

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Lucas Luiz Vasselai

Compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta

BLUMENAU

2022

Lucas Luiz Vasselai

Compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Profa Dra. Fernanda Steffens

BLUMENAU

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vasselai, Lucas Luiz

Compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta
/ Lucas Luiz Vasselai ; orientador, Fernanda Steffens,
2022.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Compósitos cimentícios. 3.
Têxteis técnicos. 4. Tecido plano. I. Steffens, Fernanda.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Têxtil. III. Título.

Lucas Luiz Vasselai

Compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 09 de março de 2022

Prof^a. Catia Rosana Lange, Dr^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Fernanda Steffens, Dr^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Maria Elisa Philippsen Missner, Dr^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. José Alexandre Borges Valle, Dr
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela contribuição à minha formação acadêmica. À todos os funcionários da UFSC, Campus Blumenau, por todo apoio e ambiente propício para o desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso.

Ao corpo docente da Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, por disponibilizarem os espaços e recursos para a realização de ensaios deste trabalho.

À minha orientadora Fernanda Steffens por todo apoio, conhecimento compartilhado, incentivo e oportunidades ofertadas a mim ao longo da elaboração do trabalho.

À Deus e a Nossa Sra. de Caravaggio, por estarem sempre comigo em cada etapa de minha vida e por terem me dado força e sabedoria para enfrentar as adversidades.

À base de minha formação e de todas minhas conquistas até hoje, meus pais, Luizinho Vasselai e Terezinha Vasselai. Agradeço pelo incentivo, por todos os ensinamentos e suporte necessário. É por vocês que hoje finalizo este trabalho, e por vocês ainda continuarei em frente.

Aos meus avós, por terem me ensinado valores que carrego comigo em todos os momentos. *Tanti grazie nonni.*

Ao querido colega, Renan Felinto dos Santos, pela disposição em me ajudar na realização deste trabalho de graduação.

À todos os meus colegas e familiares que, de alguma forma me incentivaram a realizar não só este trabalho, mas toda a graduação.

*“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo
de você, menos o seu conhecimento.”*

(Albert Einstein)

RESUMO

São vários os substratos fibrosos e estruturas têxteis usadas para o reforço em materiais compósitos e sua utilização não é recente. Tecidos de juta têm sido uma solução interessante neste âmbito. Entretanto, tratando-se especificamente do desenvolvimento de compósitos cimentícios, estudos que relacionam parâmetros referentes as propriedades dos fios e estruturas utilizadas, como o raporte, densidade, gramatura e fator de cobertura, ainda são pouco explorados na literatura. Deste modo, este trabalho visa avaliar estes critérios, além da influência dos tratamentos superficiais necessários para adequar o substrato têxtil a matriz cimentícia. Para isto, estruturas de tecido plano de juta do tipo tafetá e panamá foram estudados, e a partir do ensaio de tração, aquele com melhor desempenho mecânico foi usado para o desenvolvimento do compósito cimentício, variando-se o percentual de material utilizado e a influência do tratamento. Após o ensaio de tração direta, verificou-se que compósitos cimentícios com 1% de fibra, hornificados, apresentaram desempenho interessante para ser utilizado na construção civil.

Palavras-chave: Juta. Tecido plano. Compósitos cimentícios. Têxteis técnicos.

ABSTRACT

There are several fibrous substrates and textile structures used for reinforcement in composite materials and their use is not recent. Jute fabrics have been an interesting solution in this area. However, specifically dealing with the development of cementitious composites, studies that relate parameters referring to the properties of the yarns and structures used, such as rapport, density, weight and coverage factor, are still little explored in the literature. Thus, this work aims to evaluate these criteria, in addition to the influence of the surface treatments necessary to adapt the textile substrate to the cement matrix. For this, plain jute fabric structures of the taffeta and panama type were studied, and from the tensile test, the one with the best mechanical performance was used for the development of the cementitious composite, varying the percentage of material used and the influence of the treatment. After direct tensile testing, it was found that cementitious composites with 1% fiber, hornified, showed interesting performance to be used in civil construction.

Keywords: Jute. Woven fabric. Cement composites. Technical textiles.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Classificação das fibras têxteis | 20 |
| Figura 2 - Classificação das fibras naturais de origem vegetal..... | 21 |
| Figura 3 - Representação esquemática de uma fibra vegetal | 22 |
| Figura 4 - Produção mundial de juta | 24 |
| Figura 5 - Padronagens básicas dos tecidos planos: tafetá (a); sarja (b);..... | 25 |
| Figura 6 - Representação esquemática (a); seção transversal na direção do urdume (b)..... | 25 |
| Figura 7 - Representação dos raportes panamá regular 2x2 (a); panamá irregular 2x3 (b) | 26 |
| Figura 8 - Classificação dos compósitos | 31 |
| Figura 9 - Diferença entre cimento, argamassa e concreto..... | 33 |
| Figura 10 - Curvas tensão versus deformação de matrizes cimentícias frágeis reforçadas com fibras | 35 |
| Figura 11 - Tecidos planos de juta: (a) TJ1; (b) TJ2; (c) TJ3..... | 38 |
| Figura 12 - Vista superior dos moldes em madeira | 39 |
| Figura 13 - Tanque de cal para a hidratação dos corpos-de-prova..... | 40 |
| Figura 14 - Dispositivo para ensaio mecânico: (a) desenho técnico; (b) dispositivo desenvolvido..... | 41 |
| Figura 15 - Fluxograma para o procedimento experimental | 42 |
| Figura 16 - Comprimento útil das amostras para ensaio de tração | 44 |
| Figura 17 - Amostras em processo de hornificação | 45 |
| Figura 18 - Processo de moldagem dos corpos-de-prova..... | 46 |
| Figura 19 - Dispositivo para o desenvolvimento dos ensaios de resistência à tração direta | 47 |
| Figura 20 - Relação entre gramatura e fator de cobertura | 49 |
| Figura 21 - Gráficos tensão versus deformação na direção do urdume | 50 |
| Figura 22 - Gráficos tensão versus deformação na direção da trama..... | 51 |
| Figura 23 - Análise do comportamento das curvas tensão versus deformação do tecido TJ2 na direção da trama | 52 |
| Figura 24 - MEV dos corpos-de-prova reforçados com tecido de juta hornificado (a) e sem tratamento (b) com ampliações de 22 vezes..... | 54 |
| Figura 25 - Gráfico tensão versus deformação linearizado | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 - Resistência à tração dos corpos-de-prova em estudo | 55 |
| Figura 27 - Falha macroestrutural após ensaio de resistência à tração dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a, b); CRTJ (c, d) e CRTJH (e, f).. | 57 |
| Figura 28 - Falhas após ensaio de tração dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a, b, c, d); CRTJ (e, f, g, h) e CRTJH (i, j, k, l) | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Especificações técnicas dos tecidos planos de juta | 38 |
| Tabela 2 - Traço da argamassa | 45 |
| Tabela 3 - Caracterização dos tecidos de juta | 48 |
| Tabela 4 - Grandezas físicas dos tecidos de juta | 49 |
| Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos tecidos de juta | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ALMACO | Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos |
| ASTM | Sociedade Americana para Testes e Materiais |
| CP | Cimento puro |
| CRTJ1 | Compósito cimentício reforçado com 1% de tecido |
| CRTJ2 | Compósito cimentício reforçado com 2% de tecido |
| CRTJ4 | Compósito cimentício reforçado com 4% de tecido |
| GPa | Giga Pascal |
| g | Gramas |
| kN | KiloNewton |
| LABCTEX | Laboratório Físico Têxtil |
| LABTEC | Laboratório de Tecidos e Malhas |
| LEM | Laboratório de Ensaios Mecânicos |
| N | Newton |
| MPa | Mega Pascal |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |
| E | Módulo de Elasticidade |
| UFRN | Universidade Federal do Rio Grande do Norte |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| σ | Tensão |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 18 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 18 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos..... | 18 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 2.1 | FIBRAS TÊXTEIS..... | 19 |
| 2.2 | FIBRAS NATURAIS..... | 20 |
| 2.2.1 | Fibras vegetais | 21 |
| 2.2.1.1 | <i>Fibra de juta</i> | 22 |
| 2.3 | TECIDO PLANO | 24 |
| 2.3.1 | Tafetá e seus derivados..... | 25 |
| 2.3.2 | Propriedades dos tecidos planos | 26 |
| 2.3.2.1 | <i>Fator de cobertura.....</i> | 27 |
| 2.3.2.2 | <i>Gramatura</i> | 28 |
| 2.3.2.3 | <i>Volume específico</i> | 29 |
| 2.4 | TÊXTEIS TÉCNICOS | 29 |
| 2.5 | COMPÓSITOS | 30 |
| 2.5.1 | Matriz cimentícia..... | 32 |
| 2.5.1.1 | <i>Cimento Portland.....</i> | 32 |
| 2.5.2 | Compósitos cimentícios reforçados com fibras..... | 33 |
| 2.5.3 | Compósitos cimentícios reforçados com tecidos planos..... | 35 |
| 2.5.4 | Tratamentos superficiais | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.4.1 | <i>Hornificação</i> | 36 |
| 2.6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 37 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 38 |
| 3.1 | MATERIAIS | 38 |
| 3.1.1 | Tecidos planos de juta | 38 |
| 3.1.2 | Cimento Portland | 39 |
| 3.1.3 | Moldes | 39 |
| 3.1.4 | Tanque de água saturada de óxido de cálcio (cal) | 40 |
| 3.1.5 | Dispositivo para ensaio de tração direta de compósitos cimentícios | 40 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 41 |
| 3.2.1 | Caracterização e análise de tecidos planos de juta | 43 |
| 3.2.2 | Ensaio à tração nos tecidos de juta | 44 |
| 3.2.3 | Fabricação dos compósitos | 44 |
| 3.2.3.1 | <i>Moldagem e cura dos corpos-de-prova</i> | 46 |
| 3.2.3.2 | <i>Microscopia eletrônica de varredura</i> | 46 |
| 3.2.3.3 | <i>Ensaio de resistência à tração</i> | 47 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 48 |
| 4.1 | TECIDOS DE JUTA..... | 48 |
| 4.1.1 | Ensaio à tração | 49 |
| 4.2 | PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS | 53 |
| 4.2.1 | Microscopia eletrônica de varredura | 54 |
| 4.2.2 | Resistência à tração | 54 |
| 4.2.3 | Análise visual de falhas | 56 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | CONCLUSÃO..... | 59 |
| 6 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 60 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve considerável aumento na busca pela utilização de substratos fibrosos como material de reforço alternativo para o desenvolvimento de compósitos, principalmente quando relacionados a construção civil (JIANG *et al.*, 2018). Isto se deve ao fato que naturalmente, o principal insumo do setor civil, materiais cimentícios, apresentam como característica a fragilidade e, portanto, substratos têxteis contribuem com o aumento da ductibilidade e tenacidade pós-fissuração (YAN; CHOUW, 2013). Além disso, Degussa (2003) cita que problemas relacionados à redução de desempenho em construções podem ocasionar fissuras, levando ao colapso parcial ou total da estrutura. Isto ocorre devido as condições aos quais os materiais são submetidos, além das falhas nos métodos construtivos.

Dentre as fibras têxteis, ressaltam-se as vegetais como curauá, sisal, linho e juta, que podem ser aplicadas como reforço e que vem sendo muito exploradas na literatura (KABIR *et al.*, 2012). Em virtude da grande variabilidade morfológica a qual podem ser utilizadas (fibras, fios, superfície têxtil e combinações), muito se avalia sobre sua contribuição nas propriedades mecânicas em materiais cimentícios, bem como impulsionam o processo de desenvolvimento sustentável para os setores têxtil e de construção civil. Isto se deve ao fato que materiais oriundos de recursos naturais contribuem com a redução de processos industriais (PRAMBAUR *et al.*, 2019). A exemplo disto, pode-se citar as fibras de juta que apresentam como característica elevada rigidez, o que sugere material alternativo considerável para o reforço de estruturas, visto que, tal propriedade é critério fundamental para a projeção de edificações (JOSEPH; CARVALHO, 1999).

Devido às vantagens de manuseio e uniformidade de distribuição na matriz, estudos recentes abordam a aplicação de tecidos planos de origem vegetal como alternativa (FAZITA *et al.*, 2016). A utilização destes como reforço em compósitos cimentícios exhibe comportamento “*strain hardening*”, ou seja, um aumento de resistência à tração e capacidade de deformação (FIDELIS *et al.*, 2017). Apesar das vantagens conferidas, relata-se que a hidratação do cimento Portland, no caso, hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), reage com o insumo fibroso celulósico, ocorrendo o processo de mineralização, que o

torna frágil e quebradiço (DOS SANTOS *et al.*, 2019). Além disso, a capacidade das fibras de absorver e perder água durante a fabricação e cura do compósito, resulta em alterações que impactam a adesão entre matriz-fibra. Portanto, tratamentos superficiais são sugeridos para melhorar o desempenho entre as duas fases: matriz e reforço, ou seja, cimento e fibra (FERREIRA *et al.*, 2015; WEI; MEYER, 2017).

Nesta conjuntura, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta, a partir da avaliação das influências dos parâmetros de construção do substrato têxtil no desempenho do compósito resultante.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho mecânico a tração de diferentes concentrações de tecido plano de juta na produção de compósitos de matriz cimentícia, além da influência do tratamento superficial do substrato no desempenho do compósito.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar as propriedades dos tecidos planos de juta e determinar o substrato com melhor desempenho para a produção dos compósitos;
- b) Determinar as proporções de cimento e agregados para a produção de compósitos, o método para mistura, moldagem e cura dos corpos-de-prova;
- c) Avaliar a influência do reforço de tecido de juta no compósito, utilizando o método de ensaio de resistência à tração;
- d) Analisar a formação de fissuras após rompimento mecânico na estrutura dos corpos-de-prova.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o estado da arte relacionado ao tema abordado neste trabalho de conclusão de curso. Inicialmente, são apresentados conceitos de fibras têxteis, especialmente as fibras vegetais, associados a estrutura e composição da fibra, com ênfase na fibra de juta, ressaltando sua potencialidade de aplicação em compósitos de matriz cimentícia. Em seguida, é abordado conceitos relacionados aos diferentes tipos de padronagens de tecidos planos, de forma a compreender as influências referentes ao substrato no reforço de material cimentício. Por fim, tópicos relacionados a compósitos cimentícios são também apresentados para entendimento da estrutura do material em estudo.

