haste (CAVALCANTI, 2006).

No Brasil o maior fabricante de produtos de juta das Américas é a empresa Castanhal Companhia Têxtil, e tem o emprego da juta em diversas utilidades como: para o agronegócio - com a produção de sacaria de juta para diversas commodities agrícolas; para moda - com fios e telas de juta que são utilizados para confecção e design; artesanato - com os mais diversos produtos de juta; automobilístico - as telas e fios são componentes nesta indústria, pois devido a sua resistência e sua maleabilidade além de ser usado na construção civil como proteção de piso e isolamento acústico de alta resistência. A Figura 4 e a Figura 5, mostra alguns dos produtos do processo de produção da juta.



a)

b)

**Figura 4.** Produtos oriundos da produção de juta

Fonte: Castanhal Companhia têxtil.



a)

b)

**Figura 5.** Produtos oriundos da produção de juta

Fonte: Castanhal Companhia têxtil.

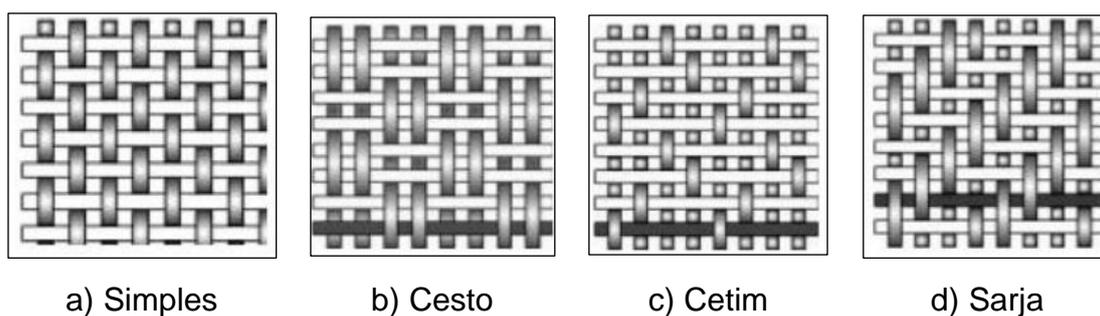
A produtividade estimada de agricultura familiar de juta/malva para safra de verão de 2020/2021 no local do Baixo Solimões – Manacapuru no estado do Amazonas é de aproximadamente de 1.800 kg/ha segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB.

### 2.2.2 Fios e Tecidos

Fibras têxteis alinhadas e unidas por torção, resultam num material mais compacto denominado de fio. Já os tecidos, são a composição de fios reunidos por forças de contato e pelo intertravamento obtido nos diversos métodos de fabricação. Os tecidos urdidos e tramados são produzidos pela intercalação de fios em duas direções: o urdume, que são os fios longitudinais e a trama composta por fios transversais (CARVALHO, 2005).

Segundo Caldas (2014), as características da torção dos fios variam as propriedades mecânicas finais dos fios e são especificadas pela quantidade de torções dadas pela fibra por unidade de comprimento (tpm). Fios poucos torcidos resultam num material mais maleável enquanto fios produzidos com muitas voltas por unidade de comprimento resultam num material de resistência maior, sendo que o excesso de voltas por metro pode gerar a diminuição da resistência.

As estruturas de tecidos divergem pelo modo como os fios são combinados. Em tecelagem, o urdume ou urdira é o conjunto de fios dispostos longitudinalmente através dos quais a trama é tecida. Em geral, a eficiência do reforço leva em conta apenas os fios na direção longitudinal (na direção do carregamento), e os fios perpendiculares são tratados como não-estruturais, com a função de apenas manter os fios longitudinais no lugar durante a produção do compósito (FIDELIS, 2014). A Figura 6, mostra tecido simples, o cesto e cetim e sarja, sendo o simples o mais comum.



**Figura 6.** Tipos de tecido urdidos  
Fonte: John e Thomas (2008).

### 2.3 Matriz

Materiais compósitos são classificados quanto ao tipo de reforço empregado, e quanto ao tipo de matriz que os constituem. A fase matriz pode ser constituída de diferentes materiais, como matriz polimérica, matriz cerâmica e matriz metálica (CALLISTER, 2008).

Segundo Rambo (2016), matrizes cimentícias utilizadas na produção de compósitos têxteis devem atender exigências especiais em relação à reologia, resistência e boa interação com o reforço fibroso.

Em geral, nos compósitos cimentícios as matrizes têm baixa resistência à tração, e baixa capacidade de absorção de energia após a fratura. Enquanto a matriz assegura a coesão do compósito e a transferência de tensões, as fibras têm o papel de aumentar a resistência à tração, a ductilidade e limitar a fissuração de primeiras idades (GLORIA, 2015).

A fase matriz de um material compósito é a que confere a coesão do conjunto e envolve a fase reforço. A fase matriz possui algumas funções como unir as fibras, atuar como meio em que a uma tensão será transmitida e distribuída. Para matrizes frágeis o reforço assume a função de atuar como ponte do material fissurado, absorvendo energia após fissuração, ou seja, aumentando a tenacidade do material, reduzindo a propagação de fissuras, costurando a matriz e aumentando sua ductilidade (BRANDÃO, 2015).

Atingir uma durabilidade adequada é importante para garantir o sucesso da utilização de fibras vegetais na produção de compósitos na construção civil. O maior entrave é a sua fragilidade ao longo do tempo devido ao ataque alcalino da matriz na mineralização das fibras (ARRUDA FILHO, 2015). Segundo Toledo Filho (1997), a matriz sofre influência da adesão entre a fibra e a matriz. Ele observou melhorias na aderência fibra-matriz com substituição parcial de cimento por microssílica e escória, esta substituição conferiram ao compósito aumento na carga máxima no ensaio de *pullout* (ensaio de arrancamento que determina a adesão da fibra-matriz).

Segundo Ferreira *et al* (2012) afim de minimizar estes efeitos negativos, podem ser realizados tratamento nas fibras, como ciclo de molhagens e secagem (denominado de hornificação), que resulta em uma menor variação dimensional da fibra, redução na capacidade de absorção de água, aumento da resistência a tração e capacidade de deformação.

## **2.4 Compósitos**

Compósito consiste em qualquer material constituído de dois ou mais componentes com propriedades físico-químicas diferentes que por sua combinação produzem um novo material com algumas características

aprimoradas (ASKELAND, 2015). Um compósito fibroso segundo Magniont (2010), é um material constituído por um conjunto de fibras resistentes que são acrescentadas a uma matriz, em geral cerâmica que garante coesão ao compósito.

De acordo com Lima (2004), nos materiais compósitos, as tensões são resistidas por uma ação conjugada, onde parte da força é resistida pela matriz e a outra parte resistida pelas fibras. A transmissão de forças entre a fibra e a matriz é obtida pela aderência da fibra-matriz. Fidelis (2019), aponta que o comportamento mecânico dos compósitos é aprimorado pela seção transversal irregular da fibra.

Compósitos cimentícios com reforço em fibras naturais são uma solução técnica inovadora, todavia as fibras caracterizam-se por uma microestrutura complexa e de heterogeneidade significativa, que influenciam sua interação com matrizes cimentícias, cuja utilização requer mais avanços no estado atual do conhecimento (FERREIRA, 2018).

## **2.5 Núcleo**

De acordo Arbaoui *et al.* (2015), o núcleo deve fornecer rigidez à flexão e cisalhamento fora do plano e resistência à compressão. O desempenho estrutural dos painéis sanduíche depende não apenas das propriedades das faces, mas também do núcleo, da interface que une o núcleo às faces e das dimensões geométricas dos componentes.

O núcleo utilizado nesta pesquisa foi o poliestireno extrudado – XPS. Segundo a Associação Ibérica de Poliestireno Extrudado – AIPEX, o poliestireno extrudado é uma espuma rígida, isolante, de carácter termoplástico e de estrutura celular fechada. Devido a suas características técnicas fornece aos elementos construtivos onde são empregues notáveis vantagens. A estrutura celular totalmente fechada do poliestireno extrudado proporciona elevada rigidez dada a homogeneidade do material, dentre as propriedades do XPS as de maior relevância são: isolamento térmico, baixa absorção de água e elevada resistência mecânica.

De acordo com AIPEX o processo de fabricação do poliestireno extrudado é compreendido das seguintes fases: extrusão, expansão, estabilização e mecanização. Primeiro com a extrusão oriunda da resina de poliestireno em forma de grão, introduz-se na extrusora com outros aditivos, unindo os materiais até a formação de um fluido viscoso, seguidamente é aplicado o agente expensor sob condições controladas de temperatura e pressão onde ocorre a expansão da espuma, por fim a placa formada é cortada do tamanho desejado, onde são dispostas para repouso para estabilização das medidas das placas.

A placa Poliestireno Extrudado (XPS), quando comparada a placa Poliestireno Expandido (EPS), fornece maior resistência à compressão e menor absorção de água. Portanto, é preferível para isolar telhados, perímetros, fachadas. Devido ao seu baixo peso, a placa XPS também é usada como substrato em componentes compósitos (WINTERLING, 2011).

## **2.6 Painel Sanduíche**

Segundo Frazão *et al.* (2018) o seguimento de painéis sanduíche pré-fabricados de concreto teve aumento significativo no setor da construção civil, em função do efeito estrutural e térmico, onde a eficiência pode ser alcançada com esta tecnologia. Por meio da conformação de painéis sanduíche com camadas externas mais finas, rígidas e dúcteis de concreto, obtêm -se painéis mais leves que podem vir a constituir sistemas do ponto de vista estrutural, térmico e acústico, tanto para novas construções como para reabilitação de construções.

Devido as suas características após a inserção do núcleo conseqüentemente contribuindo para aumento da rigidez em flexão, alta resistência ao impacto e possuir um peso leve, baixa condutividade térmica e acústica, estruturas sanduíche tem sido mais utilizadas em relação as soluções convencionais (ARBAOUI, 2015).

Alguns autores estudaram o comportamento de estruturas sanduíche com compósitos cimentícios. Dentre eles GLÓRIA (2015) analisou painéis sanduíche em ensaios de flexão em quatro pontos, foi feito um estudo progressivo para

determinar o traço cimento/serragem, e essa etapa permitiu escolher dois traços, que compõem o núcleo dos painéis sanduíche. Em sua pesquisa observou-se que os resultados obtidos confirmam que quanto mais resistente o núcleo, maior será a resistência do painel e maior a solicitação das faces.

Frazão *et al.* (2018) pesquisou o desenvolvimento de painéis sanduíche combinando compósitos de fibra-cimento de sisal e concreto leve reforçado com fibras. A influência da fibra de sisal foi estudada de duas maneiras diferentes, sisal com fibra curta no comprimento de 50 mm distribuídas aleatoriamente na matriz e fibra de sisal longa alinhada unidirecional no comprimento de 700 mm. Foi observado nos resultados que as fibras de sisal longas foram mais eficientes em termos de fornecer ao painel uma capacidade de flexão, as fibras longas garantiram um bom comportamento de endurecimento por deflexão seguido pela múltipla fissuração, enquanto as fibras curtas de sisal promoveram uma resposta de amolecimento após a fase de fissuração.

CALDAS (2014) analisou a estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo, foi utilizado núcleo espuma de polietileno tereftalato – PET, com 12 mm de espessura, densidade de 80 kg/m<sup>3</sup> sem nenhuma ranhura, o autor observou que através da infusão a vácuo foi possível obter um compósito com volume de reforço acima de 30%, outro resultado foi a homogeneidade das placas conformadas benefício da infusão a vácuo.

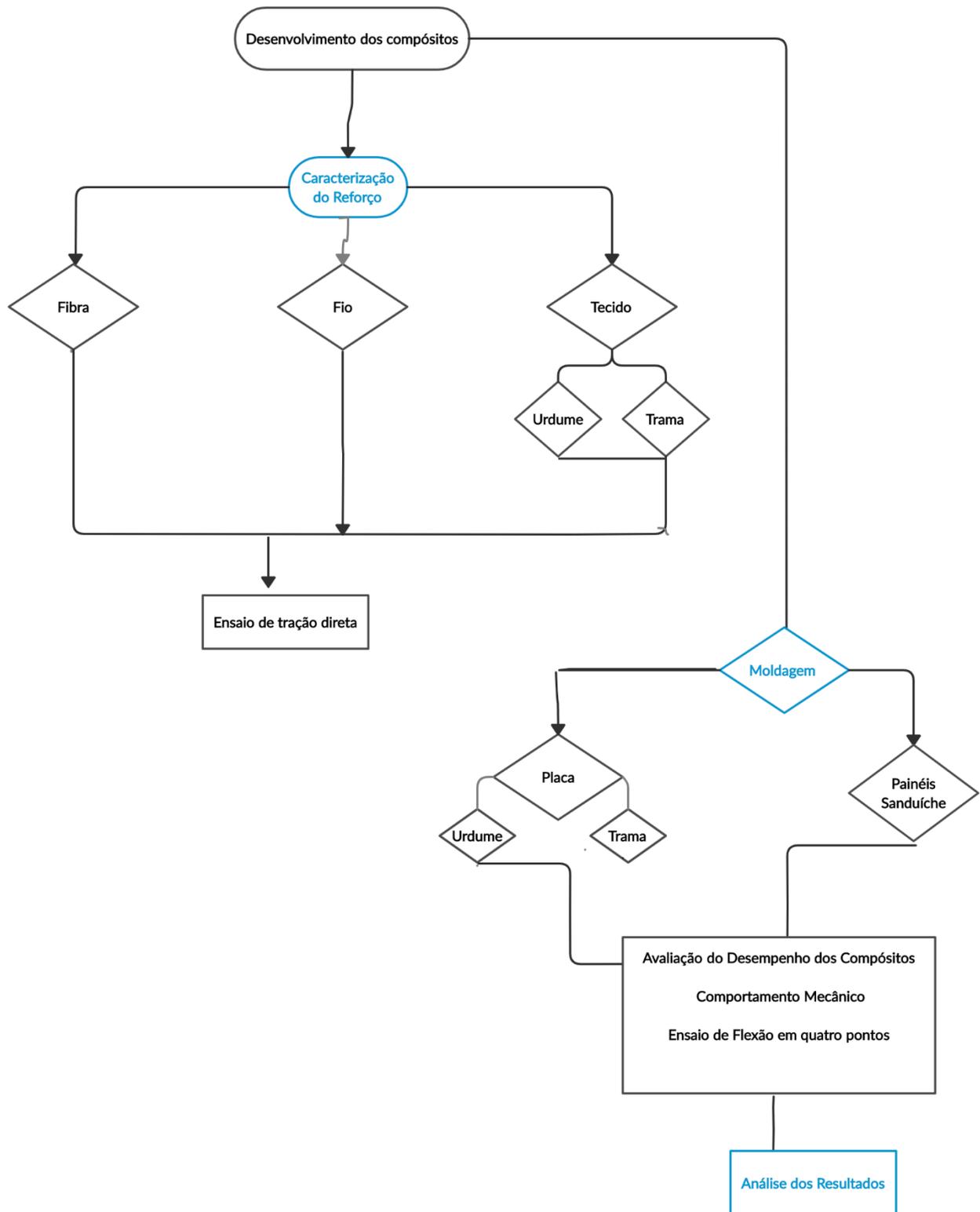
Colombo *et al.* (2014) analisou as características mecânicas de painéis sanduíche com núcleo de poliestireno expandido (EPS 250) e faces de concreto com tecido de fibra (TCR). O compósito possuía faces com 10 mm de espessura e o núcleo 100 mm e foi analisado ensaios de flexão em quatro pontos e com o auxílio de simulações numéricas, os autores conseguiram fazer a identificação do processo de ruptura.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta pesquisa foi realizada com apoio da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB e da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. Os ensaios realizados nas fibras, fios, tecidos e compósitos a fim de analisar o comportamento dos materiais foram realizados no Laboratório de Estruturas e Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS

Para a produção dos painéis sanduiches avaliados, foram utilizados os materiais constituintes da matriz: areia, cimento, sílica ativa, cinza volante, água, agente modificador de viscosidade e superplastificante, bem como o tecido de juta como reforço, poliestireno extrudado como núcleo. Ensaios de tração direta foram realizados fibra, fios e tecido para melhor caracterização mecânica da juta.

Na Figura 7, ilustra o modelo esquemático do desenvolvimento desta pesquisa.



**Figura 7.** Fluxograma esquemático do desenvolvimento desta pesquisa.

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Reforço

O tecido de juta foi adquirido no comércio localizado na cidade de Feira de Santana – BA. O tecido possui distância aproximada para os fios da trama e do urdume de 1,5 mm, essa distância foi medida com um paquímetro e a massa por unidade de área é aproximadamente de 0,0284 g/cm<sup>2</sup>. A Figura 8, ilustra o tecido utilizado como reforço.



**Figura 8.** Tecido utilizado como reforço nesta pesquisa

Os tecidos de juta utilizados na confecção dos compósitos. Foram previamente lavados em água a 50 °C durante o período de 20 minutos, com o objetivo de retirar impurezas e enzimas presentes no tecido que poderiam vir a reagir com a matriz cimentícia e alterar o tempo de pega e cura, posteriormente o tecido passou por um processo de secagem ao ar com a duração de 24 horas.

## 3.2 Método

### 3.2.1 Caracterização do Reforço

#### 3.2.1.1 Fibra

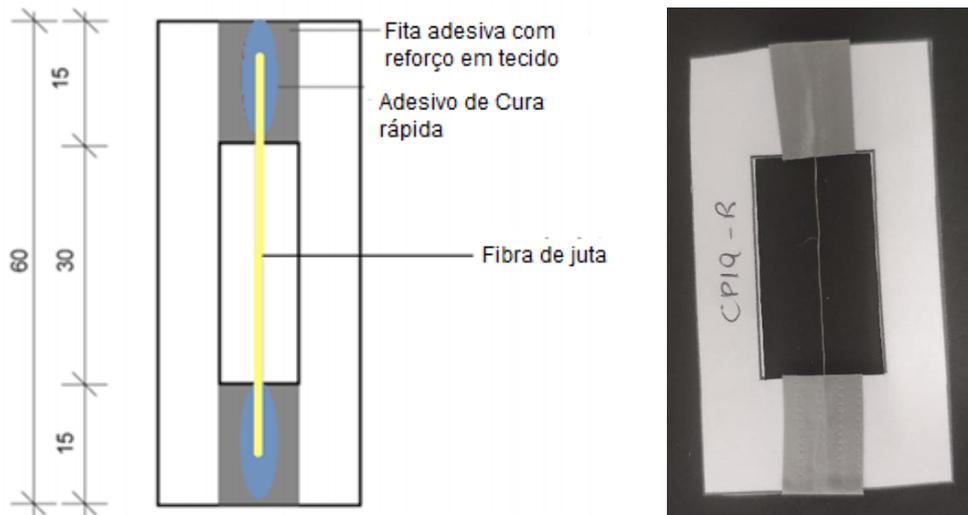
As fibras utilizadas para confecção dos corpos de prova, foram retiradas de maneira aleatória do tecido de juta.

Os diâmetros médios das fibras foram determinados utilizando um microscópio ótico, onde sua lente possuía uma câmera acoplada, unido a um microcomputador com o software Motic Images, onde realizou-se três medidas ao longo de cada corpo de prova, com o objetivo de definir diâmetro equivalente. Na figura 9, observa-se o processo de medição dos diâmetros que se repetiu para cada corpo de prova.



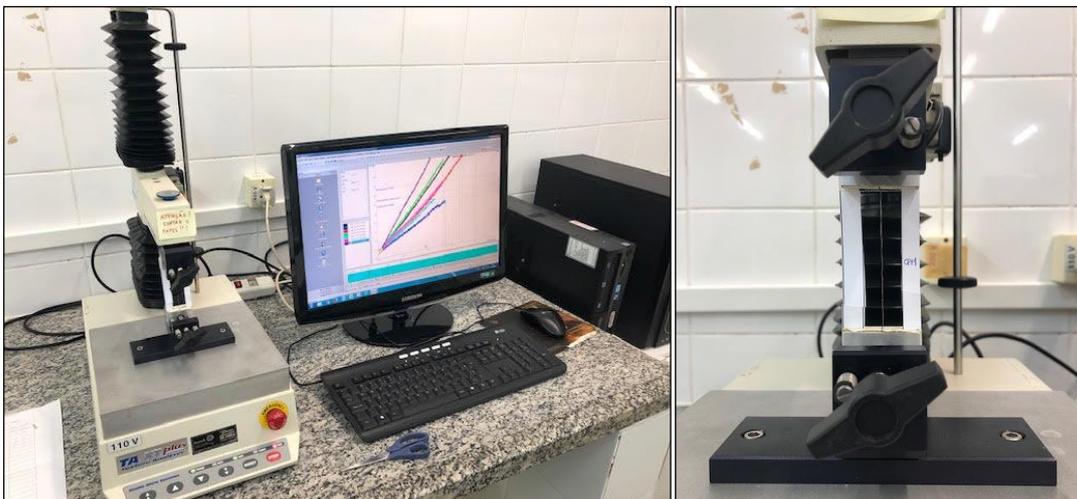
**Figura 9.** Medições das fibras utilizando o software Motic imagens

Vinte amostras de fibras foram retiradas do tecido e cortadas no comprimento de 60 mm para preparação dos corpos de prova, sendo o comprimento base para realização do ensaio de 30 mm, para fixar as fibras no molde de papel vazado, foi utilizado adesivo de cura rápida, e por fim foi adicionado fita adesiva com reforço em tecido na cor prata, nas extremidades do mesmo de modo a evitar concentração de tensões na garra, bem como o escorregamento. A Figura 10, mostra o modelo esquemático dos corpos de prova para submissão de ensaio de tração, e um corpo de prova finalizado.



**Figura 10.** Modelo esquemático dos corpos de prova de fibra e corpo de prova confeccionado para ensaio.

Os ensaios de tração direta nos corpos de prova de fibra foram realizados em um texturômetro, modelo TA. XT PLUS Texture Analyzer, com célula de carga de 500 N e velocidade de deslocamento do travessão de 1,8 mm/min. Como observado na Figura 11.



**Figura 11.** Ensaio de tração direta utilizando o texturômetro TA. XT PLUS Texture Analyzer

Os vinte corpos de prova de fibras foram submetidos ao ensaio de tração direta e para o cálculo do módulo de elasticidade foi realizado conforme os valores obtidos da curva Tensão x Deformação Específica. Utilizou-se os valores

entre 20% e 80% da tensão máxima, no trecho linear da curva onde a fibra apresentava um comportamento no regime elástico.

### 3.2.1.2 Fios

Os fios utilizados para confecção dos corpos de prova, foram retirados de maneira aleatória do tecido de juta. Posteriormente os fios cortados na dimensão de 300 mm de comprimento. Com o auxílio de uma balança de precisão em gramas com três casas decimais foi medido suas respectivas massas úmidas, em seguida foram dispostos em uma estufa com temperatura de 80 °C durante o período de 24 horas. Após este período os fios novamente foram submetidos a balança de modo a obter o valor da massa seca das amostras. Na figura 12, observa-se esta etapa.