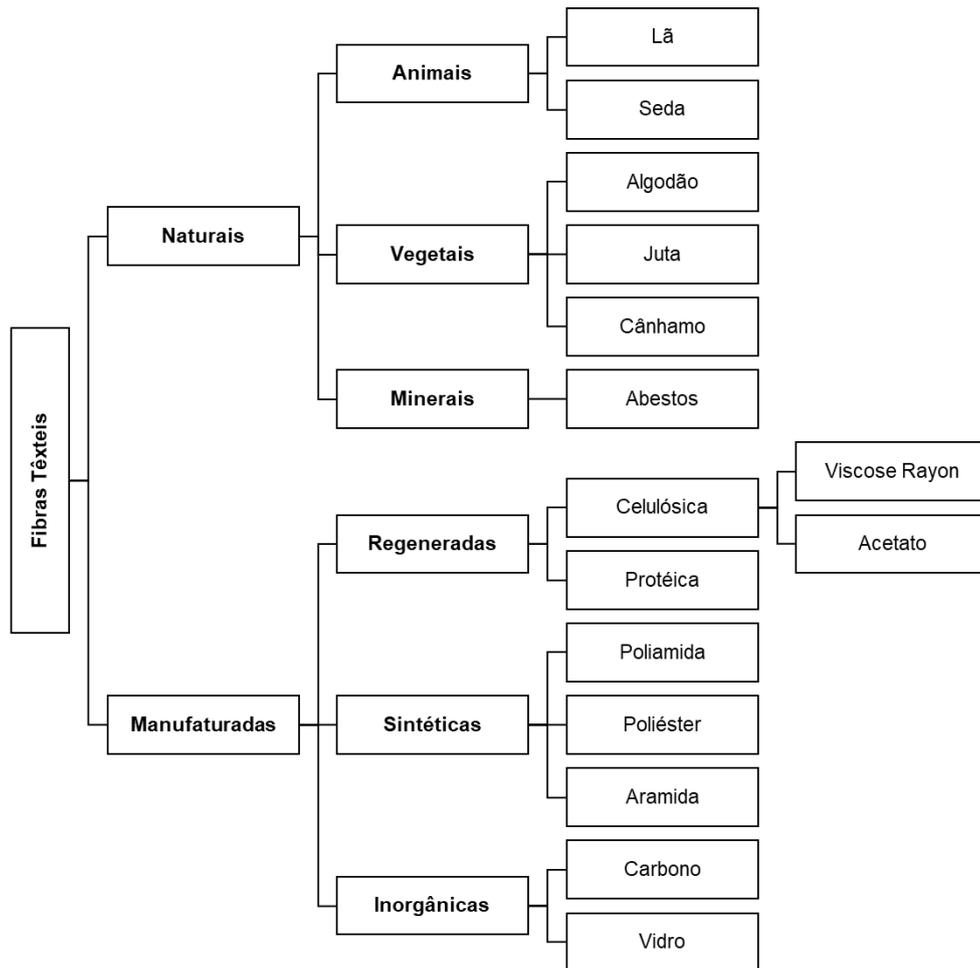
2.1 FIBRAS TÊXTEIS

Fibra têxtil é toda matéria natural ou manufaturada, que apresenta elevada relação entre seu comprimento e sua seção transversal. São materiais filiformes caracterizados por sua finura, flexibilidade e elasticidade (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

As fibras são empregadas em uma ampla gama de aplicações. Suas propriedades dependem diretamente da sua estrutura morfológica. As moléculas podem se agrupar de forma alinhada e orientada (regiões cristalinas) ou se agrupar de maneira aleatória (regiões amorfas), cada qual responsável por propriedades de resistência e rigidez, flexibilidade e reatividade, respectivamente (SALEM, 2010).

Fibras naturais são obtidas a partir de fontes renováveis e são classificadas em: vegetais (provenientes de diversas partes das plantas); animais (obtidas de suas secreções ou pêlos); e minerais (provindas de rochas). Já as fibras manufaturadas, conhecidas como *man-made-fibers*, são desenvolvidas a partir de reagentes químicos, subdivididas em artificiais (derivadas de polímeros naturais regenerados), sintéticas (oriundas de reações de polimerização) e inorgânicas (provenientes de compostos químicos inorgânicos), conforme apresentado na Figura 1 (KADOLPH, 2011).

Figura 1 - Classificação das fibras têxteis



Fonte: Adaptado de Kadolph (2011)

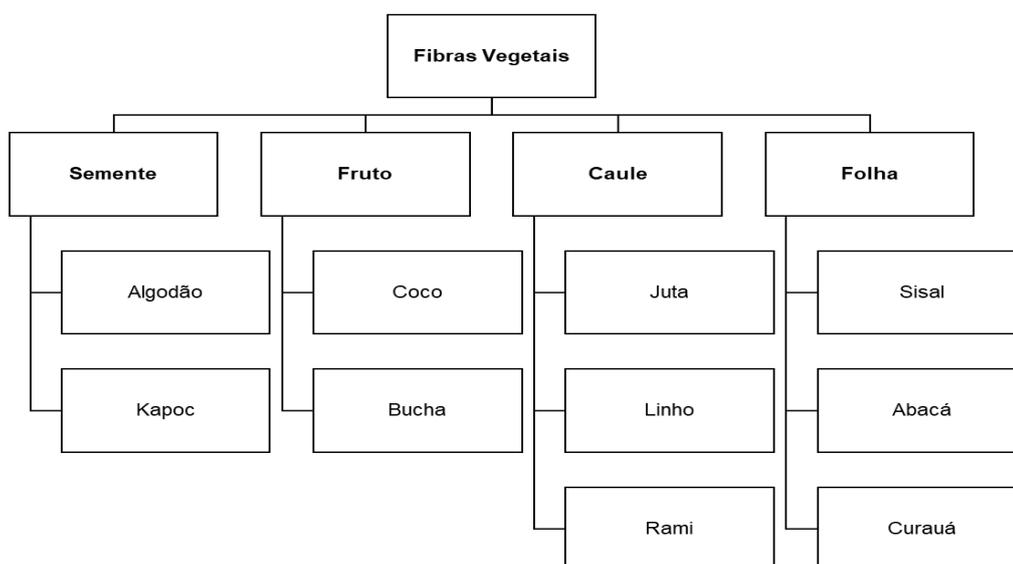
2.2 FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais estão sob extensa pesquisa para substituir de maneira parcial ou total as fibras manufaturadas em várias aplicações (MELO FILHO, 2012). A crescente preocupação com o meio ambiente tem feito com que a indústria começasse a ter maior interesse pela sua utilização. Neste contexto, com o avanço da tecnologia, que permite seu melhor aproveitamento, estudos referentes a fibras vegetais como juta, sisal, rami e coco tem se intensificado nos últimos anos, principalmente em aplicações do setor civil (RAMESH, 2019). Por atenderem a requisitos técnicos e econômicos, estas fibras apresentam propriedades relevantes para serem utilizadas na construção. Ressalta-se, portanto, que apresentam propriedades de elevado módulo de elasticidade e resistência à tração, além de baixo custo de produção (CELINO *et al.*, 2014).

2.2.1 Fibras vegetais

As fibras vegetais, também denominadas de fibras lignocelulósicas, consistem em estruturas alongadas, de seção transversal oca e arredondada. São classificadas segundo a região da planta de onde são extraídas, provenientes de sementes, frutos, caules e folhas (CLEMONS; CAULFIELD, 2005). A Figura 2 ilustra alguns exemplos de fibras vegetais.

Figura 2 - Classificação das fibras naturais de origem vegetal



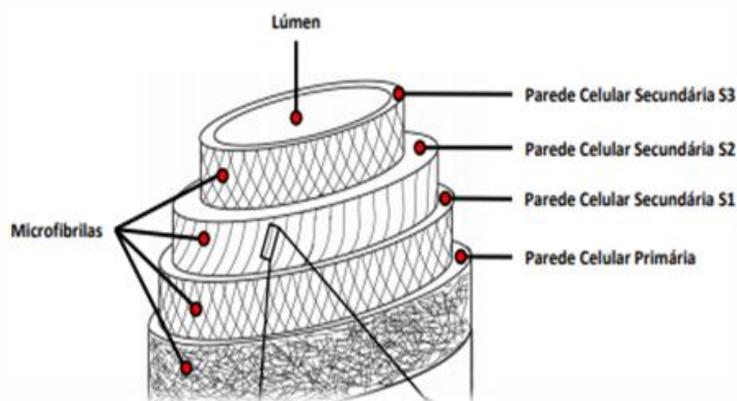
Fonte: Adaptado de Eichhorn, Hearle e Jaffe (2009)

Seus principais componentes químicos são substâncias polares, tais como celulose, hemicelulose e lignina, além de pequenas quantidades de sais inorgânicos, pectina, açúcares livres, ceras e gorduras que variam de acordo com a planta (ROWELL, 2000). São cadeias que vão, desde longas, como a celulose, até menores, como a lignina. A forma como os constituintes fundamentais da fibra se une é semelhante à configuração dos materiais compósitos. Ou seja, as microfibrilas de celulose são ligadas as moléculas de hemicelulose da parede celular por meio de ligações de hidrogênio, dando origem a uma rede, fazendo com que a hemicelulose atue como matriz para guiar as microfibrilas. Já a lignina atua como agente de reforço onde promove o aumento da rigidez da rede formada (KAITH; KAUR, 2011).

É oportuno comentar que a parede celular das fibras naturais assemelha-se a um tubo oco, composta por duas paredes: a primária (mais

externa) e secundária (mais espessa), as quais circundam à cavidade central (lúmen), conforme ilustrado na Figura 3. As microfibrilas da parede primária são finas e dispostas aleatoriamente, envolvendo a parede secundária, sendo esta última dividida em três subcamadas (S₁, S₂ e S₃), sendo a camada S₂ a de maior espessura (PEREIRA *et al.*, 2015).

Figura 3 - Representação esquemática de uma fibra vegetal



Fonte: Adaptado de Eichhorn, Hearle e Jaffe (2009)

Ao contrário das fibras manufaturadas, seu controle produtivo é mais reduzido, em virtude da sua variabilidade natural. No entanto, para abordar as questões associadas ao uso de fibras manufaturadas e propor técnicas inovadoras para desenvolver e melhorar as propriedades das fibras vegetais, pesquisas sobre matérias-primas sustentáveis tornou-se uma tendência, já que uma das maiores dificuldades relatadas das fibras manufaturadas é seu impacto ambiental após sua vida útil (MELO FILHO, 2012).

2.2.1.1 Fibra de juta

Dentre as diversas fibras vegetais existentes, destaca-se a fibra de juta. Originária da Índia, a *Corchorus Capsularis*, que provém da família das *Tilioideae*, apresenta uma erva lenhosa que pode atingir uma altura de 3 a 4 metros (ALVES, 2008). Além de ser uma fibra longa, apresenta superfície lisa e é uma das fibras vegetais com maior resistência mecânica. Pode apresentar valores de resistência à tração de 800 MPa (YAN *et al.*, 2014; PICKERING; EFENDY, 2016) e módulo de elasticidade de 55 GPa (VAISANEN; TOMPPONEN, 2017), sendo estes superiores ao das fibras de polietileno e poliéster, 400 MPa

e 15 GPa, respectivamente (ANANDAMURTHY *et al.*, 2017). A resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras são diretamente proporcionais ao teor de celulose (ao qual nas fibras de juta varia entre 61-71,5%), e inversamente proporcionais ao aumento do ângulo microfibrilar (8° para estas fibras), que se refere ao ângulo que as microfibrilas da camada S₂ da parede celular faz com o eixo longitudinal da célula. Além disso, a fibra apresenta baixa recuperação elástica (DEFOIRDT *et al.*, 2010).

Em termos de consumo e produção global, é considerada a segunda fibra vegetal mais importante do mundo, atrás somente do algodão (BROOKS, 2021). Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), em 2019, o continente asiático foi responsável por 99,7% da produtividade mundial.

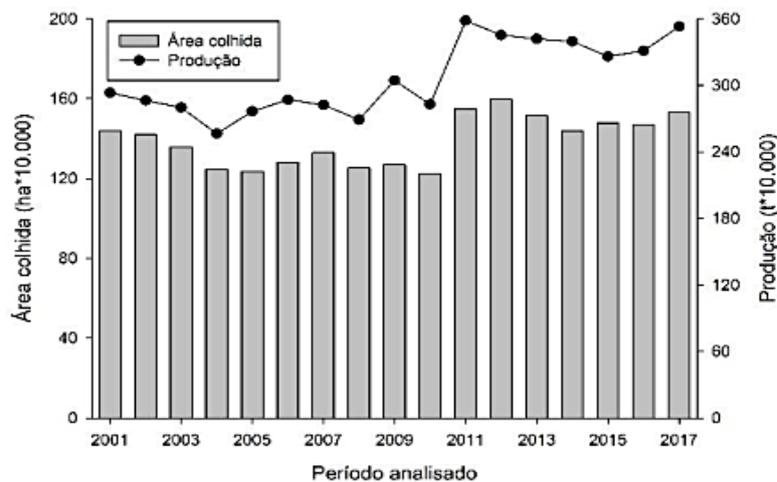
No Brasil, a partir da sua introdução por Ryota Oyama na década de 30 do século passado, logo se tornou uma das principais atividades econômicas dos agricultores nos estados do Amazonas e do Pará (CATTANI, 2016). O ciclo produtivo leva seis meses e a semeadura varia segundo a natureza e clima, coincidindo com os períodos de cheia e vazante dos rios (ALVES, 2008). Seu plantio facilita a rotação de culturas, que proporciona melhores propriedades físicas, químicas e biológicas ao solo. Sua produção não emprega queimadas, agrotóxicos e fertilizantes, portanto, definindo-se um ciclo natural (DUARTE, 2019).

A fibra de juta propriamente dita encontra-se entre a casca e o talo interno. Os talos são cortados, reunidos em feixes, e seguem para o processo de maceração, no qual facilita a retirada da fibra do talo através do seu apodrecimento, por enzimas ou bactérias, que agem na pectina (LIMA, 2009). A elevada temperatura das regiões nas quais é cultivada favorece a retirada dos feixes de oito a dez dias após serem imersas nas águas dos rios, com o propósito de realizar a separação da fibra da parte lenhosa do talo de forma manual (ALVES, 2008). Posteriormente, as fibras são encaminhadas para o processo de lavagem e secagem.

Ao longo dos anos, uma parte significativa do mercado de juta sofreu percalços e crises pelo surgimento de materiais sintéticos, principalmente polipropileno e polietileno, que teve início em 1970 e se intensificou no início dos anos de 1990 (TEIXEIRA, 2014). Desde a década 2000, a produção no

Brasil vinha em queda, porém, atualmente, é possível notar uma melhora no mercado devido ao crescente consumo por parte de produtos com apelo ecológico (CONAB, 2019). No cenário internacional, a partir de 2010, verifica-se uma tendência entre o aumento da produção e área colhida, como apresentando os dados na Figura 4.

Figura 4 - Produção mundial de juta



Fonte: Marques; Linhares; Vasconcelos; Alves (2019)

Por fim, destaca-se que a juta, é considerada uma importante matéria-prima fibrosa na constituição de alternativas sustentáveis. Devido a isso, já vem sendo explorada nas indústrias automobilística e de construção civil, em virtude do seu potencial de reforço para materiais compósitos (MONTEIRO *et al.*, 2009; MUSSIG; STEVENS, 2010).