**Figura 12.** Medição dos corpos de prova de fios

O valor da massa seca das amostras foi utilizado, para obter o valor do volume das fibras, e em seguida de posse do valor do volume, determinar o valor da área da seção transversal dos corpos de prova de fios. Para obtenção destes valores foram utilizadas as equações 1 e 2. Por fim, para determinação da área da seção transversal, utilizou-se a combinação das equações 1 e 2 para obtenção da expressão como observado na equação 3.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

**Equação 1**

$$V = A \times h$$

**Equação 2**

$$A = \frac{M}{\rho \times h}$$

**Equação 3**

Onde,

$\rho$  é a densidade da juta;

$M$  é a massa da amostra seca;

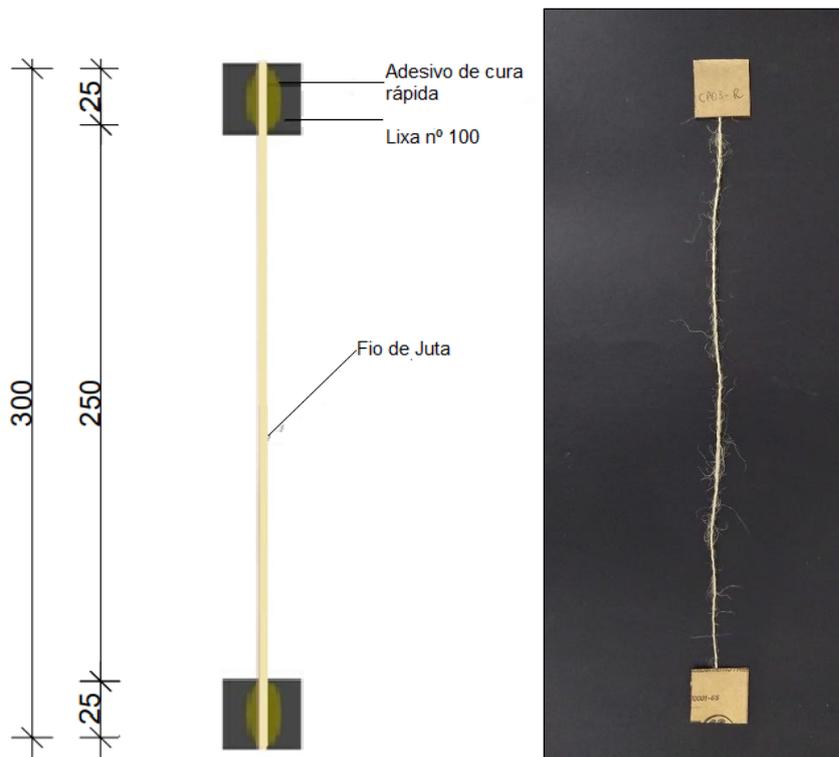
$V$  o volume;

$A$  é a área de seção transversal;

$h$  é o comprimento constante do fio de juta que foram medidos com o paquímetro.

Deste modo para o cálculo da área da seção transversal, o valor utilizado para a densidade dos fios foi de  $\rho = 1,4749 \text{ g/cm}^3$ , determinado através do ensaio de picnometria a gás hélio.

Para confecção dos 20 corpos de prova utilizou-se adesivo de cura rápida em lixas nº 100 nas extremidades das amostras, a fim de evitar escorregamentos do fio e concentrações de tensões na garra da máquina de ensaio universal. Na Figura 13, observa-se um modelo esquemático, e um modelo para ensaio de tração no fio de juta.



**Figura 13.** Modelo esquemático dos corpos de prova de fio e corpo de prova confeccionado para ensaio.

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração em uma máquina de ensaio universal modelo AG- IC de fabricante Shimadzu com carga máxima de 100 kN velocidade de deslocamento da ponte da máquina de ensaio universal de 2 mm/min.

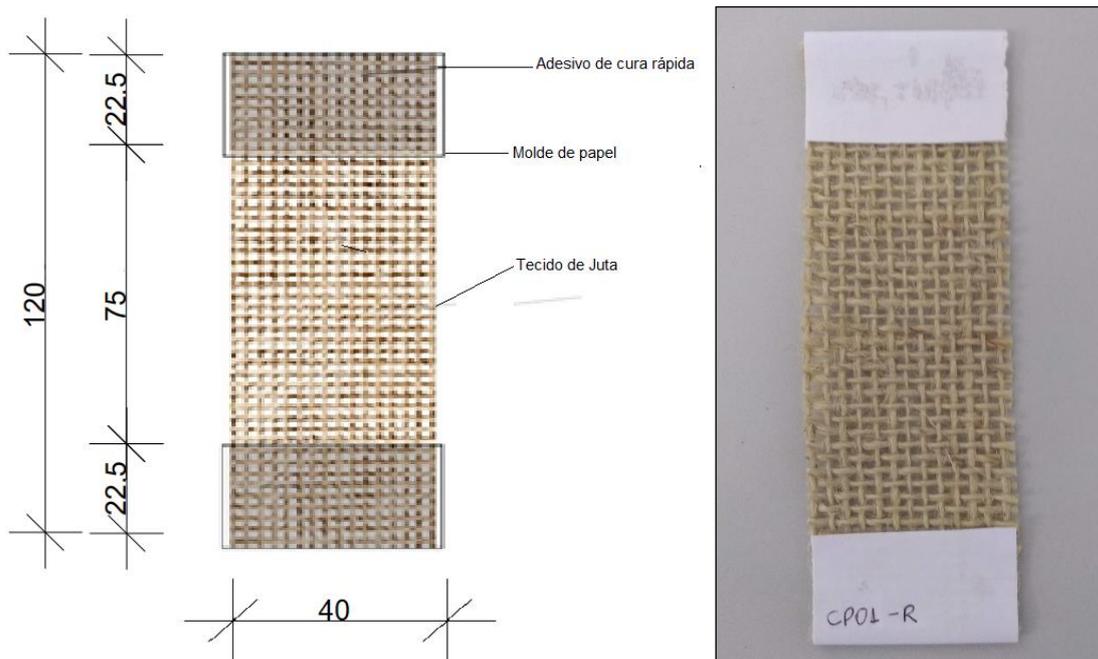
### 3.2.1.3 Tecidos

Quarenta amostras de tecido foram cortadas, nas dimensões de 120 mm de comprimento e 40 mm de largura. Sendo 20 amostras cortadas na direção da trama, e 20 na direção do urdume, de modo a analisar se haveria mudança significativa nos valores de resistência à tração quanto a orientação do arranjo do tecido.

A massa dos corpos de prova foi medida com o auxílio de uma balança de precisão, em gramas, com três casas decimais. Em seguida as amostras foram submetidas a uma estufa com a temperatura de 80 °C, pelo período de 24 horas,

após este tempo foram retiradas, medidas e obteve-se suas respectivas massas secas, para posterior obtenção da área da seção transversal dos tecidos.

Após as medições das massas, confeccionou-se os corpos de prova com molde de papel e para fixação foi utilizado adesivo de cura rápida, com o intento de evitar acúmulo de tensões na garra, e escorregamentos, como já citado anteriormente. Na figura 14 observa-se o esquema de moldagem de corpo de prova de tecido de juta e um molde pronto para submissão de ensaio de tração.



**Figura 14.** Modelo esquemático dos corpos de prova de tecido e corpo de prova confeccionado para ensaio.

Os ensaios de tração direta foram realizados em uma máquina de ensaio universal AG- IC de fabricante Shimadzu com carga máxima de 100 kN velocidade de deslocamento da ponte da máquina de ensaio universal de 2 mm/mim.

### 3.2.2 Matriz

Os materiais constituintes para o desenvolvimento da matriz utilizada na presente pesquisa foram pesados em uma balança de precisão em gramas, de duas casas decimais.

O traço para confecção da matriz foi realizado na proporção de mistura de 1: 0,2: 0,8: 2,0 : 0,8 (cimento; sílica ativa; cinza volante; areia; água). O traço utilizado foi adaptado de Lima et al. (2018). Para fornecer fluidez à argamassa foi utilizado o superplastificante Adiment Premium, de fabricante Vedacit, por consequência ocorre uma melhor impregnação do tecido. De modo a evitar a segregação dos constituintes da argamassa foi utilizado o agente modificador de plasticidade (VMA).

A sílica ativa também foi utilizada, pois segundo LIMA (2004) materiais como a metacalinita (pozolânicos), é uma alternativa de aumentar a durabilidade dos compósitos, a proporcionando a redução da alcalinidade e o teor de hidróxido de cálcio livre da matriz. Por conseguinte utilização de materiais pozolânicos tem sido um bom resultado na proteção das fibras vegetais no compósito a base de cimento, devido ao aumento de resistência à compressão, a resistência química, a redução do teor de hidróxido de cálcio livre e a redução do pH e a concentração de hidróxido de cálcio livre da matriz (ARRUDA FILHO, 2015).

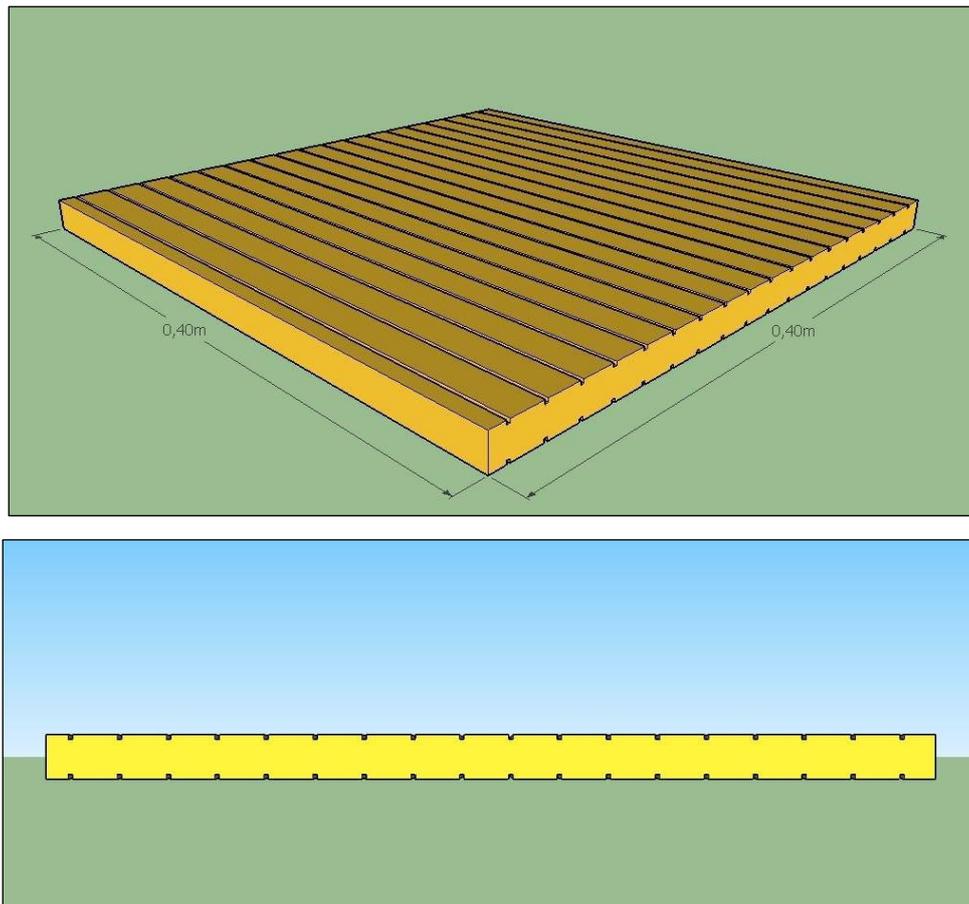
### 3.2.3 Núcleo

O núcleo utilizado nesta pesquisa foi constituído de poliestireno extrudado com densidade média de  $0,04 \text{ g/cm}^3$ , este valor foi obtido a partir da massa e do volume dos núcleos utilizados nessa pesquisa, numa balança de precisão em gramas de três casas decimais.

Baseado no estudo de CRUZ (2019), em sua pesquisa foi analisado a influência do XPS em diferentes configurações, e a configuração de ranhura que apresentou bons resultados para o desempenho mecânico no ensaio de flexão em quatro pontos, foi o núcleo com ranhuras paralelas.

Os painéis sanduíches confeccionados nesta pesquisa possuíam a mesma configuração de núcleo com ranhuras paralelas. Estas ranhuras presentes no

núcleo foram realizadas com uma serra mármore, onde a dimensão da ranhura é de 2 mm de espessura e 2 mm de profundidade espaçadas igualmente em 20 mm . A Figura 15, mostra a representação do núcleo utilizado nesta pesquisa.



**Figura 15.** Representação gráfica do núcleo utilizado nesta pesquisa.

Foram realizados ensaios de flexão em quatro pontos nos corpos de prova de núcleo. O ensaio foi realizado com o auxílio de uma máquina de ensaio universal modelo AG-IC, de fabricante Shimadzu com capacidade de carga máxima de 100 kN e velocidade de deslocamento da ponte da máquina de ensaio universal de 0,5 mm/min, acoplado a um microcomputador com o software Trapesium X que permitiu a coleta e análise dos dados.

### 3.2.4 Moldagem das placas e painéis cimentícios reforçados com tecido de juta

Duas placas cimentícias reforçadas com quatro camadas de tecido de juta foram moldadas, sendo que na primeira o tecido foi disposto na direção do urdume e na segunda o tecido foi disposto na direção da trama. Os painéis sanduíche foram moldados variando de uma a cinco camadas de reforço em cada face.

Todos os constituintes dos painéis sanduiches tiveram suas massas medidas em uma balança, em gramas, com precisão de duas casas decimais. Como ilustrado na Figura 16.



**Figura 16.** Materiais utilizados para moldagem dos painéis.

Para confecção dos painéis sanduiches foram utilizados moldes metálicos quadrados com 40 cm de lado onde primeiramente foi aplicado uma camada de desmoldante líquido na forma para facilitar a remoção dos painéis, após o período de três dias.

O processo de moldagem ocorreu inicialmente com a mistura em um recipiente plástico do cimento, da cinza volante e da sílica ativa, de modo aos mesmos ficarem homogêneos, esta mistura foi disposta na argamassadeira com capacidade 5 litros, na velocidade lenta. Posteriormente, o superplastificante foi adicionado a água para ser dissolvido e logo em seguida foram adicionados na argamassadeira, durante o primeiro minuto, seguido da adição de areia. Estes componentes foram misturados pela argamassadeira durante quatro minutos, seguido de uma pausa de um minuto para retirada dos grumos para garantir uma

matriz mais homogênea possível. Após a retirada dos grumos, foi adicionado o VMA e a argamassadeira foi operada na velocidade rápida e os materiais foram misturados por 5 minutos, totalizando um processo para confecção da matriz de 10 minutos.

Para análise do comportamento das faces constituintes dos painéis sanduíches foi moldada primeiramente uma placa com quatro camadas de tecido. A primeira camada de matriz foi despejada na forma metálica com a espessura de 2 mm, seguido de uma camada de tecido de juta, e com o auxílio de um rolo de nylon foi melhorado a impregnação do tecido na matriz, este processo de adição de argamassa e camada de reforço foi realizado 4 vezes.

O método de moldagem dos painéis foi semelhante ao descrito para a placa de quatro camadas, exceto pela inserção do núcleo de XPS com 40 cm de lado e 2,0 cm de espessura. Primeiro foi adicionado a camada de matriz, posteriormente adicionado o tecido de juta, em seguida inserido o XPS e para facilitar a impregnação do núcleo sobre o conjunto foi adicionado uma pequena quantidade de matriz para preenchimento das ranhuras. Este mesmo processo foi realizado para os demais painéis com duas, três, quatro e cinco camadas. Observa-se na Figura 17 o processo de moldagem dos painéis sanduíche.





**Figura 17.** Processo de moldagem dos compósitos.

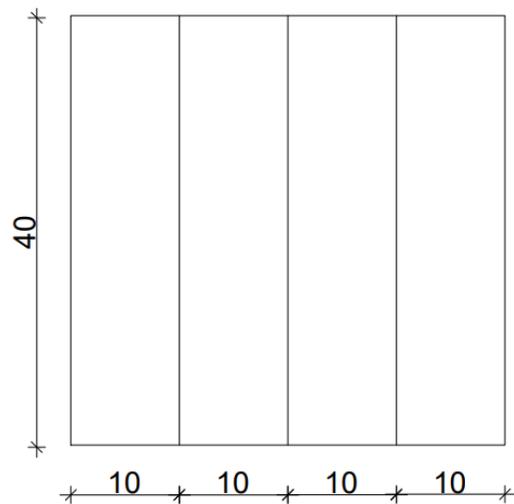
Após o processo de moldagem, ocorreu o sazonalamento com uma manta úmida que foi colocada sobre os painéis, com o objetivo de diminuir a variação de temperatura e umidade.

Logo após ao período de secagem inicial, os painéis foram desenformados e imersos em um reservatório com água à temperatura ambiente para o processo de cura onde permaneceu até completar 28 dias da moldagem. Depois deste período os painéis foram removidos do reservatório e foram serrados com a máquina de polí corte . Conforme observado na Figura 18.



**Figura 18.** Painéis sendo serrados com máquina de polí corte.

Cada painel sanduiche forneceu quatro corpos de prova com as dimensões de 40 cm de comprimento, 10 cm de largura e 4 cm de espessura. Observa-se na Figura 19 um desenho esquemático do corte dos painéis sanduiche.



**Figura 19.** Desenho esquemático do corte dos painéis sanduíche.

Como todos os painéis foram moldados com mesmo tipo de tecido de juta bidirecional, foi utilizado a denominação de PS para designá-lo. A quantidade de camadas de reforço na face foi utilizado  $nC$  onde  $n$  é a variação de uma a cinco camadas respectivamente como explicitado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Designação dos Painéis Sanduíche

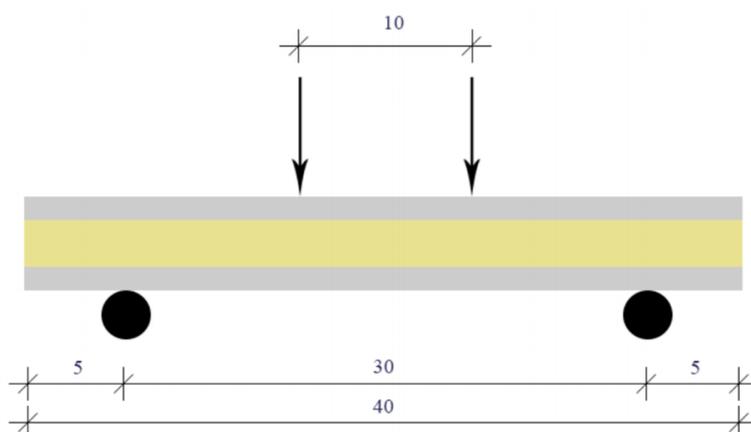
Designação	Número de Camadas na Face
PS1C	1
PS2C	2
PS3C	3
PS4C	4
PS5C	5

### 3.3. Avaliação do comportamento mecânico dos compósitos

Cada um dos cinco painéis sanduíche, das duas placas e do núcleo de XPS forneceram quatro corpos de prova cada para ensaio de flexão em quatro pontos. Os corpos de prova dos painéis e placas foram pintados, com uma tinta branca apenas uma pequena camada sem que houvesse formação de película, com a função de facilitar a visualização do processo de fissuração.

O ensaio foi realizado com o auxílio de uma máquina de ensaio universal modelo AG-IC, de fabricante Shimadzu com capacidade de carga máxima de 100 kN e velocidade de deslocamento da ponte da máquina de ensaio universal de 0,5 mm/min, acoplado a um microcomputador com o software Trapesium X que permitiu a coleta e análise dos dados. Para uma melhor precisão foi utilizado o LVDT (Transformador Diferencial Variável Linear) vinculado a máquina de ensaio universal que possibilitou a medida da flecha na posição central do vão.

A distância dos pontos de aplicação de carga foi de 100 mm, e entre os apoios de 300 mm, na Figura 20 observa-se o desenho do arranjo esquemático do ensaio de flexão em quatro pontos nos compósitos.



**Figura 20.** Arranjo esquemático do ensaio de flexão em quatro pontos.  
Fonte: CRUZ, 2019.

A Figura 21, ilustra os ensaios de flexão em quatro pontos realizado nos compósitos.

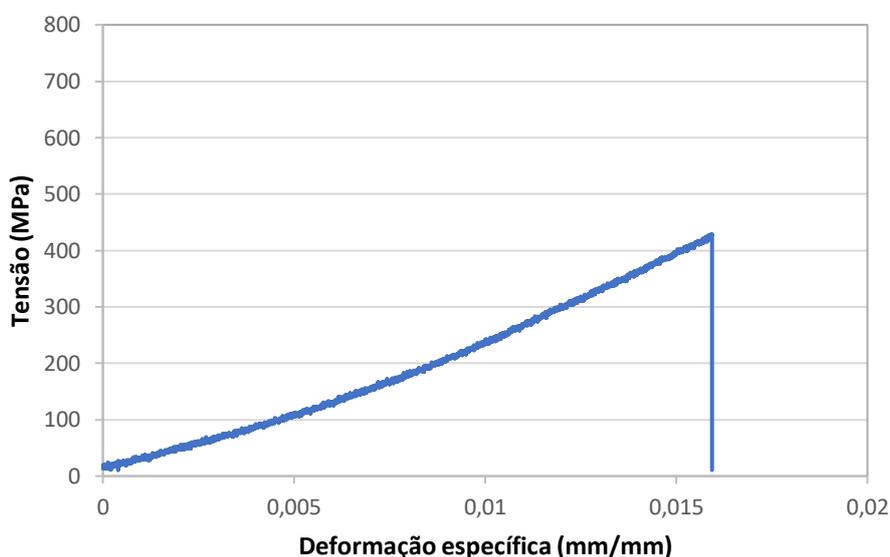


**Figura 21.** Ensaio de flexão em quatro pontos na placa, XPS e painel sanduíche.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaio de tração nas fibras

Vinte corpos de prova de fibras foram submetidos ao ensaio de tração direta. O cálculo do módulo de elasticidade foi realizado conforme os valores obtidos da curva Tensão x Deformação Específica. Utilizou-se os valores entre 20% e 80% da tensão máxima, no trecho linear da curva onde a fibra apresentava um comportamento no regime elástico. Na Figura 22, observa-se o comportamento da fibra de juta durante o ensaio de tração direta.



**Figura 22.** Curvas Tensão x Deformação Específica do ensaio de tração nas fibras.

Observa-se na Tabela 2, os valores correspondentes para área, deformação específica na ruptura, tensão e módulo de elasticidade, com as respectivas médias e desvios padrão.

**Tabela 3.** Resultados do ensaio de tração nas fibras de juta.

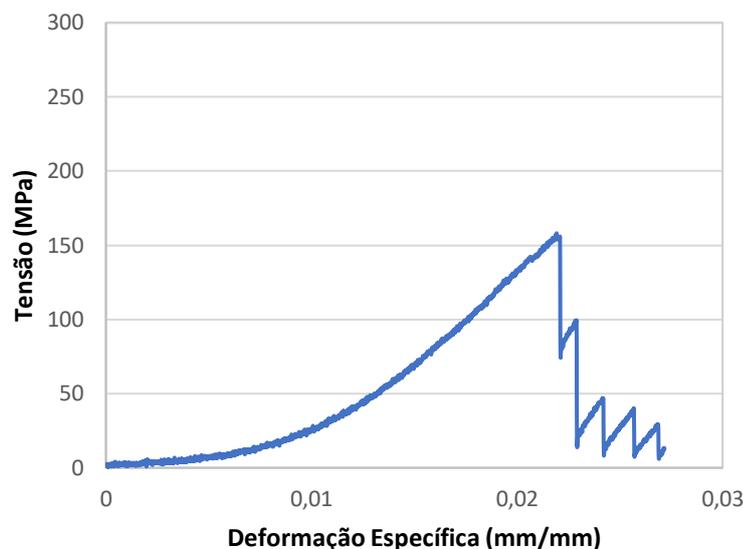
ÁREA (mm <sup>2</sup> )	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA NA RUPTURA (mm/mm)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0,0029 (0,001)	0,014 (0,002)	460,17 (180,26)	28,070 (10,27)

Comparando os resultados encontrados para o ensaio de tração nas fibras desta pesquisa, ao obtido por Fidelis (2014) que também analisou o comportamento da fibra, obteve os seguintes valores: tensão máxima igual a 263 MPa e módulo de elasticidade 37,7 GPa, inferiores aos valores encontrados nesta pesquisa para o mesmo comprimento ensaiado. Observa-se que há uma variação considerável entre os valores encontrados pelos diferentes autores, este fator justifica-se pelo fato de as fibras vegetais possuírem composição heterogênea química e física ao longo de toda sua seção, além dos fatores externos aos quais são submetidas durante o cultivo como: variações climáticas, variações de temperatura e umidade e exposição ao sol (ARRUDA FILHO, 2015).

Segundo Fidelis (2014) a morfologia fibra apresenta grande variabilidade quanto à espessura das paredes celulares, número e diâmetro dos lumens, o que confirma a variação observada nos resultados do ensaio de tração direta das fibras ensaiadas nesta pesquisa.

#### **4.2 Ensaio de tração nos fios**

Vinte corpos de prova de fios foram submetidos ao ensaio de tração direta. O procedimento para obtenção da curva Tensão x Deformação Específica, foi realizado da mesma maneira como supracitado para o ensaio de tração nas fibras, ou seja, utilizou-se os dados na faixa entre 20% e 80% da tensão máxima. Na Figura 23, observa-se o gráfico da curva Tensão x Deformação dos fios de juta, durante o ensaio de tração.