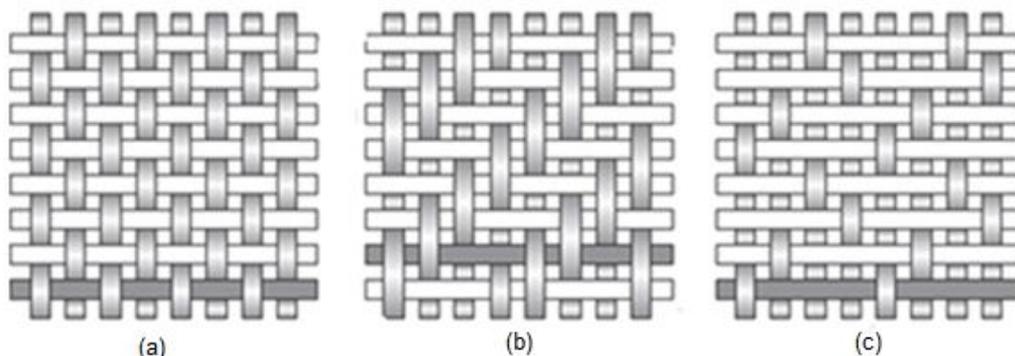
2.3 TECIDO PLANO

É uma estrutura produzida por um conjunto de fios de urdume e de trama, formando entre si um ângulo de 90 graus (ABNT, 1993). Apresenta maior resistência mecânica que os tecidos de malha, devido à configuração do seu entrelaçamento, constituída de fios de urdume e trama (GORDON; HSIEH, 2006).

O modo de tecer os fios determina a estrutura básica de um tecido plano, ou seja, seu padrão (BEHERA; HARI, 2010). São três os ligamentos básicos de cruzamento dos fios na direção da trama e do urdume: tafetá, sarja e cetim, conforme ilustrado na Figura 5. Os tecidos tafetás ou telas, como

também são chamados, são os de maior estabilidade dimensional dentre os tipos citados. Os cetins podem apresentar formas complexas com maior facilidade, devido há predominância de “saltos mais longos”, ora pelo fio de urdume, ora pelo fio de trama, em sua estrutura. Já as sarjas são relativamente estáveis (ADANUR, 2002).

Figura 5 - Padronagens básicas dos tecidos planos: tafetá (a); sarja (b); cetim (c)

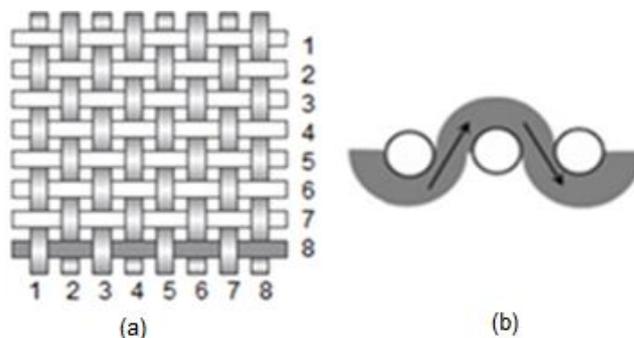


Fonte: Adanur (2002)

2.3.1 Tafetá e seus derivados

Refere-se à estrutura mais simples de um tecido plano. Sua construção é originada pelo entrelaçamento alternado de um fio de urdume mediante a um fio de trama. Portanto, apresenta a mesma quantidade de fios (trama e urdume) e raporte (1/1), que pode ser visualizado na Figura 6. Não há diferença entre suas faces (direito e avesso técnico) (ADANUR, 2002). Cerca de 70% dos tecidos planos ofertados no mercado são construídos a partir deste ligamento (PEZZOLO, 2013).

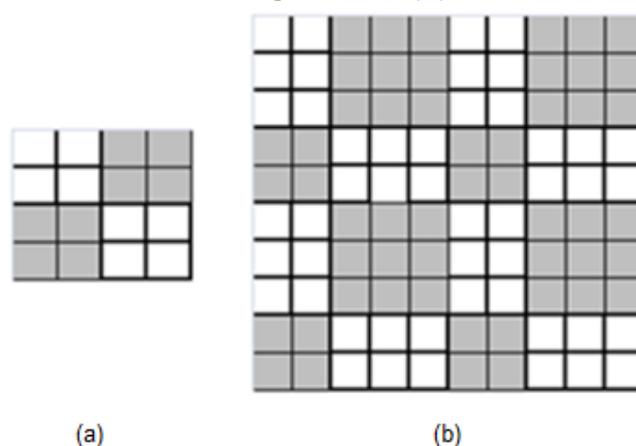
Figura 6 - Representação esquemática (a); seção transversal na direção do urdume (b)



Fonte: Pezzolo (2013)

Derivações podem ser obtidas com a introdução de mais de um fio de urdume e trama no raporte, sendo uma destas, o panamá. São estruturas que apresentam maior estabilidade quando comparadas a sua base, o tafetá (LASCHUK, 2009). Estruturas panamá subdividem-se em regulares (mesma quantidade de fios de trama e urdume) e irregulares (distintas quantidades de fios por unidade repetitiva), que podem ser evidenciados na Figura 7.

Figura 7 - Representação dos raportes panamá regular 2x2 (a); panamá irregular 2x3 (b)



Fonte: Laschuk (2009)

2.3.2 Propriedades dos tecidos planos

A geometria do tecido é determinante para o entendimento das propriedades do substrato têxtil, visto que, relaciona-se ao perfil de entrelaçamento entre os fios de urdume e trama (GONG; CHEN, ZHOU, 2018). Desta forma, os parâmetros que envolvem o desenvolvimento e construção de tecidos planos são importantes para a compreensão do material, bem como, o desempenho esperado frente a distintas aplicações.

Desde o século passado, algumas propostas para cálculo de parâmetros têxteis têm sido estudadas, como por exemplo, modelos de Pierce (1937), Kemp (1958), Grosberg (1969), dentre outros (CASTILLO; FROTA; LIRA, 2012). É conveniente comentar que cada modelo de medição contém considerações de acordo com as hipóteses de cada autor, havendo similaridade, mas não padronização entre as formas de aferição. Entretanto, com o passar das décadas, investigações buscam correlacionar limites de aceitabilidade dos desvios entre os modelos geométricos. A exemplo disto cita-

se o trabalho de Castillo, Frota e Lira (2012). Os autores obtiveram resultados favoráveis para a redução de desperdícios na manufatura de tecidos planos, utilizando correlações para o cálculo do fator de cobertura.

Conforme citado por Behera e Hari (2010), a estrutura geométrica e suas propriedades é estabelecida pela interação entre fios, em ambas as direções (urdume e trama), densidade, crimpagem/frisado e título dos fios utilizados. Estes fatores influenciam as propriedades do material têxtil, como fator de cobertura, gramatura, volume específico e espessura do tecido, especificações físicas importantes, principalmente, para o mercado de têxteis (ELMOGAHZY, 2020). As propriedades dos tecidos planos e suas características, como gramatura, densidade, espessura, ligamento/padrão ou raporte, alongamento, elasticidade, as quais determinam a correta aplicação do material em questão (ADANUR, 2002) são reguladas nacionalmente pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.3.2.1 Fator de cobertura

O fator de cobertura indica o quanto que um tecido é coberto por fios de trama, urdume ou ambos. O diâmetro do fio, ligamento do tecido e aplicação final são fatores que influenciam na sua determinação (CREPALDI, 2017). A dimensão dos espaços entre os fios do tecido depende da densidade de urdume, de trama e do diâmetro do fio. Quando a trama e o urdume se encontram espaçados de forma uniforme, a parte não coberta pelos fios é dada pela Equação 1 (CREPALDI, 2017):

$$(p_1 - d_1) \times (p_2 - d_2) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

p_1 e p_2 = espaçamento entre fios de urdume e trama, respectivamente;

d_1 e d_2 = diâmetro dos fios de urdume e trama, na devida ordem.

Já o espaço total ocupado pelo fio em mm, representado por P, é dado pela Equação 2, sendo n a quantidade de fios por centímetro.

$$P = \frac{10}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

A cobertura de um tecido é um indicativo da permeabilidade deste tecido à diferentes materiais, como luz, gases e líquidos. Ou seja, um baixo fator de cobertura indica um elevado espaçamento entre os fios, obtendo uma elevada permeabilidade, por exemplo ao ar, e conseqüentemente uma maior passagem de água (CREPALDI, 2017).

A cobertura do fio de urdume é definida pela Equação 3:

$$K_{\text{cob1}} = \frac{d_1}{p_1} \quad (\text{Equação 3})$$

A cobertura do fio de trama pela Equação 4:

$$K_{\text{cob2}} = \frac{d_2}{p_2} \quad (\text{Equação 4})$$

Posteriormente, o fator de cobertura total é determinado pela soma do fator de urdume (K_1) e trama (K_2), conforme a Equação 5:

$$K_t = K_1 + K_2 \quad (\text{Equação 5})$$

Conforme citado por Crepaldi (2017), há certa dificuldade em obtenção da dimensão exata do diâmetro do fio, visto que existe variação ao longo do comprimento do material. Portanto, considera-se que o diâmetro do fio é igual a raiz quadrada do título em Tex. Desta maneira, tem-se o fator de cobertura corrigido para urdume (Equação 6) e trama (Equação 7), sendo n_1 e n_2 a quantidade de fios por centímetro de urdume e trama, respectivamente.

$$K_1 = \sqrt{\text{Tex}_1} \times n_1 \times 10^{-1} \quad (\text{Equação 6})$$

$$K_2 = \sqrt{\text{Tex}_2} \times n_2 \times 10^{-1} \quad (\text{Equação 7})$$

2.3.2.2 Gramatura

Consiste em determinar a massa do tecido por determinada área, sendo realizada na maioria das vezes em gramas por metro quadrado, e é obtida por intermédio da Equação 8. Destaca-se que as nomenclaturas 1 e 2 designam a direção do fio na estrutura do tecido, isto é, urdume e trama, respectivamente.

$$gsm = [T_1E_1 (1 + c_1) + T_2E_2 (1 + c_2) \times 10^{-1}] \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

T = título do fio em Tex;

E = quantidade de fios por cm;

c = frisado do fio.

2.3.2.3 Volume específico

Indica o volume ocupado por um material por unidade de massa. O cálculo para o volume específico dos tecidos planos é realizado a partir da Equação 9 (CREPALDI, 2017).

$$v = \frac{1}{p} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

v = volume específico do fio (cm³/g);

p = densidade da fibra (g/cm³).

Estudos constatam que a porcentagem de empacotamento (A), que é a porcentagem de fibras no fio, varia, dependendo da fibra e do fator de torção utilizado. Para obter-se este fator, tem-se a Equação 10.

$$A = \frac{100}{pxv} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

v = volume específico do fio (cm³/g);

p = densidade da fibra (g/cm³);

A = fator de empacotamento.

2.4 TÊXTEIS TÉCNICOS

Os têxteis convencionais são produzidos por estruturas de tecelagem, malharia, não tecidos ou entrançados, e são utilizados majoritariamente em vestuário e têxteis lar (cama, mesa e banho). No entanto, a busca por inovações, tendo em consideração aplicações que desempenhem requisitos específicos proporcionados pelos materiais fibrosos, deu origem aos denominados “têxteis técnicos”. Assim, são materiais que apresentam propriedades de elevado desempenho, e a obtenção dos mesmos pode ocorrer

a partir da escolha das fibras, estruturas de entrelaçamento ou aplicação de tratamentos físicos, químicos e biológicos sobre o material (HORROCKS; ANAND *et al.*, 2000).

As características dos têxteis técnicos se estendem a gama de aplicações possíveis e permitem o desenvolvimento de novos materiais/produtos (KUMAR, 2016). São desenvolvidos para atender as necessidades específicas das mais diversas áreas como a agroindústria, construção, arquitetura, medicina, transporte, esportes, entre outras (HORROCKS; ANAND *et al.*, 2000).

A produção de têxteis técnicos é a que mais cresce atualmente no segmento têxtil. Segundo a *KPMG International Cooperative*, uma rede global constituída por empresas membro independentes, em 2018, o tamanho do mercado de têxteis técnicos foi estimado em US \$ 176,8 bilhões, crescendo a uma taxa de 5% ao ano, com expectativa de chegar a US \$ 220,37 bilhões em 2022. Em 2017, a região da Ásia-Pacífico obteve a maior taxa de crescimento, e prevê-se responder por mais de 30% do mercado global em 2022 (IRANI *et al.*, 2019).

2.5 COMPÓSITOS

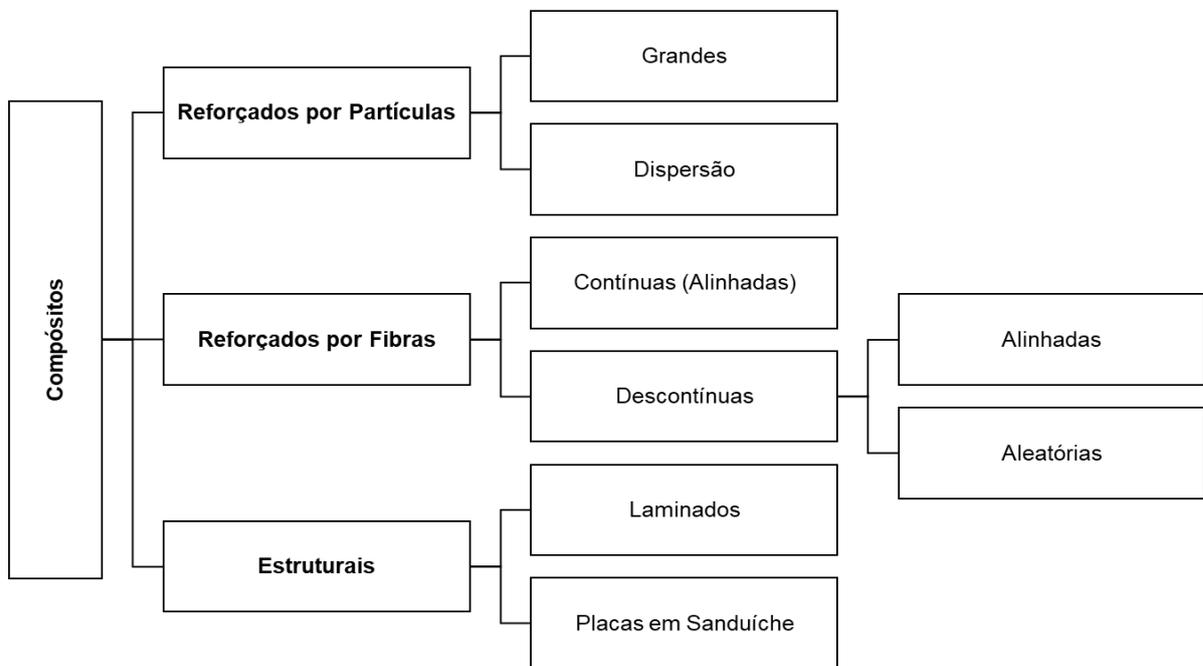
Abrangem os mais diversos campos de aplicação, como aviação, construção civil e transporte (BORBA *et al.*, 2018). Introduzidos no setor civil, principalmente em edificações, o material compósito é comumente utilizado na parte estrutural, mas também como isolante térmico e acústico, combate à corrosão, entre outras funcionalidades (VIRINO, 2018). Segundo a Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos (ALMACO), em 2019, o segmento de construção civil correspondeu por 32% do consumo da indústria brasileira de compósitos.

Por definição, um compósito é composto, no mínimo, por dois constituintes (uma fase contínua, denominada matriz, e por uma fase descontínua e dispersa, nomeada reforço) com distintas composições, estruturas e propriedades, e são separados por uma interface (NETO; PARDINI, 2006). A matriz é a fase que apresenta suas propriedades aprimoradas a partir da inserção de outro material, sendo responsável por unir

as partículas, fibras ou estruturas do reforço, fornecendo sustentação. O reforço proporciona a melhora das propriedades mecânicas da matriz, que baseado na sua geometria determina o sucesso ou não do material resultante desenvolvido. Já a interface permite uma distribuição adequada de forças entre o reforço e a matriz (AGARWAL et al., 2018).

Em função da aplicação do material compósito é que se determina o tipo de matriz (cerâmica, metálica ou polimérica), tipo de reforço (particulados, fibras ou estruturados), quantas camadas e quais direções será utilizado (CALLISTER, 2006). A Figura 8 contém o esquema de classificação para os diferentes compósitos de acordo com o tipo de reforço utilizado.

Figura 8 - Classificação dos compósitos



Fonte: Adaptado de Callister (2006)

Em comparação com os materiais estruturais convencionais, os compósitos têm por objetivo principal a obtenção de um único dispositivo que reúna características de seus componentes individuais de forma adequada, apresentando propriedades estruturais superiores, além de massa inferior (REZENDE et al., 2011).

2.5.1 Matriz cimentícia

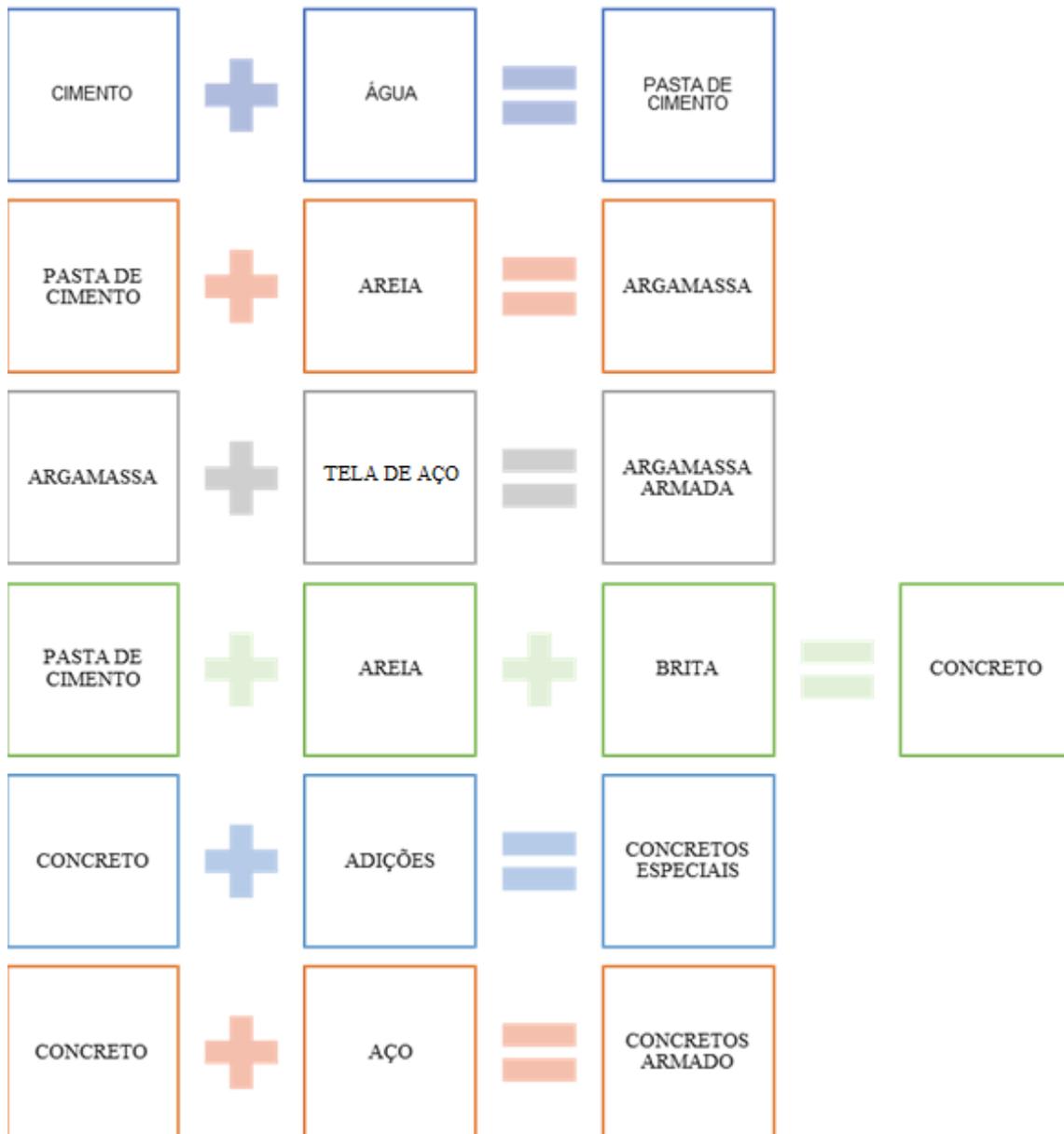
A matriz cimentícia é um produto oriundo da mistura de aglomerantes, agregados, água e aditivos. Seu endurecimento é desencadeado pela reação química de hidratação do cimento (OLIVEIRA, 2017). Emprega-se como material nas mais diversas aplicações do setor civil, no entanto, a mesma apresenta característica frágil frente a esforços de tração (HAMOUDA, 2015).

2.5.1.1 Cimento Portland

É um insumo na configuração de pó fino com propriedades de aglomeração, aglutinação ou ligação, que enrijece sob ação da água, transformando-se em pedra artificial (ABCP, 2002). Segundo a ABNT NBR 14656 (2001), o cimento Portland é constituído principalmente de material calcário, alumina e sílica. Estes elementos moídos, misturados e queimados a temperaturas elevadas, dão origem ao clínquer. Além disto, o cimento consiste também de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), impurezas indesejáveis que requerem seus teores controlados devido sua hidratação expansiva e lenta, responsáveis pela formação de sais solúveis que causam o enfraquecimento do composto quando exposto a lixiviação (ALI; MULLICK, 1998).

Conforme Abreu (2001) existe vários tipos de cimento Portland no Brasil, que se diferenciam principalmente pela variação dos aditivos, todos regidos por normas da ABNT. O cimento Portland é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais constituintes das pastas, argamassas e concretos em produtos finais como vigas, lajes, revestimentos, entre outros. A diferença entre estes materiais decorre da composição utilizada, conforme apresentado na Figura 9. Entretanto, para melhorar continuamente a tecnologia estrutural, outros aditivos podem ser adicionados as suas produções tais como superplastificantes, modificadores de pega, minerais, além de substratos têxteis (HELENE, 2010).

Figura 9 - Diferença entre cimento, argamassa e concreto



Fonte: Santos (2011)

2.5.2 Compósitos cimentícios reforçados com fibras

As fibras são usadas como material de reforço em compósitos cimentícios e têm como finalidade melhorar as propriedades mecânicas, principalmente, após a formação da primeira fissuração. Tratando-se especificamente do uso de fibras, o comportamento mecânico do compósito depende de fatores relacionados à fração de volume, direção de disposição, geometria e comprimento da fibra (FIDELIS, 2014).

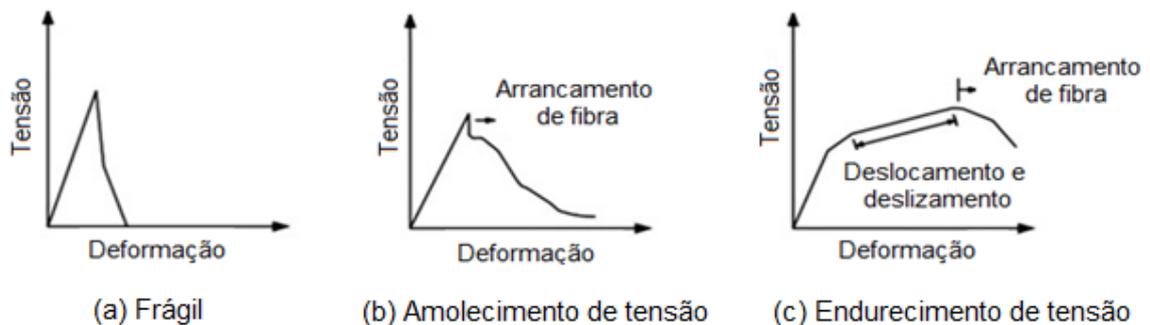
Em ensaios à tração, as matrizes cimentícias reforçadas com fibras

podem se comportar de três maneiras distintas. A primeira se caracteriza pelas cargas não serem efetivamente transmitidas da matriz para as fibras, acarretando no rompimento do compósito após a fissuração da matriz. Isto tende a acontecer quando o volume das fibras (V_f) é inferior ao volume crítico das fibras ($V_{f_{crit}}$) (BALAGURU; SHAH, 1992). O $V_{f_{crit}}$ é definido como o V_f que, após a matriz se fissurar, resistirá à carga que o compósito suportava anteriormente (HANNANT, 1978). Ou seja, para aumentar a resistência final do material compósito, devido à incorporação de fibras, o teor de fibras utilizado deve resultar em um volume de fibras superior ao crítico. Estudos efetuados com fibras vegetais em compósitos cimentícios, com distintas frações volumétricas, apresentaram desempenhos superiores do material à flexão com volume de fibras de até 3% (TOLÊDO FILHO, 1997). A literatura indica que a fração volumétrica maior (2%) fará com que esta resistência diminua (RODRIGUES, 1999).

O segundo comportamento sob tração se caracteriza pelo amolecimento de tensão (*strain softening*). Após a matriz se fissurar, a capacidade de carga do material compósito diminui, porém, continua a resistir às tensões inferiores que a força de pico. Desta maneira, a capacidade de suporte de carga adicional vem das fibras, transferindo a força através das fissuras. À medida que ocorre o aumento dos deslocamentos, as fibras são arrancadas da matriz, sucedendo numa capacidade de carga cada vez menor. A característica deste tipo de compósito é não apresentar uma resistência maior que a da matriz, mas sim um comportamento dúctil. (BALAGURU; SHAH, 1992).

A terceira é caracterizada pelo endurecimento de tensão (*strain hardening*). Para que isto aconteça, é necessário um volume superior de fibras, o suficiente para proporcionar o aumento de carga após a fissuração da matriz. Conforme aumenta-se a carga, mais fissuras serão formadas (BALAGURU; SHAH, 1992). O comportamento tensão versus deformação de cada uma das situações pode ser evidenciada na Figura 10, sendo a) (reduzido volume de fibras), b) (volume intermediário de fibras) e c) (elevado volume de fibras).

Figura 10 - Curvas tensão versus deformação de matrizes cimentícias frágeis reforçadas com fibras



Fonte: Balaguru e Shah (1992)

Entretanto, algumas desvantagens impedem sua utilização em escala industrial, por conta da variabilidade das propriedades, devido a composição química das fibras (TOLEDO FILHO, 2015). Estas limitações têm estimulado a investigação de novos substratos têxteis (nãotecidos, tecido plano e malha) como potenciais substitutos para compósitos de matriz cimentícia. Segundo estudos, os tecidos planos apresentam boa estabilidade mecânica e eficiência de reforço em mais de uma direção (urdume e trama), portanto, oferecem a possibilidade de reforçar estruturas de concreto.

2.5.3 Compósitos cimentícios reforçados com tecidos planos

Tecidos planos vêm sendo utilizados em uma vasta gama de aplicações, incluindo a de reforços estruturais em compósitos devido a sua elevada resistência a tração (FAZITA *et al.*, 2016). A matriz cimentícia reforçada com tecido (MCRT) é caracterizada pelo comportamento *strain hardening*, ou seja, endurecimento por tensão, que apresenta valores superiores de resistência à tração e capacidade de deformação quando comparados aos compósitos reforçados com fibras, sejam estas distribuídas de maneira alinhada ou aleatória (FIDELIS *et al.*, 2017). A MCRT pode ser produzida a partir de tecidos de fibras vegetais, além de fibras manufaturadas, como as fibras de vidro e carbono.

Para a produção de materiais compósitos reforçados por estruturas têxteis, o tecido bidimensional é o mais empregado, no qual é classificado em: malha, tecido plano, entrançados e nãotecido (CADISPOTI *et al.*, 2015). Os

tecidos tridimensionais são produzidos com a finalidade de reforçar estruturas como vigas e pilares (RAMBO, 2016).

São poucos estudos sobre a utilização de tecidos de fibras vegetais aplicados em compósitos cimentícios, todavia, na última década determinados autores realizaram pesquisas com este propósito. Fidelis *et al.* (2014) produziram compósitos têxteis reforçados com tecido de juta, com 3 e 5 camadas. Após 28 dias, as amostras foram submetidas a ensaios de tração. Ambos compósitos apresentaram comportamento *strain hardening*, ou seja, endurecimento por tensão, sendo que aquele reforçado com 3 camadas resistiu a tensão máxima de 4,38 MPa, e apresentou seis fissuras, enquanto o compósito com 5 camadas, resistiu a tensão de 4,73 MPa, e apresentou 11 fissuras. Arruda Filho (2015) produziu placas cimentícias reforçadas com tecido de sisal. Oliveira (2017) utilizou tecidos de juta e malva como reforço de telhas cimentícias.