**Figura 23.** Curvas Tensão x Deformação do ensaio de tração nos fios.

Segundo Caldas (2014), a deformação dos fios apresenta duas fases, a primeira percebe-se ao analisar o gráfico Tensão x Deformação Específica, que o fio está acomodando as fibras, com um ganho constante de rigidez do fio, a segunda fase é possível observar no comportamento aproximado de linearidade da curva de tensão versus deformação. Após atingir a tensão máxima observa-se ruptura das fibras de forma descontínua, devido a não homogeneidade das tensões entre as fibras constituintes do fio.

Observa-se na Tabela 3, os valores correspondentes para área, deformação específica na ruptura, tensão e módulo de elasticidade, com as respectivas médias e desvios padrão.

**Tabela 4.** Resultados do ensaio de tração nos fios de juta.

ÁREA (mm <sup>2</sup> )	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA NA RUPTURA (mm/mm)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0,22 (0,02)	0,02 (0,01)	166,80 (19,99)	9,69 (0,79)

Comparando os resultados encontrados para o ensaio de tração nos fios desta pesquisa, ao obtido por Fidelis (2014) que também analisou o comportamento dos fios de juta, obteve os seguintes valores: tensão máxima

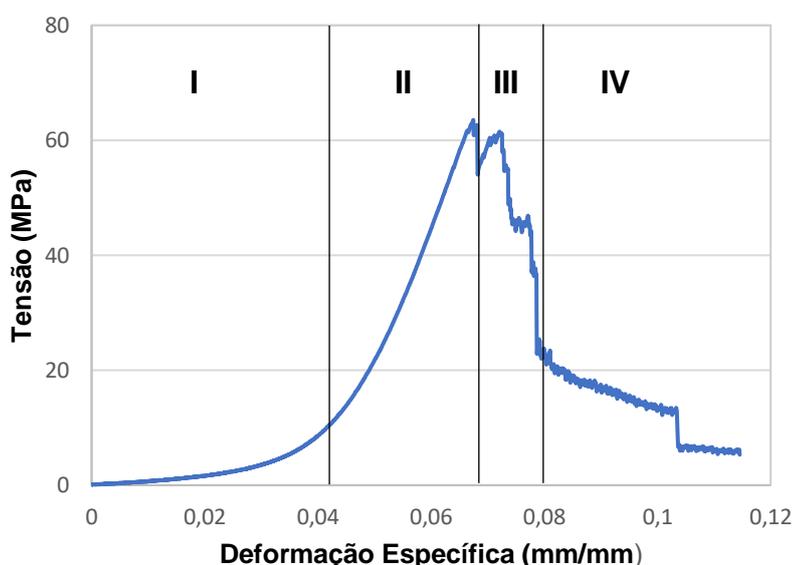
igual a 104 MPa e módulo de elasticidade 5,68 GPa, inferiores aos valores obtidos.

Os fios quando comparados com as fibras apresentam uma redução de valores médios de desempenho mecânico, este fato ocorre devido aos fios serem formados por múltiplas fibras, deste modo quando ocorre a ruptura de cada fibra a área da seção transversal do fio diminui e não é considerada a nova área para o cálculo das tensões (ARRUDA FILHO, 2015).

### 4.3 Ensaio de Tração nos tecidos

Vinte corpos de prova de tecido foram cortados na direção da trama e vinte corpos de prova cortados na direção do urdume, foram submetidos ao ensaio de tração direta. O módulo de elasticidade dos tecidos também foi calculado como descrito anteriormente para as fibras e fios, utilizando os dados do gráfico de Tensão x Deformação, onde os valores utilizados encontram-se entre 20% e 80% da tensão máxima.

A Figura 24 ilustra o gráfico Tensão x Deformação do ensaio de tração direta nos tecidos.



**Figura 24.** Curvas Tensão x Deformação do ensaio de tração direta nos tecidos.  
Fonte: A autora, 2020.

Analisando a curva “Tensão X Deformação” da Figura 24, observa-se que há quatro fases distintas durante o ensaio de tração nos tecidos no sentido da trama.

- Na fase I ocorre acomodação das fibras nos fios que compõe o tecido, com um aumento gradativo da tensão e da rigidez;
- Na fase II ocorre um aumento de tensões, das deformações e da rigidez;
- Na fase III inicia-se o processo de ruptura dos fios e fibras do tecido;
- Na fase IV ocorre o escorregamento entre as fibras dentro dos feixes, pois a grande maioria das fibras já se romperam, deste modo há uma queda gradativa nos valores de tensão e rigidez.

Estão dispostos na Tabela 4 os valores correspondentes para área, deformação específica na ruptura, tensão e módulo de elasticidade, com as respectivas médias e desvios padrão, para os tecidos ensaiados na direção da trama e do urdume.

**Tabela 5.** Resultados no ensaio de tração nos tecidos de juta na direção da trama e do urdume.

TECIDO	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA NA RUPTURA (mm/mm)	TENSÃO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
TRAMA	6,770 (0,256)	0,061 (0,003)	59,86 (4,29)	2,01 (0,11)
URDUME	7,310 (0,493)	0,052 (0,003)	61,01 (2,79)	2,27 (0,24)

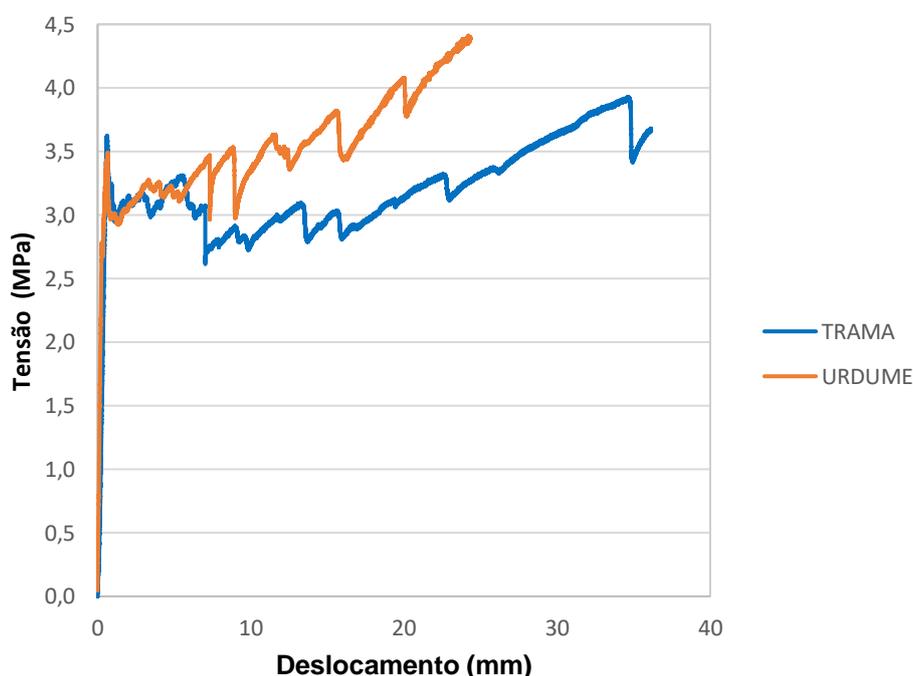
Em sua pesquisa Fidelis (2014) encontrou os seguintes valores para o ensaio de tração na direção da trama: tensão máxima igual a 66,77 MPa e módulo de elasticidade 4,83 GPa e obteve os seguintes valores para o ensaio na direção urdume: tensão máxima igual a 63,15 MPa e módulo de elasticidade 6,42 GPa, valores próximos aos encontrados nesta pesquisa.

Ao analisar o comportamento a tração dos tecidos na direção do urdume e da trama verificamos que não houve variação significativa. No desempenho dos tecidos na trama e no urdume observa-se um acréscimo de 1,92 % na tensão máxima, inferior aos 5,73 % encontrado por Fidelis (2014). Isto pode ter ocorrido, pois as tensões aplicadas na confecção dos tecidos utilizadas nesta pesquisa, nas direções do urdume e da trama, foram mais uniformes que os aplicados na confecção do tecido de Fidelis (2014).

#### 4.4 Ensaio de flexão em quatro pontos nos compósitos

Os corpos de prova oriundos dos compósitos cimentícios, com reforço na direção da trama e na direção do urdume, foram submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos.

Na Figura 25 encontra-se a curva Tensão x Deslocamento das placas cimentícias com reforço na direção da trama e na direção do urdume.



**Figura 25.** Curvas Tensão x Deslocamento das placas na direção da trama e do urdume

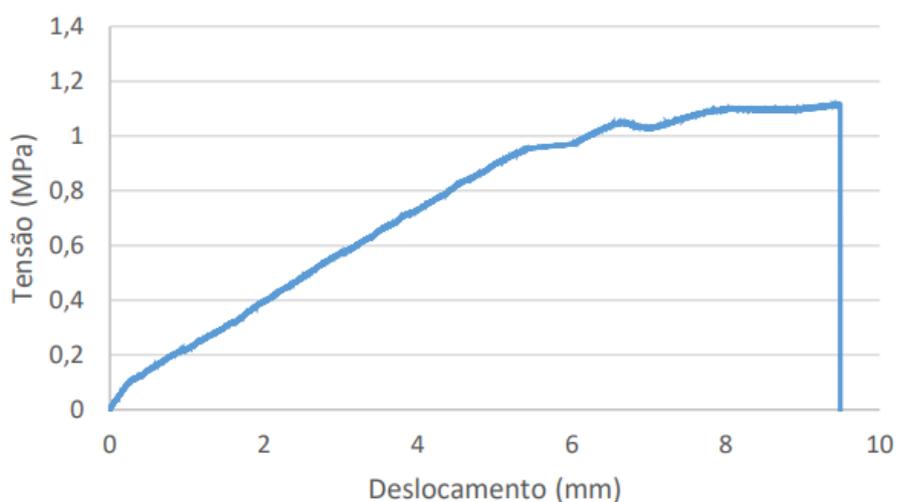
Observa-se na Tabela 5 os valores correspondentes para cada tipo de placa cimentícia, o volume de reforço, tensão de primeira fissura, deslocamento de primeira fissura, tensão máxima, deslocamento da tensão máxima e rigidez, com as respectivas médias e desvios padrões.

**Tabela 6.** Resultados do ensaio de flexão em quatro pontos nas placas na direção do urdume e da trama.

PLACA	VOLUME DE REFORÇO	TENSÃO DE 1ª FISSURA (MPa)	DESLOC.DE 1ª FISSURA (mm)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	DESLOC. NA TENSÃO MÁXIMA (mm)	RIGIDEZ (GPa)
Trama	12,02	3,43 (0,22)	0,13 (0,18)	3,64 (0,25)	27,86 (6,64)	8,64 (1,70)
Urdume	11,10	2,90 (0,07)	0,28 (0,03)	4,70 (0,11)	25,39 (0,86)	12,29 (2,01)

Ao analisar o comportamento de flexão em quatro pontos nas placas cimentícias com o reforço na direção do urdume e da trama verificamos que após a primeira fissura as placas reforçadas com o tecido na direção do urdume mostraram desempenho superior que as placas reforçadas com o tecido na direção da trama.

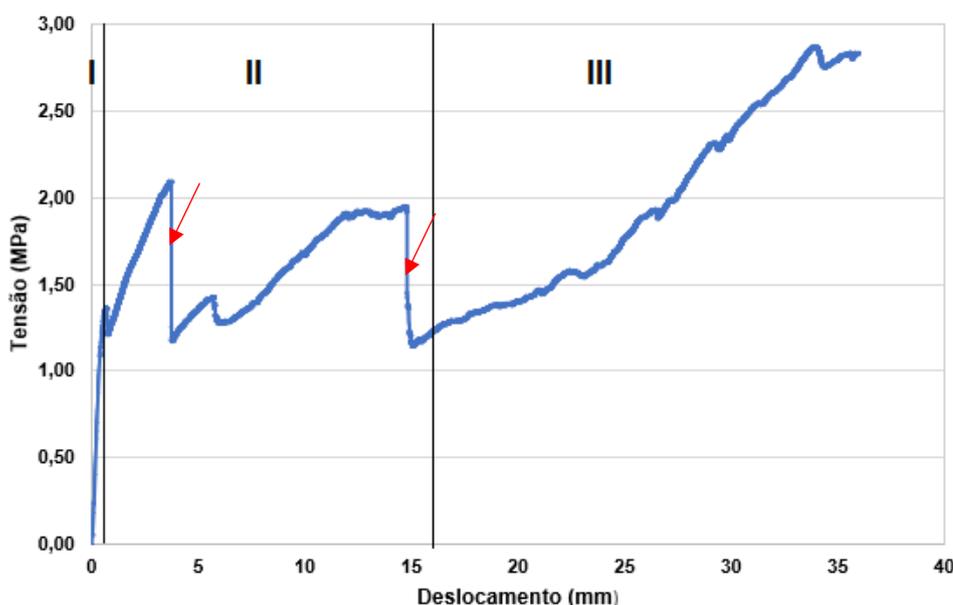
Na Figura 26, observa-se o gráfico Tensão x Deslocamento dos corpos de prova do XPS.