2.5.4 Tratamentos superficiais

A região interfacial é primordial na determinação das propriedades dos compósitos, visto que por meio da interface os esforços atuantes na matriz são transmitidos ao reforço. Nestes materiais, a celulose é responsável pela ligação das fibras ao polímero, ao passo que a lignina atua para evitar que a matriz se difunda na celulose, dificultando a adesão da fibra (BLEDZKI; GASSAN, 1999). Estudos sobre compósitos reforçados com tecidos vegetais enfatizam a importância das interações fibra/matriz e relatam diversos tratamentos de fibras para torná-las mais compatíveis com matrizes cimentícias para melhorar suas propriedades adesivas. Ao abordar este assunto, Bledzki e Gassan (1999) afirmam que os tratamentos químicos são fundamentais para reduzir a hidrofobicidade das fibras e aumentar a adesão à matriz, uma vez que os grupos hidroxilas hidrofílicos podem ser removidos por tratamento alcalino, acetilação, benzilação, dentre outros. Além dos químicos, pode-se mencionar tratamentos à base de água, como hornificação e hidrotérmico (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

2.5.4.1 Hornificação

Técnica que envolve a imersão do tecido em ciclos de molhagem e

secagem, que alteram a microestrutura fibrosa (WEISE, 1998). Reduz também a capacidade de retenção de água das fibras assim como a resistência à tração (BRANCATO, 2008). O maior benefício deste tratamento é a perda permanente do inchaço das fibras, promovendo a redução da flexibilidade das mesmas, pontos fundamentais para a resistência da interação entre fibras (ZHANG, 2004).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no estado da arte salienta-se o estudo na fabricação de compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta. Principalmente, considerando os parâmetros de construção do substrato têxtil, determinantes para as propriedades finais do material. Verifica-se o potencial do trabalho, uma vez que os têxteis são amplamente estudados na composição de compósitos cimentícios, porém pouco é explorado sobre as características da padronagem de tecidos planos no reforço de materiais para o setor civil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

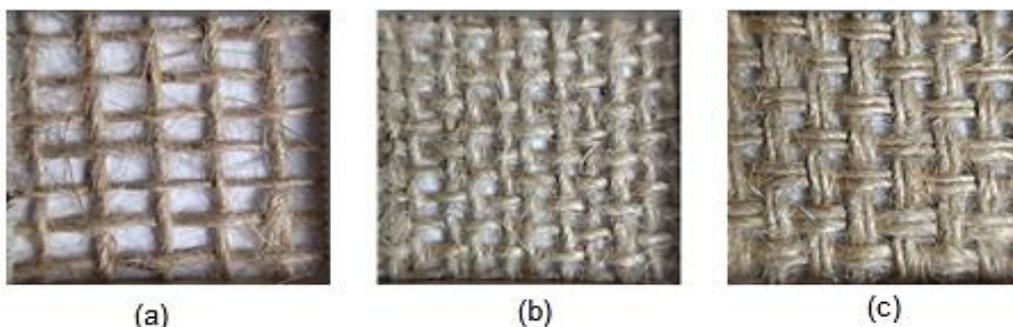
No presente capítulo são apresentados os materiais e métodos empregados para a produção dos compósitos cimentícios reforçados com tecido plano de juta. Três etapas foram realizadas para análise do estudo em questão: caracterização dos tecidos; produção dos corpos-de-prova; e ensaios de tração direta.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Tecidos planos de juta

A realização dos experimentos iniciou-se a partir da avaliação de três estruturas distintas de tecido plano de composição 100% juta (Figura 11). Duas estruturas de tecido tafetá (a e b) e uma panamá (c), provenientes de uma indústria têxtil paraense, Companhia Têxtil de Castanhal[®]. As características de cada tecido de juta (TJ1, TJ2 e TJ3) podem ser observadas na Tabela 1, conforme especificação do fabricante.

Figura 11 - Tecidos planos de juta: (a) TJ1; (b) TJ2; (c) TJ3



Fonte: O autor (2022)

Tabela 1 - Especificações técnicas dos tecidos planos de juta

| Amostra | Estrutura | Raporte | | Gramatura [g.m ²] | Densidade da fibra [g.cm ⁻³] |
|---------|-----------|---------|-------|----------------------------------|---|
| | | Urdume | Trama | | |
| TJ1 | Tafetá | 1 | 1 | 190 | 1.5 |
| TJ2 | Tafetá | 1 | 1 | 330 | |
| TJ3 | Panamá | 2 | 2 | 470 | |

Fonte: O autor (2022)

3.1.2 Cimento Portland

O cimento empregado na produção dos corpos-de-prova foi o Cimento Portland CP V, da empresa Votoran[®]. A composição do insumo cimentício é de 90-100% de clínquer + gesso e 0-10% de material carbonático (Votorantim Cimentos Brasil S.A., 2020). Além disso, conforme citado por Filho (2012), material particulado com granulometria inferior a 1,18 mm, influencia a área de contato entre partículas de aglomerados, resultando em um produto final mais uniforme. Desta forma, para a produção da argamassa, além do cimento Portland citado, foi utilizado areia fina com granulometria < 2 mm e água.

3.1.3 Moldes

Os moldes para o desenvolvimento dos corpos-de-prova foram produzidos em madeira com dimensões de 450 x 60 mm de comprimento e largura, respectivamente, conforme apresentado na Figura 12. As espessuras dos moldes foram variadas em três valores distintos: 4, 8 e 12 mm. As dimensões foram definidas com base em investigações anteriores realizadas por Fidelis (2014) e Trindade (2017), que avaliaram o desempenho de compósitos cimentícios reforçados com tecidos de juta. O diferencial deste trabalho para estes citados, consiste que nos anteriores foi estudado frações volumétricas de 6 a 10% de tecido de juta.

Figura 12 - Vista superior dos moldes em madeira



Fonte: O autor (2022)

3.1.4 Tanque de água saturada de óxido de cálcio (cal)

A cal é relevante para o desenvolvimento das propriedades mecânicas do cimento (QUARCIONI, 2008). Nesta perspectiva, três reservatórios com capacidade de 20 L, foram preenchidos com água saturada de óxido de cálcio para manter os corpos-de-prova em contínuo processo de hidratação até o período de cura definido, que consistiu em 28 dias, conforme apresentado na Figura 13. Foi empregada a cal CH-III, da empresa Cal Cem®.

Figura 13 - Tanque de cal para a hidratação dos corpos-de-prova



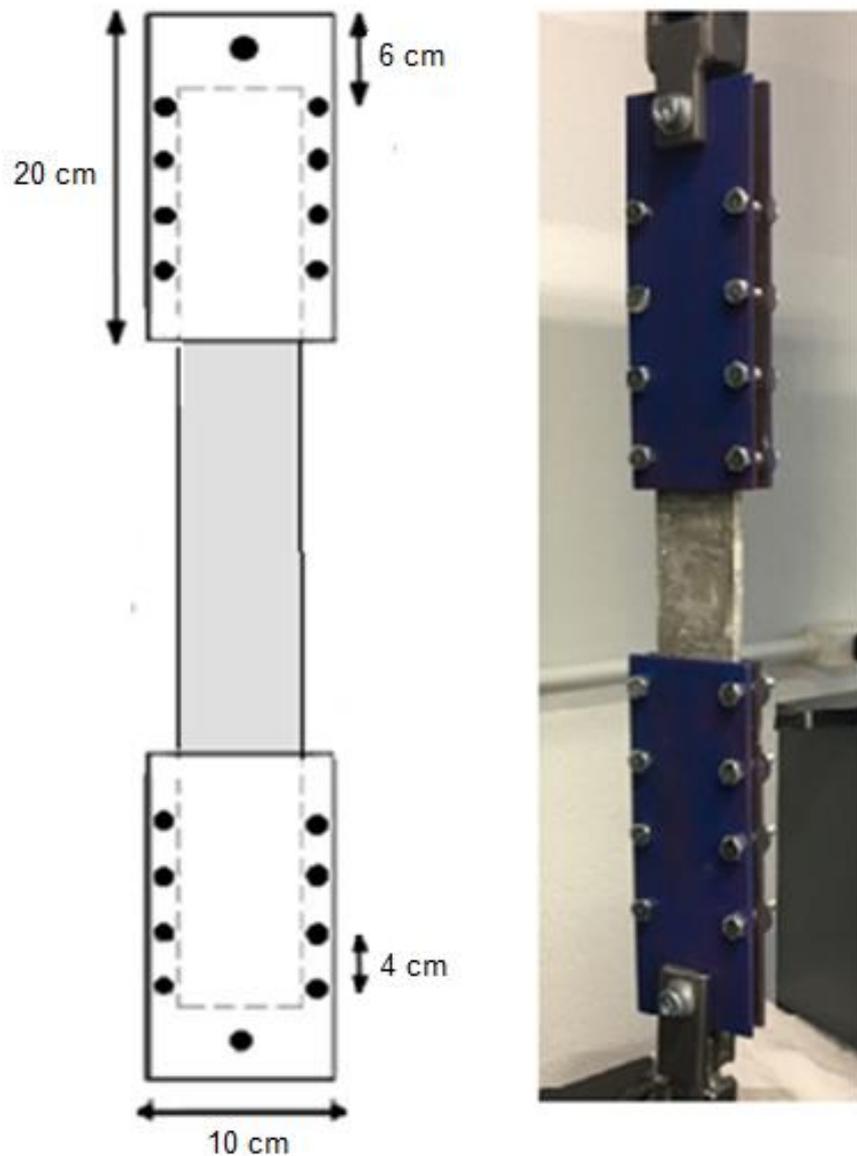
Fonte: O autor (2022)

3.1.5 Dispositivo para ensaio de tração direta de compósitos cimentícios

Recentemente, investigações têm atentado-se a ensaios de tração direta em compósitos cimentícios reforçados com têxteis, como análise importante para o entendimento de propriedades mecânicas fundamentais destes materiais, como padrões de fratura, capacidade de transferência de carga entre matriz-reforço, rigidez, dentre outras (SANTIS *et al.*, 2017). Entretanto, não há padronização para o ensaio supracitado, e assim, diversos grupos de pesquisa têm concentrado estudos na normatização deste procedimento.

Neste sentido, conforme revisão e sugestão indicada nos estudos de Truong e Kim (2021) foi desenvolvido especificamente para este estudo, um dispositivo para o ensaio à tração dos compósitos cimentícios, o qual foi acoplado a máquina universal de ensaios por meio de garras contendo parafusos para fixação, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Dispositivo para ensaio mecânico: (a) desenho técnico; (b) dispositivo desenvolvido

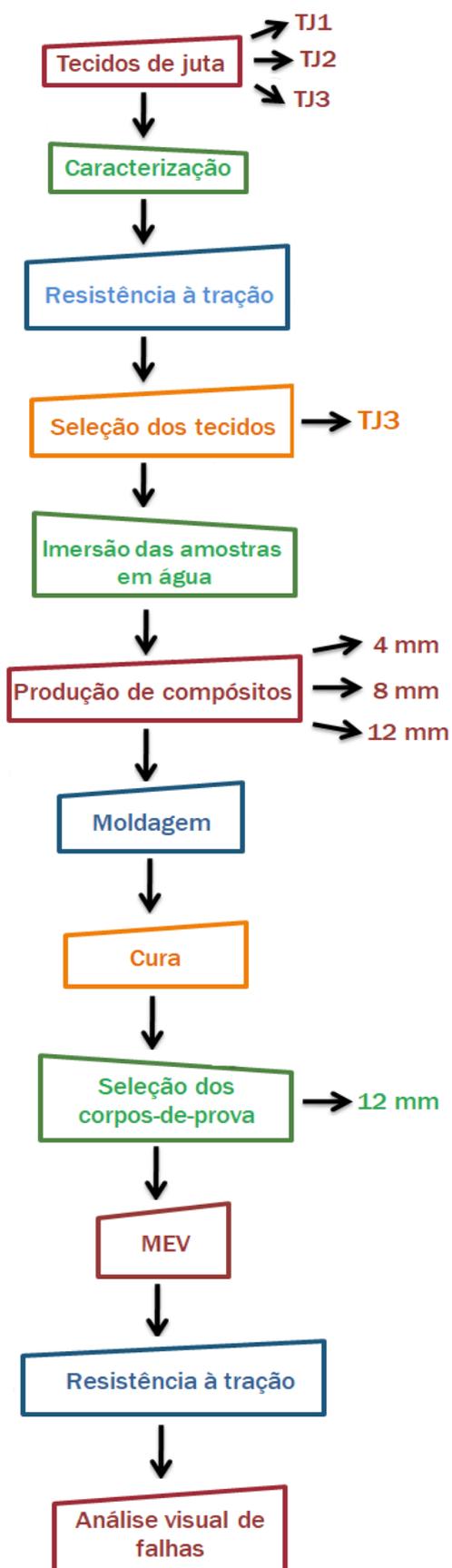


Fonte: O autor (2022)

3.2 MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC) e Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM), localizados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau. Procedimentos realizados em outros laboratórios serão citados nos seus respectivos métodos. A Figura 15 demonstra o fluxograma do procedimento experimental realizado para este trabalho.

Figura 15 - Fluxograma para o procedimento experimental



Fonte: O autor (2022)

Inicialmente, foram realizadas as análises dos tecidos de juta, conforme os parâmetros (gramatura, fator de cobertura e volume específico) apresentados na seção 2.3.2 da revisão bibliográfica. Em seguida, ensaios de resistência à tração dos tecidos planos sucederam no intuito de avaliar o comportamento mecânico das amostras e assim, determinar a padronagem de tecido com características adequadas para a utilização como material de reforço em compósitos cimentícios. Por fim, os corpos-de-prova foram desenvolvidos (moldagem e cura), bem como, análise de adesão reforço-matriz, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), seguido de ensaios de resistência à tração direta e análise visual de falhas.

3.2.1 Caracterização e análise de tecidos planos de juta

A determinação das características dos tecidos foi primeiramente realizada, a partir da avaliação do diâmetro dos fios. Para isso, o tecido foi desconstruído em 5 pontos distintos, e a partir de um paquímetro, os fios de urdume e trama foram analisados. Em seguida, foram aferidos os títulos dos fios constituintes dos substratos têxteis em análise, utilizando a norma ASTM D1059-17 (2019), que consistiu no corte de 10 fios (tanto no urdume como na trama) com 10 cm de comprimento cada. Posteriormente, colocadas em balança para obtenção da massa, seguindo com o cálculo do título, utilizando sistema direto, conforme a Equação 11.

$$T \times C = K \times P \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

T = título dos fios (Tex);

C = comprimento (m);

K = constante de titulação;

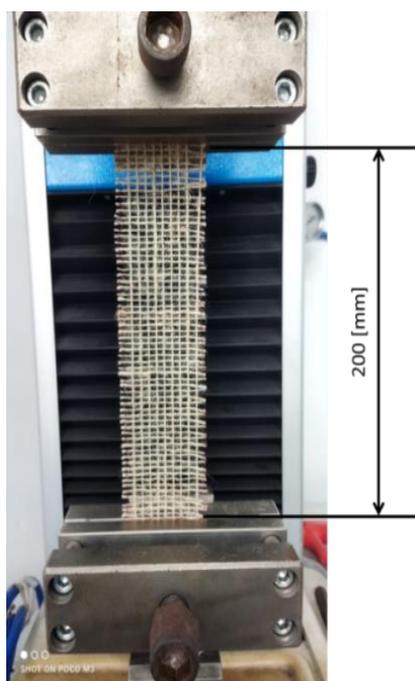
P = massa dos fios (g).

Em seguida, a densidade de fios (urdume e trama) para os três tecidos, foi determinada, empregando dispositivo conta fios, considerando 1 cm² de área útil. Para avaliação do fator de cobertura, gramatura e volume específico dos tecidos planos, foram aplicadas as Equações 5, 8 e 9 contidas nas seções 2.3.2.1, 2.3.2.2 e 2.3.2.3.