**Figura 26.** Curva Tensão x Deslocamento no ensaio de flexão em quatro pontos no XPS

Observa-se através do gráfico que até aproximadamente 5 mm de deslocamento o gráfico possui um comportamento elástico com o aumento de tensão, em seguida é observado no gráfico que o material entra no regime plástico até a sua ruptura brusca.

Na Figura 27 observa-se o gráfico Tensão x Deslocamento dos corpos de prova dos painéis sanduíche submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos. Pode-se observar que o comportamento dos painéis possuem três fases distintas.

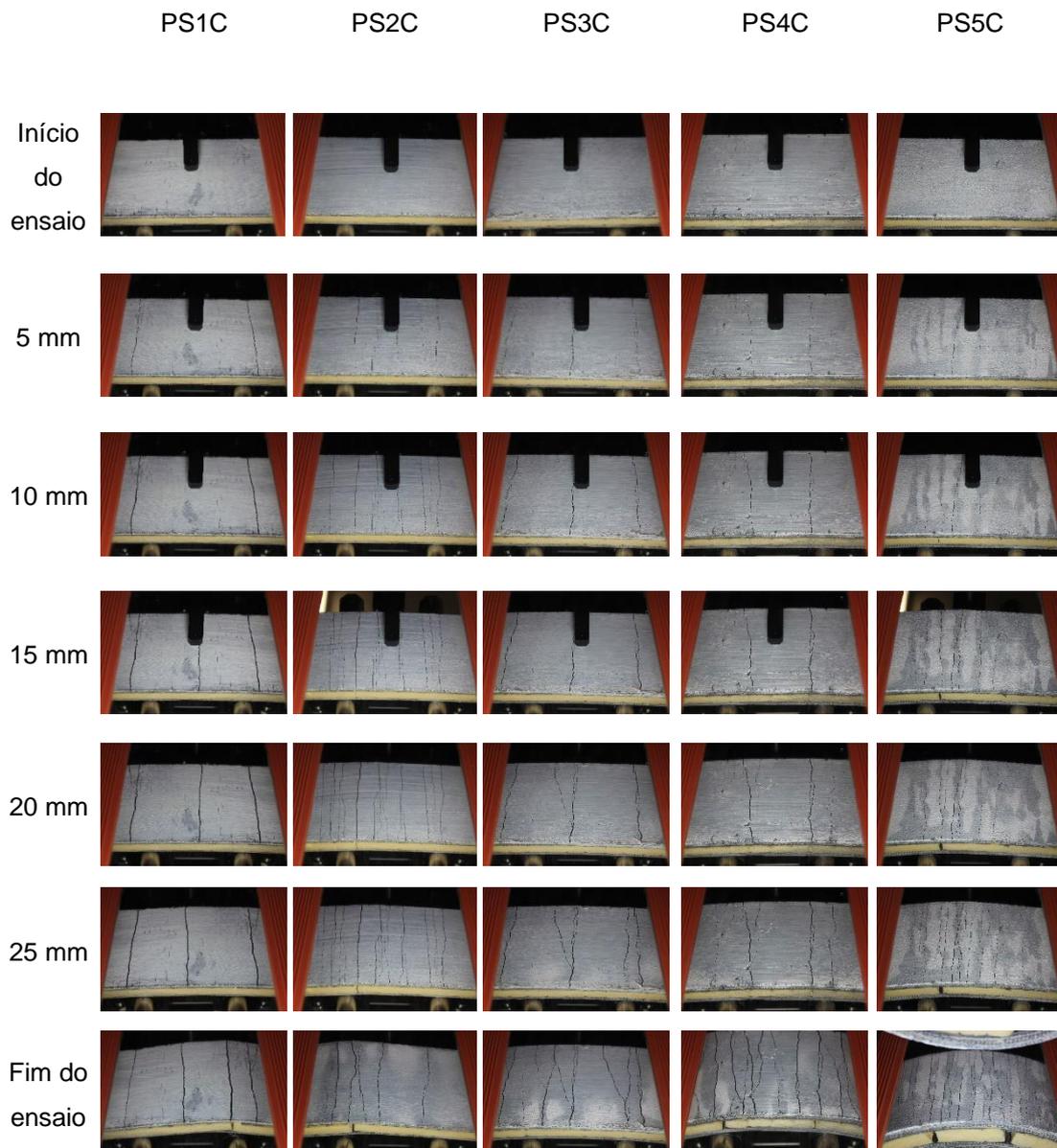


**Figura 27.** Curva Tensão x Deformação específica no ensaio de flexão em quatro pontos

- Na fase I observa-se um comportamento linear com um ganho de tensão crescente, caracterizado pelo regime elástico. Nesta fase a matriz tem o controle do comportamento do compósito, até o surgimento da primeira fissura onde matriz atinge sua capacidade de suporte, havendo uma queda de tensão finalizando a primeira fase.
- Na fase II, caracterizada pelo aumento das aberturas da fissura. Nesta fase o reforço começa a resistir aos esforços adicionais, com um pequeno ganho de tensão, até que em outro ponto do compósito surge uma nova fissura, com redução da capacidade de suporte. Observa-se também que há a ruptura do núcleo.

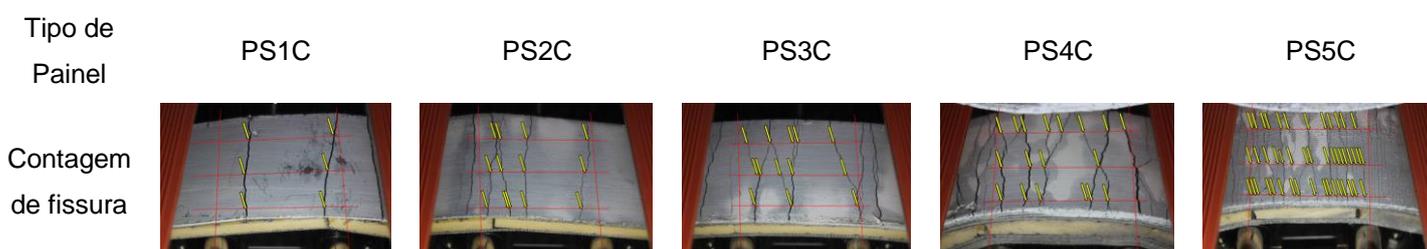
- Na fase III pode-se inferir que não acontece o surgimento de novas fissuras, mas o aumento da espessura das fissuras já existentes, pois o reforço não consegue atingir sua eficiência de transmitir as tensões para outros pontos do compósito, este comportamento é observado até o fim do ensaio.

A Figura 28 mostra a evolução da propagação de fissuras durante o ensaio de flexão para as diferentes configurações de camadas na face.



**Figura 28.** Evolução de fissuras no ensaio de flexão em quatro pontos em cada tipo de painel sanduíche.

O espaçamento médio entre as fissuras e o número de fissuras são parâmetros importantes para avaliação do desempenho dos compósitos. O número de fissuras foi obtido com a contagem de fissuras existentes na parte central do compósito. Foram calculadas as médias dos três corpos de prova ensaiados para cada tipo de painel sanduíche, na Figura 29 mostra o procedimento. Na Tabela 6, observa-se o número médio de fissuras e o espaçamento médio entre as fissuras. Fica nítido que quanto maior o número de camadas na face, há um aumento no número de fissuras e menor o espaçamento entre elas.



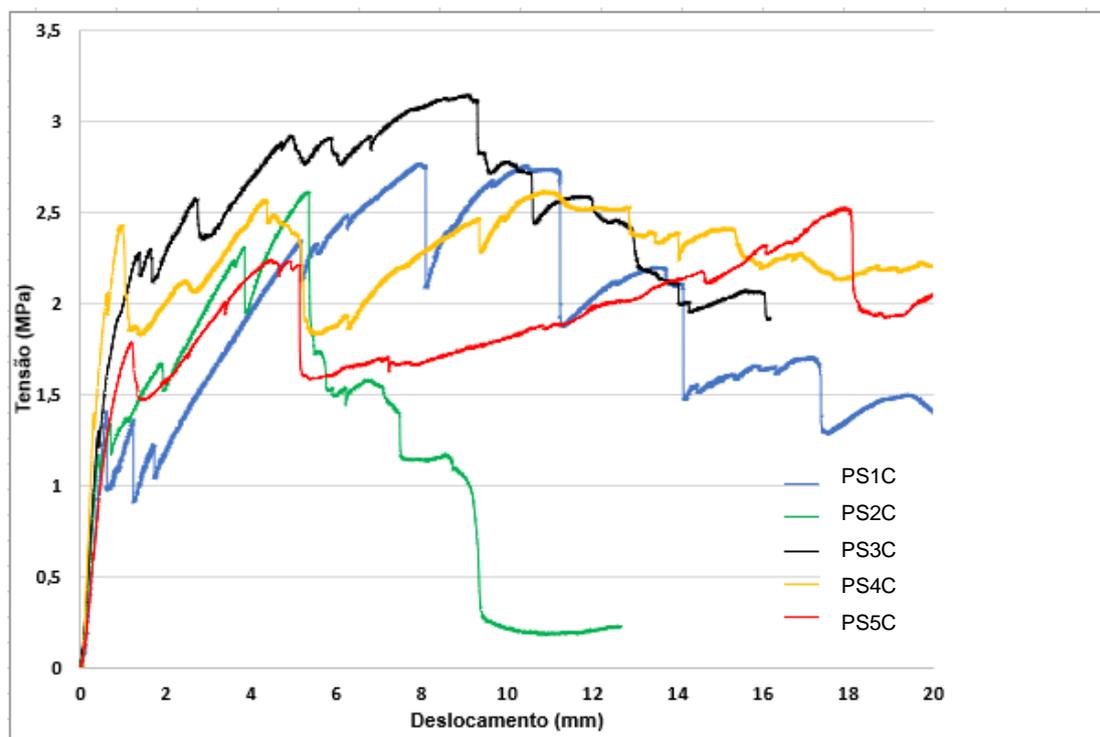
**Figura 29.** Contagem de fissuras

**Tabela 7.** Número e espaçamento das fissuras no ensaio de flexão em quatro pontos.

Tipo de Painel	PS1C	PS2C	PS3C	PS4C	PS5C
Média nº de fissuras	2,77	5,22	4,00	6,55	11,22
Espaçamento médio entre fissuras (mm)	36	19,14	25,00	15,25	8,91

Observou-se que apesar de conter o melhor comportamento de fissuração com um número maior de fissuras e menor espaçamento médio entre elas, os painéis com maior número de camadas na face mostraram desempenho inferior aos painéis com três e duas camadas com relação a tensão deformação.

Na Figura 30 estão dispostos os gráficos comparativos de Tensão x Deslocamento dos corpos de prova analisados com a configuração de núcleo de ranhuras paralelas, variando o número de camadas de 1 a 5 respectivamente.



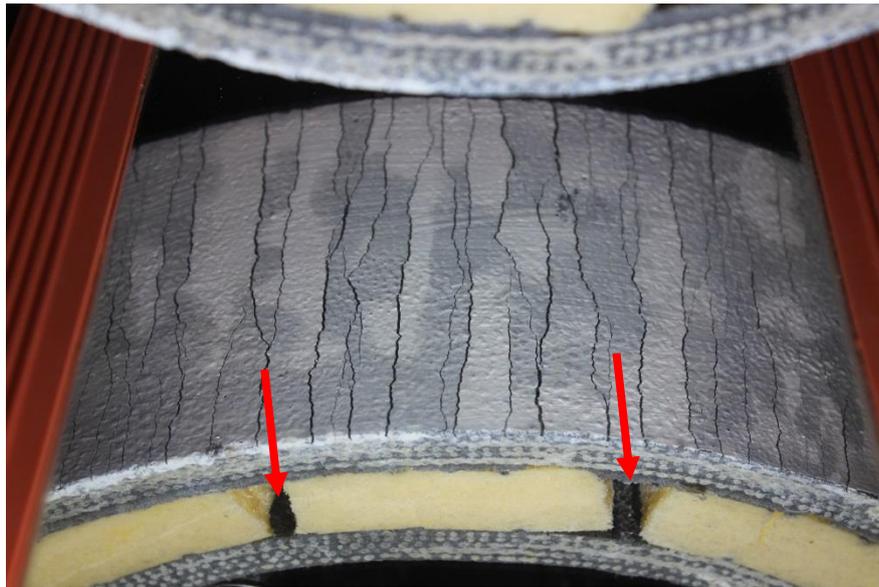
**Figura 30.** Curvas de Tensão x Deslocamento dos corpos de prova submetidos ao ensaio de flexão em quatro pontos para cada tipo de painel sanduíche.