3.2.2 Ensaio à tração nos tecidos de juta

No intuito de avaliar a resistência à tração dos tecidos e determinar o substrato com melhor desempenho para a produção do compósito, foram cortadas cinco amostras na direção do urdume e da trama, com dimensões de 240 x 50 mm, de comprimento e largura, respectivamente. Posteriormente, o ensaio de tração de tecidos foi realizado conforme especificações da norma NBR 13934-1 (2016). A máquina de ensaios, modelo Tensolab 3000, marca Mesdan®, foi configurada com taxa de alongamento de 10 %. min^{-1} e velocidade de extensão de 20 $\text{mm}.\text{min}^{-1}$. Os ensaios de tração foram conduzidos no Laboratório Físico Têxtil (LABCTEX), da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). É conveniente comentar que o comprimento útil utilizado para o ensaio foi de 200 mm de comprimento (Figura 16).

Figura 16 - Comprimento útil das amostras para ensaio de tração



Fonte: O autor (2022)

3.2.3 Fabricação dos compósitos

Com base em dados de ensaios preliminares e pesquisas realizadas por Fidelis (2014) e Trindade (2017), definiu-se a quantidade de material utilizado para a produção de matriz cimentícia e, portanto, para a formação de corpos-de-prova. O traço para a composição da argamassa utilizado foi de 1:1:0,5 em

massa de cimento: areia: água, respectivamente. Foi também variado o percentual de substrato têxtil na matriz. A Tabela 2 demonstra a dosagem para os três grupos de amostras produzidos.

Tabela 2 - Traço da argamassa

| Amostra | Cimento [kg] | Areia [kg] | Água [kg] | Tecido [%] |
|---------|--------------|------------|-----------|------------|
| CRTJ4 | 0,1049 | 0,1049 | 0,0524 | 4 |
| CRTJ2 | 0,2098 | 0,2098 | 0,1049 | 2 |
| CRTJ1 | 0,3147 | 0,3147 | 0,1573 | 1 |

Fonte: O autor (2022)

Onde:

CRTJ4 = compósito reforçado com tecido de juta 4% - 4 mm de espessura;

CRTJ2 = compósito reforçado com tecido de juta 2% - 8 mm de espessura;

CRTJ1 = compósito reforçado com tecido de juta 1% - 12 mm de espessura.

A argamassa foi produzida manualmente a partir da mistura de cimento e areia, seguido da adição de água até que a mistura obtivesse homogeneidade. As amostras de tecido de juta utilizadas foram cortadas com dimensões de $450 \times 60 \pm 1$ mm. Além disso, como já discutido anteriormente, fibras celulósicas são hidrofílicas (DE PAULA, 2011) e, portanto, absorvem água com facilidade. Desta forma, buscou-se avaliar a influência da própria hidratação do tecido a ser utilizado como reforço. Para tanto, amostras foram cortadas e colocadas em água durante período de 24 horas, para saturação das fibras de juta, no processo chamado de hornificação (Figura 17).

Figura 17 - Amostras em processo de hornificação

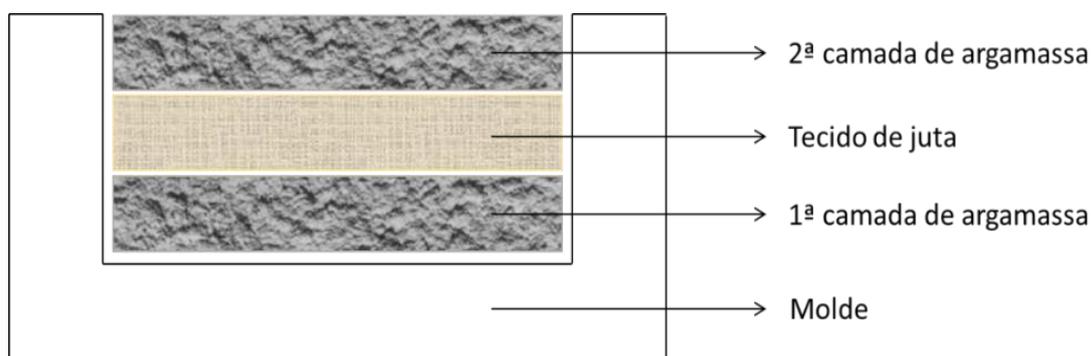


Fonte: O autor (2022)

3.2.3.1 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Antes da moldagem, aplicou-se uma camada de óleo mineral nas paredes internas do molde para evitar o adesivamento do corpo-de-prova. A Figura 18 ilustra o processo de moldagem. Primeiramente, a argamassa foi aplicada sobre o molde com auxílio de uma espátula. Posteriormente, foi inserido o tecido, seguido de outra camada de argamassa, aplicada com o auxílio da espátula, com objetivo de paralelizar a superfície.

Figura 18 - Processo de moldagem dos corpos-de-prova



Fonte: O autor (2022)

Após o processo de moldagem, os corpos-de-prova permaneceram nos moldes por período de 24 horas, à temperatura ambiente. Em seguida, a desmoldagem foi realizada, e todos os corpos-de-prova foram completamente imersos em tanque de água saturada com cal e mantidas no local até a realização dos ensaios mecânicos. O período de cura de cada grupo (4, 8 e 12 mm) foi definido de 28 dias de idade, devido a retardar a evaporação de água empregada na preparação da mistura, além de aumentar a resistência mecânica dos corpos-de-prova (CHEN *et al.*, 2018). Após o cumprimento do período, as amostras foram retiradas do tanque de armazenamento e foi realizado o ensaio de resistência à tração.

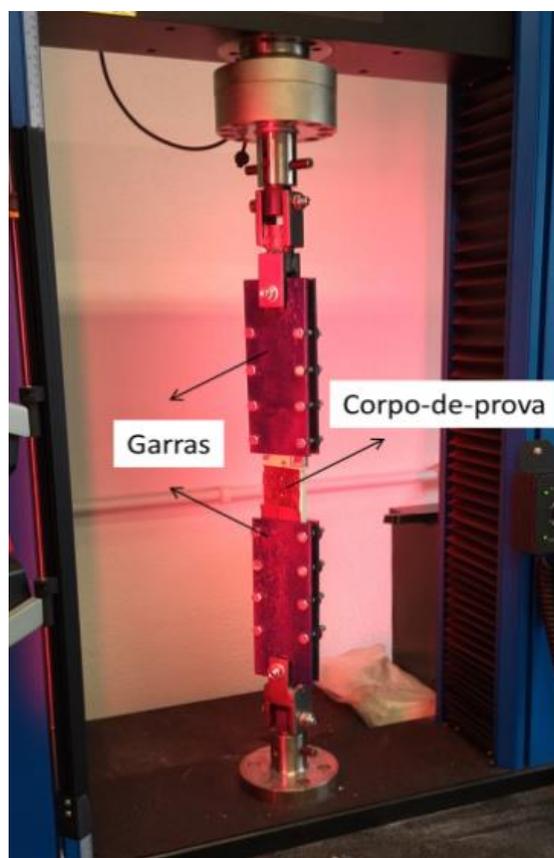
3.2.3.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Consiste na verificação da interação do compósito cimentício com o tecido, realizado no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC.

3.2.3.3 Ensaio de resistência à tração

Os ensaios de resistência à tração direta, foram realizados após a cura de 28 dias dos corpos-de-prova, seguindo recomendações contidas em estudos prévios (TRUONG; KIM; 2021; TRINDADE *et al.*, 2017). Este ensaio tem como objetivos averiguar as propriedades do material em questão, analisar suas possíveis falhas e verificar seu comportamento sob determinadas condições mecânicas. Para tanto, a máquina de ensaios universal, modelo EMIC 23-100, marca INSTRON/EMIC, foi configurada com taxa de deslocamento de $0,3 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, utilizando extensômetro óptico para aferição da deformação, com faixa mínima de comprimento de 50 mm, empregando célula de carga de 100 kN. O ensaio foi realizado no LEM. A Figura 19 demonstra o equipamento utilizado, juntamente com o dispositivo desenvolvido para este ensaio, como também a forma de fixação das amostras e garras para realização do ensaio.

Figura 19 - Dispositivo para o desenvolvimento dos ensaios de resistência à tração direta



Fonte: O autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O conteúdo apresentado nesta etapa envolverá a descrição dos resultados. Inicialmente, discute-se os dados obtidos pela caracterização dos tecidos, seguido das considerações adquiridas com base nos ensaios à tração dos compósitos produzidos.

4.1 TECIDOS DE JUTA

A partir das equações da seção 2.3.2, foram calculados os parâmetros dos tecidos, conforme observado na Tabela 3. O tecido TJ2 apresenta título direto mais elevado na direção do urdume, sendo de 447 Tex. Por outro lado, na direção da trama tem-se o TJ1, com 438 Tex. Pode-se resaltar que o título direto é diretamente proporcional a sua massa, ou seja, quanto maior esta for, maior o título e, conseqüentemente, mais “espesso” será o fio/fibra. Já a quantidade de fios de cada grupo por unidade de comprimento, é proporcional ao número de fibras presente em estipulada área. Portanto, tecidos com maior quantidade de fios, tendem a apresentar maior gramatura e fator de cobertura (FERREIRA, 2016).

Tabela 3 - Caracterização dos tecidos de juta

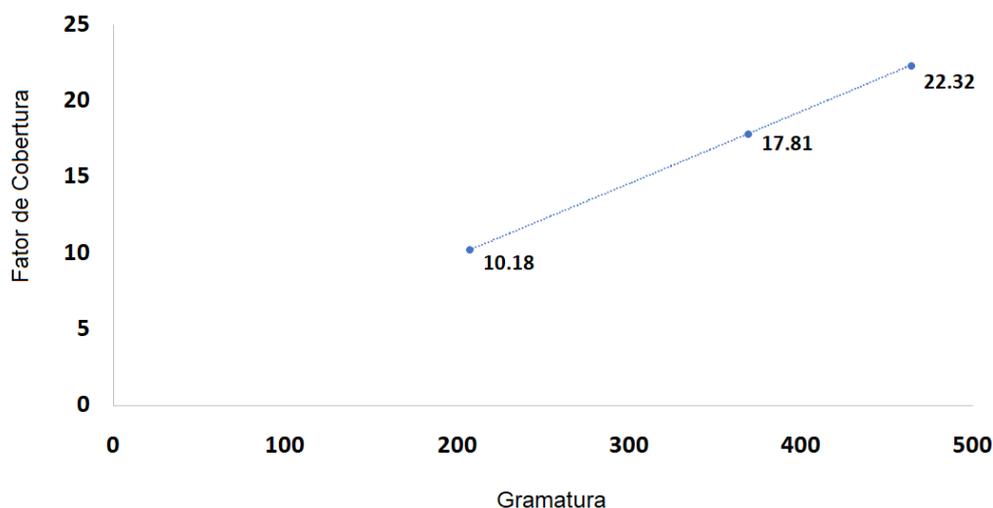
| Tecido | Estrutura | [Tex] | | [Fios/cm] | | Gramatura [g/m ²] | Fator de Cobertura | Volume específico [cm ³ /g] |
|--------|-----------|--------|-------|-----------|-------|----------------------------------|-----------------------|--|
| | | Urdume | Trama | Urdume | Trama | | | |
| TJ1 | Tafetá | 402 | 438 | 3.1 | 1.9 | 207 | 10,18 | |
| TJ2 | Tafetá | 447 | 412 | 4.3 | 4.3 | 369 | 17,81 | 0,7 |
| TJ3 | Panamá | 346 | 371 | 6.3 | 5.5 | 464 | 22,32 | |

Fonte: O autor (2022)

É oportuno comentar que são tecidos distintos em relação a sua gramatura, portanto, apresentam também diferentes fatores de cobertura, principalmente quando se compara o TJ3 com o TJ1, o que influencia na resistência do material, no percentual de reforço no compósito, bem como na adesão entre o reforço e a matriz. Conforme a Figura 20, observa-se a tendência linear da relação entre a gramatura e o fator de cobertura total. O aumento da gramatura, tal como, o fator de cobertura do tecido pode ser atingido por diferentes combinações de crimpagem (BEHERA; HARI, 2010). Além disso, ao comparar as gramaturas fornecidas pelo fabricante (Tabela 1) e

as obtidas a partir dos cálculos (Tabela 3), pode-se perceber uma variação de aproximadamente 10%, onde sua tolerância deve ser de até 5%, segundo a norma NBR 13.586 (1996).

Figura 20 - Relação entre gramatura e fator de cobertura



Fonte: O autor (2022)

Pode-se afirmar que por apresentar gramatura e fator de cobertura baixo, o tecido TJ1 apresenta estrutura aberta e leve. Por outro lado, os tecidos TJ2 e TJ3 são considerados tecidos pesados (BEHERA; HARI, 2010).

4.1.1 Ensaio à tração

Foram submetidos ao ensaio 30 amostras, sendo 5 para cada raporte de tecido em ambas as direções (urdume e trama). Para o cálculo da tensão, utilizou-se a média dos diâmetros dos fios para estimar a área do substrato têxtil, conforme a Tabela 4.