Observa-se na Tabela 7, os valores correspondentes para cada tipo de painel o volume de reforço, a massa específica, tensão de primeira fissura, deslocamento de primeira fissura, tensão máxima, deslocamento da tensão máxima e rigidez, com as respectivas médias e desvios padrões.

**Tabela 8.** Resultados do ensaio de flexão em quatro pontos dos painéis sanduíche.

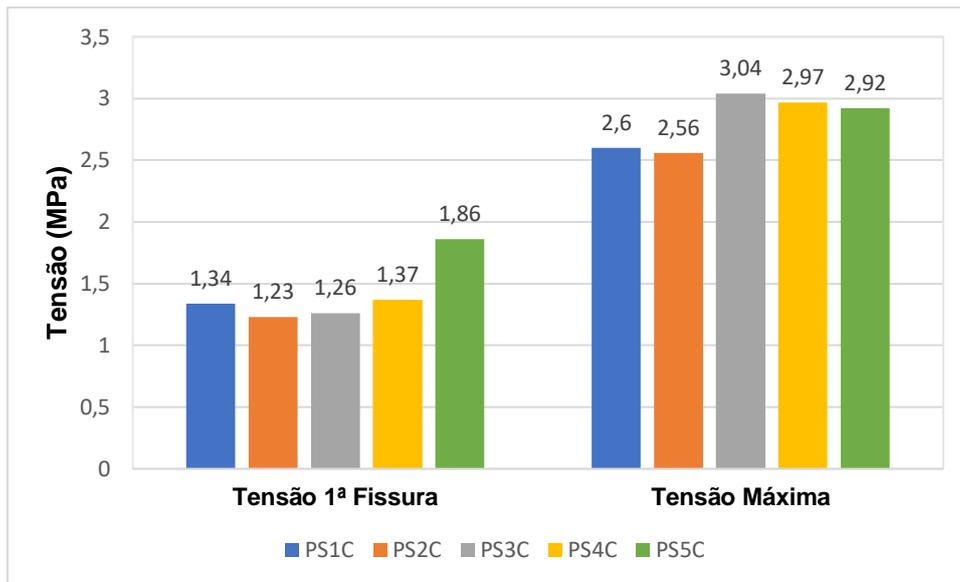
PAINEL	VOLUME DE REFORÇO	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	TENSÃO DE 1ª FISSURA (MPa)	DESLOC.DE 1ª FISSURA (mm)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	DESLOC. NA TENSÃO MÁXIMA (mm)	RIGIDEZ (GPa)
PS1C	6,73	0,506	1,34 (0,22)	0,63 (0,18)	2,6 (0,14)	7,16 (1,66)	2,55 (0,58)
PS2C	9,14	0,584	1,23 (0,07)	0,43 (0,02)	2,56 (0,11)	4,81 (0,86)	3,09 (0,11)
PS3C	10,98	0,757	1,25 (0,03)	0,41 (0,01)	3,04 (0,12)	7,71 (1,21)	3,34 (0,11)
PS4C	10,69	0,882	1,37 (0,09)	0,30 (0,01)	2,96 (0,32)	14,23 (5,50)	5,68 (0,25)
PS5C	12,20	0,831	1,86 (0,56)	1,58 (1,22)	2,50 (0,24)	18,04 (6,61)	1,60 (0,96)

Observou-se que, o painel com 5 camadas de tecido na face ocorreu a ruptura do núcleo por cisalhamento, além de ocorrer o processo de delaminação do núcleo com as faces, como a Figura 31 ilustra. Segundo Arbaoui et. al (2009), este tipo de ruptura acontece quando a tensão de cisalhamento ultrapassa a resistência do material que compõe o núcleo ao cisalhamento.



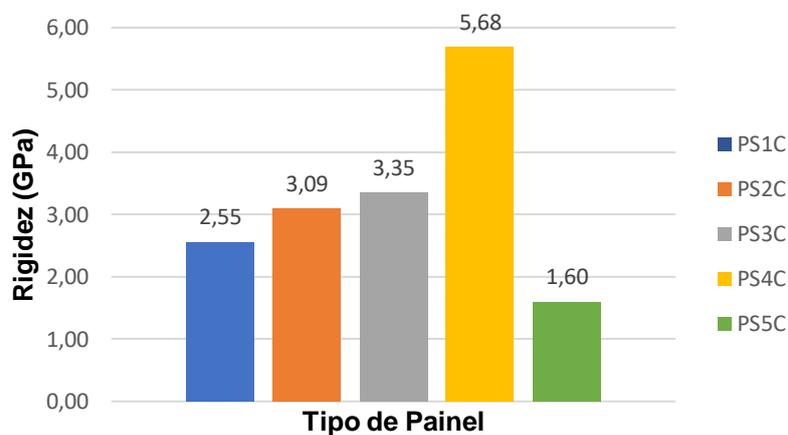
**Figura 31.** Modo de ruptura por cisalhamento do núcleo

Na Figura 32, estão dispostos os resultados comparativos para a tensão crítica e máxima para cada configuração de painel ensaiado. O painel com três camadas na face obteve um melhor desempenho para a tensão máxima com 3,04 MPa e o correspondente com melhor desempenho para tensão crítica com 1,86 MPa foi o painel com 5 camadas na face.



**Figura 32.** Resultados de tensão crítica e máxima para os painéis sanduíche.

Com os resultados obtidos após os ensaios, a Figura 33 compara os resultados obtidos para a rigidez de cada tipo de painel ensaiado. Observa-se que o painel com 4 camadas na face obteve melhor desempenho com relação a rigidez correspondente a 5,68 GPa e o menor desempenho com relação a rigidez foi o de 5 camadas na face com o valor correspondente a 1,60 GPa.



**Figura 33.** Resultados de rigidez para os painéis sanduíche.

## 4.5 Tenacidade

A tenacidade foi definida de acordo com a Norma ASTM C1018 e o exposto por LIMA (2004), onde a área sob a curva “carga x deslocamento” é utilizada para determinação dos índices de tenacidade  $I_5$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{20}$  e  $I_{30}$ . Para cada índice existe um deslocamento associado, este deslocamento por sua vez é múltiplo da primeira fissura, conforme a Tabela 8, observa-se os valores múltiplos da primeira fissura correspondentes para cada índice.

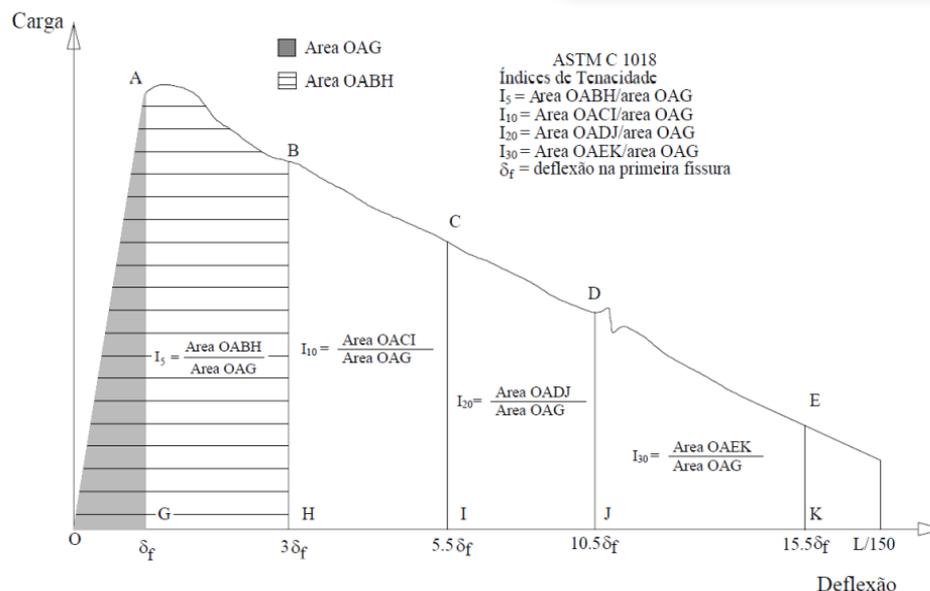
**Tabela 9.** Índices de Tenacidade associados aos valores múltiplos de Primeira

Índice	Deslocamento
$I_5$	$3,5\Delta_{1f}$
$I_{10}$	$5,5\Delta_{1f}$
$I_{20}$	$10,5\Delta_{1f}$
$I_{30}$	$15,5\Delta_{1f}$

\*Onde  $\Delta_{1f}$  representa o deslocamento da primeira fissura.

Fonte: ASTM C1018 (1992).

A Figura 34, mostra a definição dos pontos para os cálculos dos respectivos índices de tenacidade, proposto pela ASTM C1018 (1992).



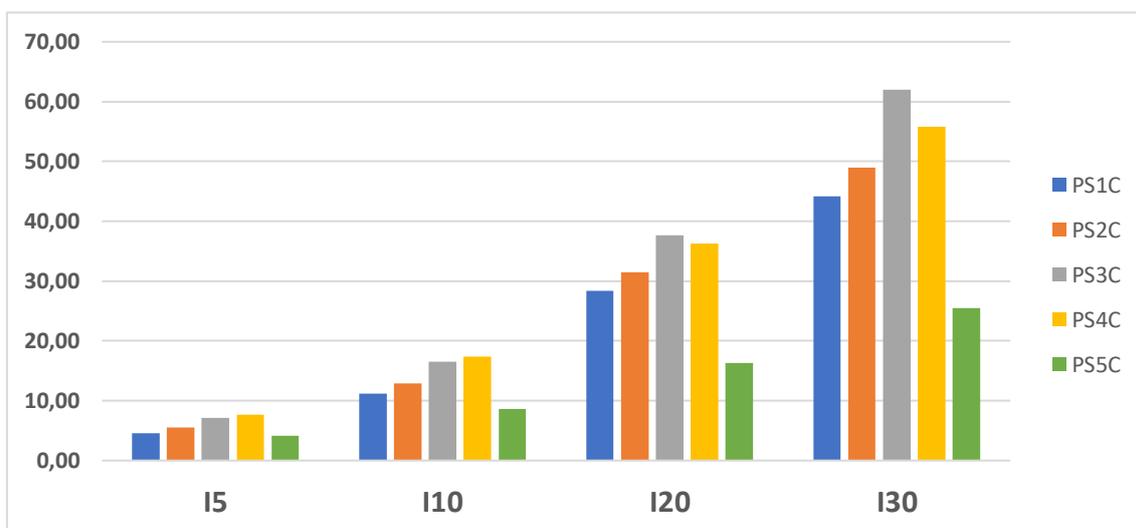
**Figura 34.** Definição dos pontos para o cálculo dos índices de tenacidade proposto pela ASTM C1018 (1992)

Fonte: Lima (2004).

**Tabela 10.** Índices de Tenacidade.

PAINEL	Volume de Reforço (%)				
	I <sub>5</sub>	I <sub>10</sub>	I <sub>20</sub>	I <sub>30</sub>	
PS1C	6,73	4,61 (0,260)	11,20 (1,235)	28,36 (2,083)	44,13 (6,502)
PS2C	9,14	5,58 (0,068)	12,91 (0,265)	31,47 (0,960)	48,92 (1,076)
PS3C	10,98	7,16 (0,143)	16,54 (0,271)	37,61 (0,868)	61,97 (1,440)
PS4C	10,69	7,71 (0,207)	17,33 (1,403)	36,29 (3,057)	55,79 (3,454)
PS5C	12,20	4,18 (0,410)	8,58 (1,989)	16,27 (3,305)	25,49 (4,504)

Na Figura 35 ilustra com auxílio dos gráficos uma queda de desempenho nos compósitos com 5 camadas na face para todos os índices de tenacidade.