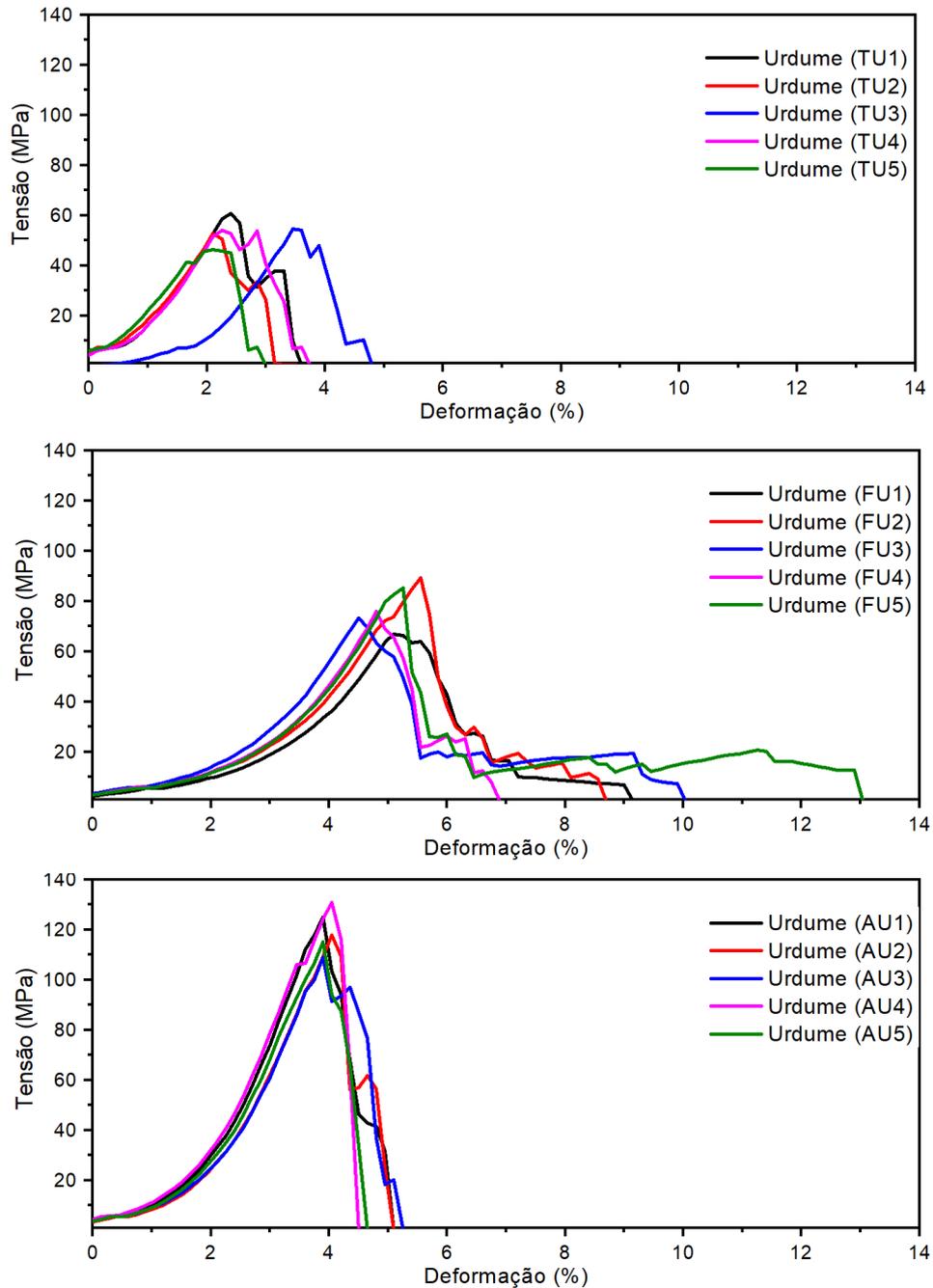
Tabela 4 - Grandezas físicas dos tecidos de juta

| Tecido | Direção | $\varnothing \pm \sigma$ [mm] | Área seção transversal |
|--------|---------|-------------------------------|------------------------|
| TJ1 | Urdume | 0.708 ± 0.022 | 6.11 |
| | Trama | 0.676 ± 0.043 | 3.41 |
| TJ2 | Urdume | 0.682 ± 0.031 | 7.81 |
| | Trama | 0.672 ± 0.064 | 7.62 |
| TJ3 | Urdume | 0.568 ± 0.026 | 7.98 |
| | Trama | 0.764 ± 0.082 | 12.61 |

Fonte: O autor (2022)

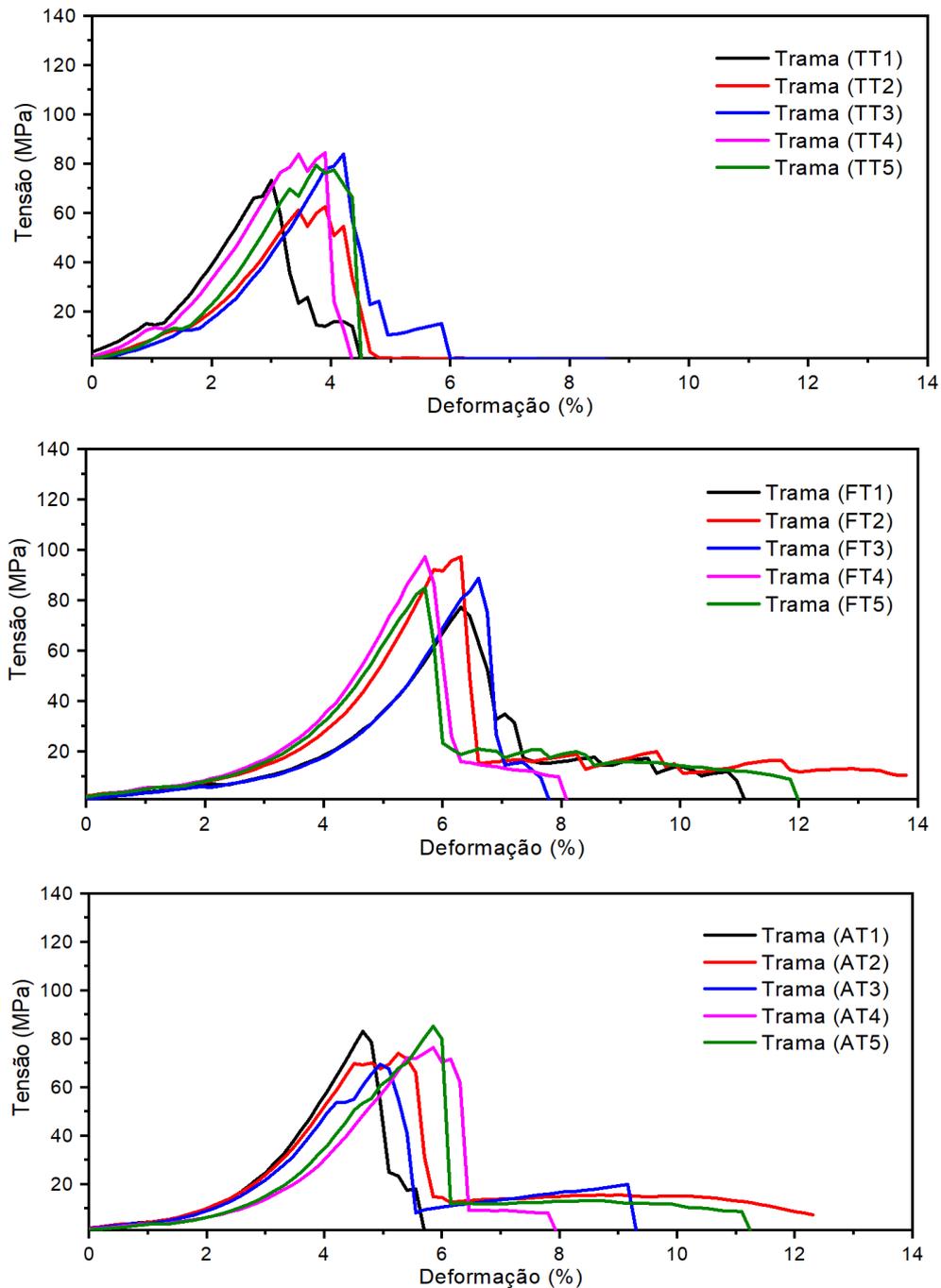
Na Figura 21 e 22 observa-se nas imagens dos gráficos obtidos o desempenho de cada grupo de amostra. Onde U refere-se a direção do urdume e T direção da trama, para as amostras TJ1, TJ2 e TJ3, respectivamente mencionadas como T, F e A.

Figura 21 - Gráficos tensão versus deformação na direção do urdume



Fonte: O autor (2022)

Figura 22 - Gráficos tensão versus deformação na direção da trama

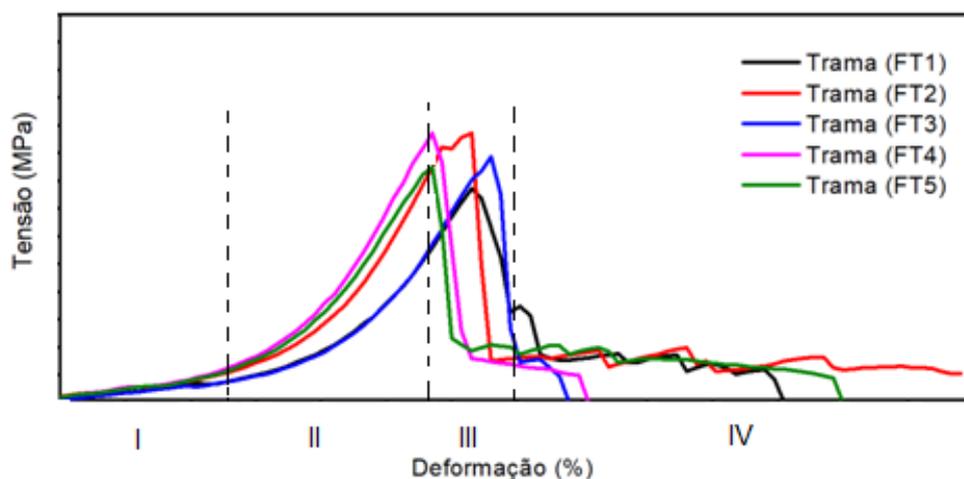


Fonte: O autor (2022)

Ao analisar as curvas de tensão versus deformação, pode-se observar 4 fases distintas. Na primeira, verifica-se uma acomodação natural das fibras no tecido (I); na segunda, ocorre o aumento da tensão, deformação e módulo de elasticidade (II); na fase seguinte se inicia o processo de ruptura (III); e na última etapa, como praticamente todas as fibras já se romperam, há um deslizamento entre as mesmas (IV) (ARRUDA FILHO, 2015), conforme

ilustrado na Figura 23. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da média e desvio padrão para os dados de força máxima, tensão de ruptura (σ), deformação (ϵ) e módulo de elasticidade (E) de cada grupo estudado.

Figura 23 - Análise do comportamento das curvas tensão versus deformação do tecido TJ2 na direção da trama



Fonte: O autor (2022)

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos tecidos de juta

| Tecido | Força máxima [N] | | σ [MPa] | | ϵ [%] | | E [GPa] | |
|--------|------------------|--------------|----------------|------------|----------------|-----------|------------|------------|
| | Urdume | Trama | Urdume | Trama | Urdume | Trama | Urdume | Trama |
| TJ1 | 327,6 ± 31,2 | 261,6 ± 31,1 | 53,7 ± 5,1 | 76,7 ± 9,1 | 2,5 ± 0,6 | 3,7 ± 0,5 | 36,0 ± 2,9 | 34,2 ± 2,5 |
| TJ2 | 609,6 ± 79,9 | 679,0 ± 64,7 | 78,1 ± 9,1 | 89,0 ± 8,5 | 5,0 ± 0,4 | 6,1 ± 0,4 | 34,7 ± 2,8 | 34,2 ± 2,1 |
| TJ3 | 954,2 ± 68,2 | 978,8 ± 82,4 | 119,6 ± 8,5 | 77,6 ± 6,6 | 4,0 ± 0,1 | 5,3 ± 0,5 | 54,2 ± 5,4 | 31,7 ± 6,3 |

Fonte: O autor (2022)

Comparando os valores da Tabela 5, as amostras TJ3 apresentaram, na direção do urdume, a maior tensão de ruptura e módulo de elasticidade, com $119,6 \pm 8,5$ MPa e $54,2 \pm 5,4$ MPa, respectivamente. A tensão de ruptura ocorre quando o material se rompe de fato, devido a redução da área que ocorre no corpo de prova depois que se atinge a carga máxima. Por outro lado, as amostras do grupo TJ1 obtiveram a menor tensão de ruptura e deformação, independente da direção. Na direção da trama destaca-se o grupo TJ2,

alcançando a maior tensão de ruptura, $89,0 \pm 8,5$ MPa. Para a força máxima, as amostras do grupo TJ3 apresentaram os maiores resultados para ambas as direções, sendo, portanto, a estrutura mais resistente. Ou seja, consiste na tensão no ponto máximo da curva, isto é, a máxima tensão que pode ser sustentada por uma estrutura que se encontra sob tração (GONG; CHEN; ZHOU, 2018). É oportuno destacar também que a rigidez do material é medida pelo módulo de elasticidade, portanto, quanto maior seu valor, menor será a sua deformação elástica resultante da aplicação da tensão e mais rígido será o material. Analisando estes resultados com aqueles obtidos na caracterização do material (Tabela 3), verifica-se, portanto, que os materiais que apresentam maior densidade, apresentam maior gramatura, maior fator de cobertura e também maior tensão máxima.

Portanto, para a próxima etapa, que consistia na produção dos compósitos, a escolha baseou-se no maior nível de resistência/rigidez obtido nos ensaios à tração uniaxial dos tecidos planos. Neste sentido, os compósitos cimentícios reforçados por tecidos foram produzidos com tecido TJ3.

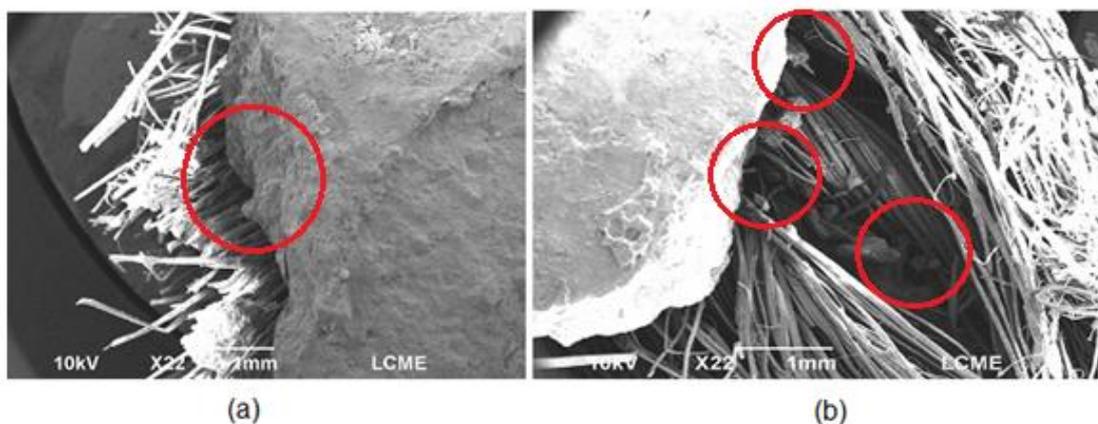
4.2 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

Nesta etapa são apresentados detalhes referentes à produção dos compósitos cimentícios com reforço de tecido de juta TJ3, assim como algumas propriedades mecânicas e estruturais dos corpos-de-prova desenvolvidos.

4.2.1 Microscopia eletrônica de varredura

O equipamento utilizado tratou-se de um JEOL, modelo JSM-6390LV. A micrografia representada na Figura 24 (a) permite melhor visualização da compatibilização superficial entre o tecido TJ3 hornificado e a matriz cimentícia, fator imprescindível para a transmissão dos esforços da fase dispersante para o reforço. A análise microestrutural apresentada mostra uma área de contato relativamente intacta, visto que, é possível reafirmar o constatado visualmente, discutido a seguir. Por outro lado, na Figura 24 (b) observa-se que houve uma baixa adesão fibra-matriz, ao qual o tecido não se acoplou de forma homogênea na matriz, indicando a formação de vazios de ar na região interfacial.