**Figura 35.** Índices de Tenacidade de acordo com cada configuração de painel sanduíche.

Em relação a tenacidade, também houve melhoria no desempenho dos compósitos com o aumento do número de camadas de reforço, todavia observa-se uma queda de desempenho nos compósitos com 5 camadas para todos os

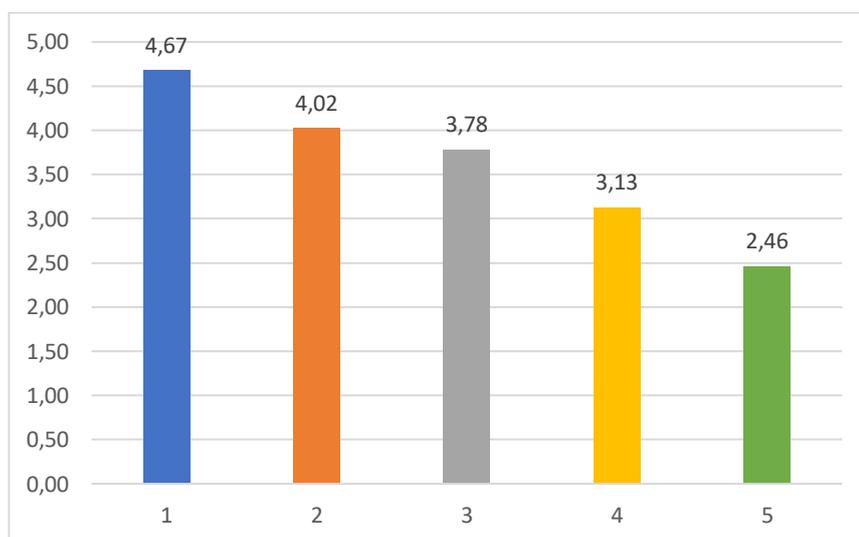
índices de tenacidade. Como supracitado a tenacidade foi calculada de acordo com a Norma ASTM C1018, com o auxílio da área sob a carga x deslocamento.

Com as informações obtidas na Tabela 9, observa-se que a quantidade de reforço influencia diretamente nas propriedades mecânicas dos compósitos, com menos camadas de reforço na face são obtidos resultados melhores com uma menor quantidade de recurso empregada no compósito. Na Tabela 9 estão dispostos os resultados médios e respectivos desvios padrões dos índices de tenacidade  $I_5$ ,  $I_{10}$ ,  $I_{20}$  e  $I_{30}$ .

#### 4.6 Eficiência

Com a intenção de investigar o desempenho dos compósitos com relação a sua massa e ao volume de recursos empregados a Figura 36, ilustra os valores obtidos da eficiência dos compósitos na razão entre tensão máxima média e sua

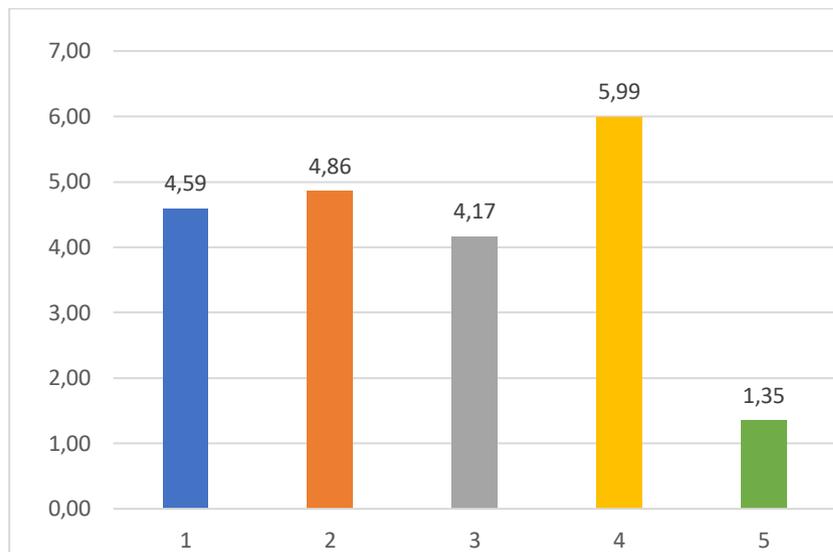
massa unitária  $E = \frac{(Tensão (MPa))}{(Massa Aparente (\frac{g}{cm^3}))}$ .



**Figura 36.** Eficiência do compósito na razão entre tensão máxima média e sua massa unitária.

Podemos inferir que os painéis que possuem até três camadas de tecido na face, possuem eficiência superior aos painéis com mais camadas, em relação a massa e quantidade de recursos utilizados, pois consegue-se materiais mais leves, conseqüentemente um menor custo empregado para o desenvolvimento dos compósitos.

A Figura 37, ilustra os valores obtidos da eficiência dos compósitos na razão entre rigidez média e sua massa unitária  $E = \frac{(Rigidez\ (GPa))}{(Massa\ Aparente\ (\frac{g}{cm^3}))}$ .



**Figura 37.** Eficiência do compósito na razão entre rigidez média e sua massa unitária.

Observa-se que os painéis que possuem até quatro camadas de tecido na face, possuem eficiência com relação a rigidez superior aos painéis com cinco camadas de tecido na face, em relação a massa e quantidade de recursos utilizados.

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver painéis sanduíche com faces reforçadas com tecidos de fibra naturais que fossem leves resistentes aos esforços de flexão.

Os resultados dos ensaios de tração dos tecidos mostram que não houve variação significativa no seu desempenho quando ensaiados na direção da trama e do urdume.

Os compósitos cimentícios reforçados com tecidos de juta na direção da trama tiveram o desempenho inferior ao reforçado com o tecido na direção do urdume.

Pode-se concluir que os resultados dos ensaios de flexão em quatro pontos mostram que o desempenho do painel sanduíche é diretamente afetado pelo número de camadas de reforço, tendo suas tensões máximas, rigidez e tenacidade evoluindo gradativamente até o painel com quatro camadas de reforço. Já o painel com cinco camadas de reforço teve seu modo de ruptura diferente dos demais painéis, ocorrendo a ruptura por cisalhamento do núcleo.

Observa-se ainda que os painéis com três camadas de tecido na face, apresentaram eficiência superior na maioria dos parâmetros analisados aos painéis com mais camadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIPEX. **Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido**. Soluções de isolamento térmico com poliestirenos extrudido (XPS) para construção sustentável. Disponível em: <<https://aipex.es/pt-pt/descripcion-y-propiedades-del-xps/>> Acesso em 24 de setembro de 2020.

AIPEX. **Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido**. Soluções de isolamento térmico com poliestirenos extrudido (XPS) para construção sustentável. Disponível em: < <https://aipex.es/pt-pt/aplicacoes/> > Acesso em 24 de setembro de 2020.

ALLEN, Howard G. Analysis and design of structural sandwich panels. Oxford, 1969.

ALMEIDA, Nuno Miguel Bastos Gomes de. **Estudo estrutural de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras de juta**. Dissertação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Porto, 2012.

ARRUDA FILHO, Adilson Brito de. **Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal**. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal da Bahia – UFBA. Salvador, 2015.

ASKELAND, D. R., PHULÉ P.P, (2015) Ciência e Engenharia do Materiais. Editora Cengage Learning.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12546: Materiais têxteis — Ligamentos fundamentais de tecidos planos — Terminologia**. Rio de Janeiro, 2017.

ASTM C1018, **Standard Test Method for Flexural Toughness and FirstCrack Strength of Fiber-Reinforced Concrete** (Using Beam With Third-Point Loading), Annual Book of ASTM Standards, 1997.

ASTM D5035-11(2019), **Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)

BRANDÃO, C. P. **Compósito com matriz de gesso e reforço de manta de sisal**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, 2015. 102 f

CALDAS, Bruno Gomes Silveira. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. Dissertação. Universidade Federal da Bahia, UFBA. Salvador, 2014.

CALLISTER, W. D. Jr.; (2008): **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**.

CARVALHO, Ricardo Fernandes. **Compósito de fibra de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira**. 2005, 119p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2005.

CAVALCANTI, W. S.; **Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetalvidro: Caracterização mecânica e simulação da sorção de água**. Dissertação. **Mestrado em Engenharia Mecânica**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2006.

COLOMBO, Isabella Giorgia, COLOMBO, Matteo, and Di PRISCO, Marco. **Multilayer precast facade panel: structural optimization for the energy retrofitting and for sustainable constructions**. In 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Université Laval, Québec, Canada, July 2014.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**: Culturas Regionais – Juta e Malva Março de 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/13697-culturas-regionais-juta-e-malva-marco-2020>> Acesso em 24 de setembro de 2020.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**: Série Histórica de Estoques Públicos - Juta. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/estoques/estoques-por-produto/item/1130-serie-historica-de-estoques-publicos-juta>> Acesso em 13 de setembro de 2020.

CRUZ, J. V. G. B. **Comportamento à flexão de painéis sanduíche com núcleo em XPS e faces de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta**.

Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB. Cruz das Almas - BA, 2019.

CTC. **Companhia Têxtil Castanhal: Produtos e suas aplicações.** Disponível em: < <http://www.castanhal.com.br/produtos-lista.php> > . Acesso em 24 de setembro de 2020.

Ferreira SR, Pepe M, Martinelli E, de Andrade Silva Flá, Toledo Filho RD, **Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices,** Composites Part B (2018), doi: 10.1016/j.compositesb.2017.12.016.

FERREIRA, S.R. MARTINELLI, E. PEPE, M. SILVA, F. A. **Inverse identification of the bond behavior for jute fibers in cementitious matrix.** Composites Part B, 95 (2016) 440-452

FERREIRA, S.R.; LIMA, P.R.L.; SILVA, F.A.; TOLEDO FILHO, R.D.; **Effect of sisal fiber hornification on the adhesion with portland cement matrices.** Revista Matéria, v. 17, n. 2, pp. 1024 – 1034, 2012.

FIDELIS, Maria Ernestina Alves. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta.** Tese. Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

FIDELIS, MEA., TOLEDO FILHO, R.D., SILVA, F.A., MOBASHER, B., MULLER, S., MECHTCHERINE, VIKTOR. **Interface characteristics of jute fiber systems in a cementitious matrix.** Cement and Concrete Research 116 (2019) 252-265.

FRANCK, R.R. **Bast and other plant fibre.** Woodhead Publishing Ltd, 2005.

FRAZÃO, C., *et al.* **Development of sandwich panels combining Sisal Fiber-Cement Composites and Fiber-Reinforced Lightweight Concrete.** Cement and Concrete Composites 86, 206 -223, 2018.

GLORIA, M'hamed Yassin Rajiv da. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches 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 – UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

Jamal Arbaoui, Yves Schmitt, Jean-Luc Pierrot, François-Xavier Royer, **Comparison Study and Mechanical Characterisation of a Several Composite Sandwich Structures**, *International Journal of Composite Materials*, Vol. 5 No. 1, 2015, pp. 1-8. doi: 10.5923/j.comaterials.20150501.01.

JOHN, M. J.; THOMAS, S.; Biofibers and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v.71, p.343–364, 2008.

LIMA, P. R. L., **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. Tese de doutorado, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 263 p., 2004

LIMA, P.R.L.; BARROS, J.A.O.; ROQUE, A.B.; FONTES, C.M.A.; LIMA, J.M.F. **Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs**. *Construction and Building Materials*. 2018

MAGNIONT, Camille. **Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources**. PhD thesis, Université de Toulouse III, 2010.

PIRES, E. N. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. 2009. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RAHMAN, 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 JORG MUSSIG.

RAMBO, D. A. S., 2016, **Efeitos da Temperatura no Comportamento Mecânico de Compósitos Refratários Reforçados com Tecidos de Basalto e Carbono**. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2016.

TOLEDO FILHO, R. D., 1997, **Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais: Caracterização Experimental**, Tese de Doutorado, DEC-PUC-Rio / DEC-Imperial College- Londres, Rio de Janeiro.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2010.

WINTERLING, H.; SONNTAG, N. Rigid Polystyrene Foam (EPS, XPS). *Kunststoffe international*. v.10, p. 18-21. 2011.