Figura 24 - MEV dos corpos-de-prova reforçados com tecido de juta hornificado (a) e sem tratamento (b) com ampliações de 22 vezes



Fonte: O autor (2022)

4.2.2 Resistência à tração

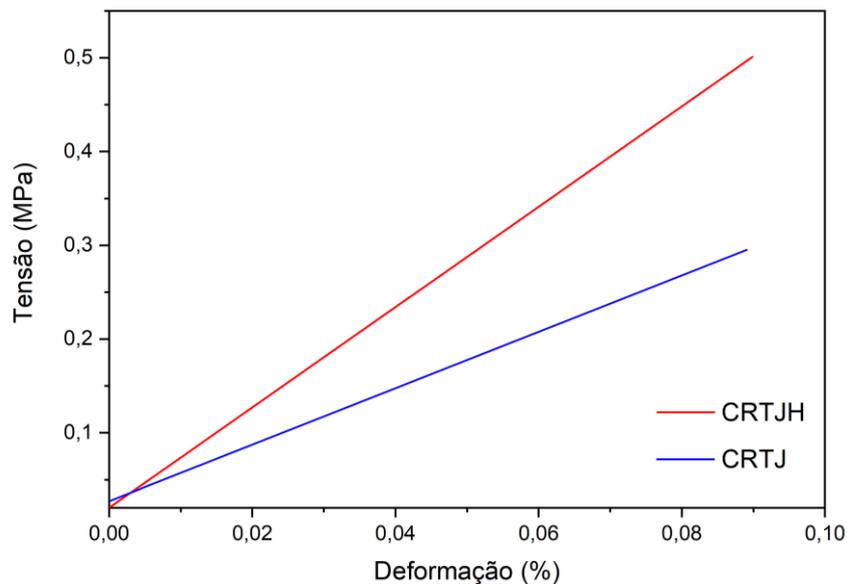
Para o ensaio de resistência à tração, corpos-de-prova distribuídos entre as diferentes concentrações de reforço (CRTJ4, CRTJ2 e CRTJ1), com espessuras de 4, 8 e 12 mm, respectivamente, foram produzidos. Somente os resultados com o grupo com espessura de 12 mm foi considerado, uma vez que as amostras com 4 e 8 mm eram muito frágeis, e por isso foram descartadas.

Na Figura 25 está demonstrado a linearização das curvas tensão versus deformação que apresentaram os melhores resultados para os compósitos cimentícios reforçados em concentração de massa de 1% de tecido na matriz, sem e com tratamento por hornificação. Destaca-se que os compósitos reforçados com tecidos de juta hornificados (CRTJH) apresentam maior tensão máxima, devido a reduzir a capacidade de retenção de água das fibras e remover a umidade interna do material. Neste sentido, tem-se a redução da elasticidade da parede celular e melhor distribuição do tamanho dos poros, limitando à capacidade de intumescimento das fibras (HAN *et al.*, 2012).

Durante os ensaios pôde-se observar que a capacidade de carga dos compósitos não se esgotavam após o início da formação da primeira fissura na matriz. Imediatamente outras fissuras apareciam e começavam a se propagar. Houve um comportamento semelhante entre os compósitos, embora a matriz saturada veio apresentar menores aberturas nas fissuras devido a elevada

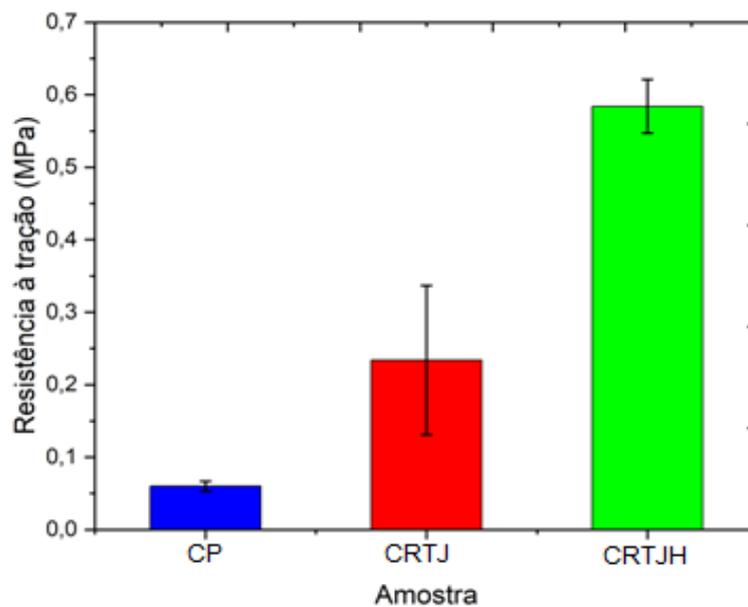
resistência da matriz. Comparando a resistência alcançada pelo CRTJH, ou seja, com hornificação (0,60 MPa) e os compósitos reforçados com tecido de juta CRTJ sem hornificação (0,25 MPa), com os resultados obtidos para os corpos-de-prova de cimento puro (CP), verifica-se um considerável aumento da resistência à tração (Figura 26).

Figura 25 - Gráfico tensão versus deformação linearizado



Fonte: O autor (2022)

Figura 26 - Resistência à tração dos corpos-de-prova em estudo



Fonte: O autor (2022)

Observa-se que os dados foram favoráveis a adição de tecido com 1% de concentração em massa. Uma vez que, além de obter a resistência à tração maior, também ultrapassou a força máxima atingida pelo CP, com 28 dias de cura.

Conforme mencionado, os compósitos com espessuras de 4 e 8 mm de espessura (CRTJ4 e CRTJ2, respectivamente), eram muito frágeis e não foram considerados. Estas amostras, por apresentarem um maior volume de tecido, apresentavam também espaços vazios contendo ar, que eram formados durante a mistura com a matriz cimentícia. De acordo com o referencial teórico, como a quantidade de fibras/tecido é elevada para estas amostras, as mesmas formam uma espécie de “teia” que impede a passagem do ar, que fica concentrado dentro da amostra. Consequentemente, isto pode acabar influenciando na redução nas propriedades mecânicas do material (WU, 2002).

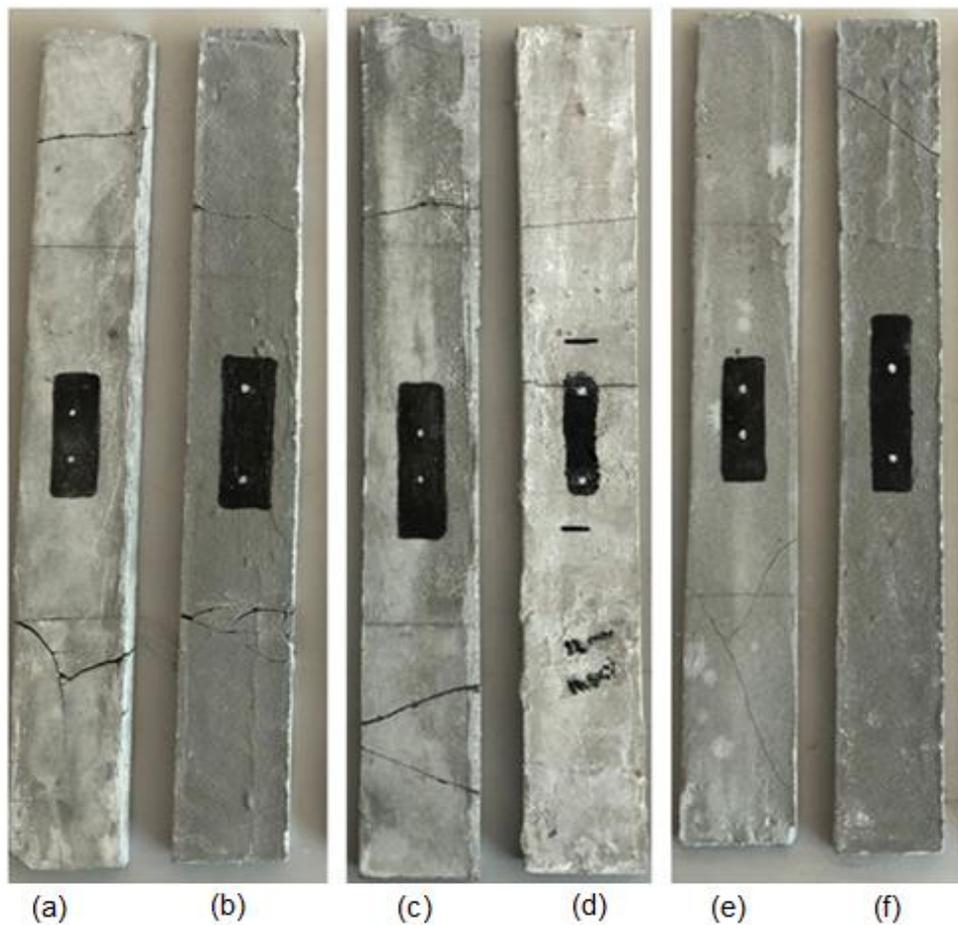
Na literatura, dados indicam que o aumento na quantidade de fibras/tecido inseridas na matriz é o fator determinante no aumento da resistência, mas há um limite para a quantidade adicionada. Wang e Chou (2017), ao abordarem este tema, indicaram em seu estudo que concentrações superiores a 0,6% favoreceram a formação de bolhas de ar no compósito, fenômeno conhecido como fasciculação.

4.2.3 Análise visual de falhas

Um fator importante na avaliação das fraturas dos materiais cimentícios é entender o modo de fissuração dos corpos-de-prova, através de observações macroestruturais. Com referência à Figura 27, é possível verificar os pontos de falhas das amostras após exposição à carga máxima de ruptura. É inegável que o CP é o que apresenta maior danos à estrutura.

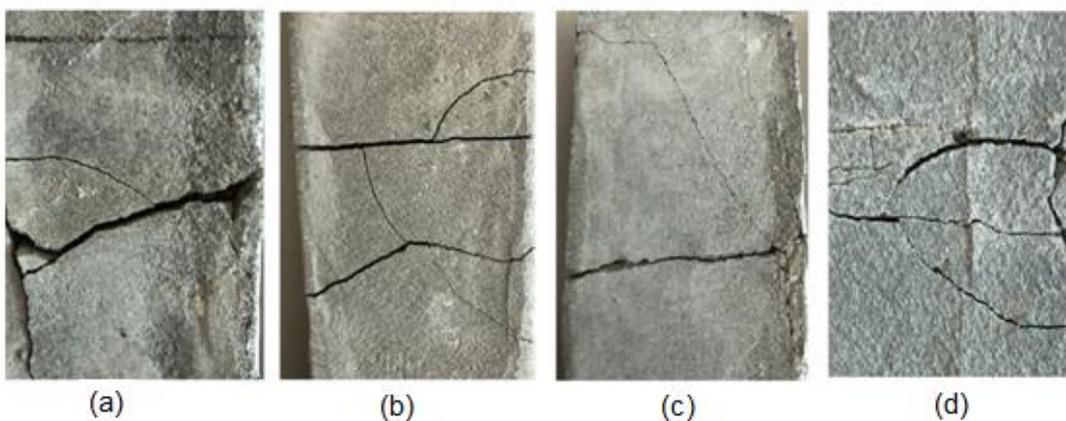
A adição de tecido ao material manteve a estrutura agregada, mesmo com a formação de pequenas falhas. O material têxtil contribuiu para manter as trincas unidas por meio da descolagem e deslizamento das mesmas contra a matriz. Desta forma, dificultando o rompimento prematuro da estrutura, por meio do aumento nos níveis de força e deformação do compósito (CHEN et al., 2018). Para uma melhor visualização das fraturas obtidas, foi utilizado uma câmera com resolução de 12 megapixels. A Figura 28 ilustra as imagens obtidas.

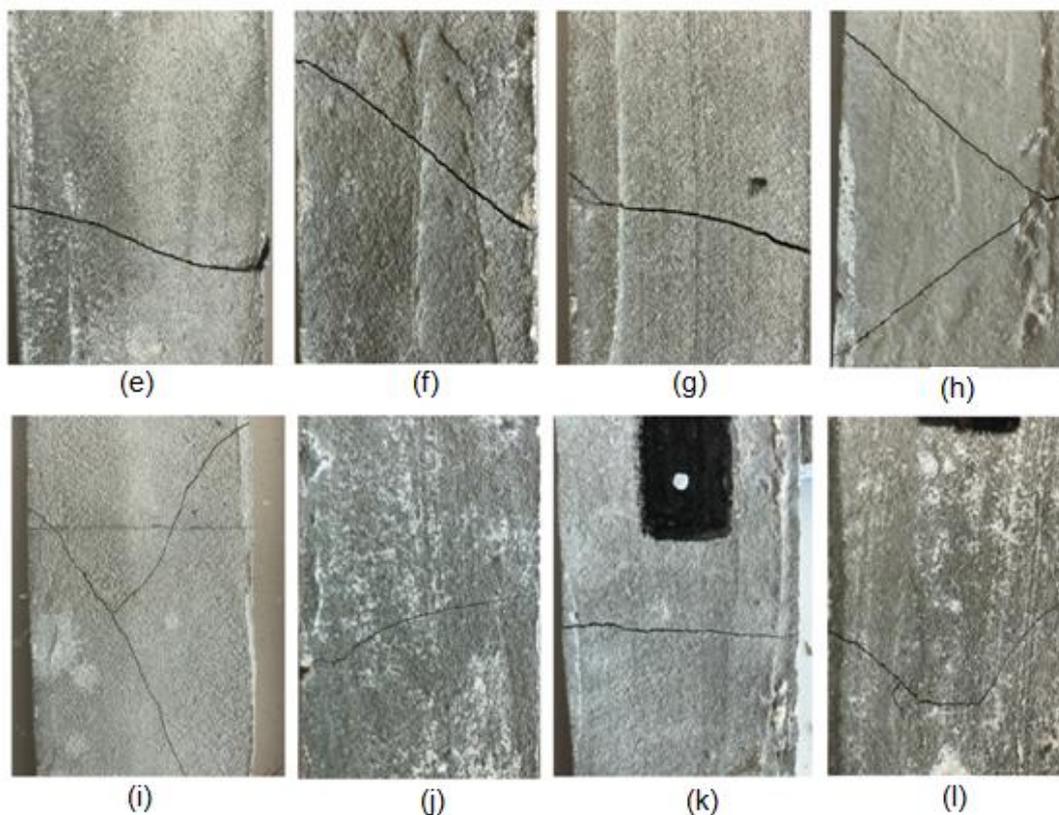
Figura 27 - Falha macroestrutural após ensaio de resistência à tração dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a, b); CRTJ (c, d) e CRTJH (e, f)



Fonte: O autor (2022)

Figura 28 - Falhas após ensaio de tração dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a, b, c, d); CRTJ (e, f, g, h) e CRTJH (i, j, k, l)





Fonte: O autor (2022)

Através das imagens, fica aparente as fraturas formadas nas amostras de CP, expostas na Figura 28. As mesmas são demasiadamente maiores que as fissuras dos compósitos com reforços de tecido plano. É inegável as contribuições que os substratos têxteis trazem aumentar o reforço do compósito cimentício.

5 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, entende-se que as características da fibra, fio e da padronagem do tecido plano, ou seja, propriedades intrínsecas ao reforço são determinantes para a potencialidade de aplicações de tecidos de juta como reforço em matrizes cimentícias para a construção civil. Ressalta-se também a importância das estruturas dos tecidos planos de juta aos quais contribuem com o desenvolvimento dos compósitos cimentícios.

Os ensaios de tração para os corpos-de-prova reforçados com tecidos hornificados demonstraram aumento na capacidade de resistência após período de 28 dias de cura. Para as diferentes frações de massa de reforço inserido, 1% foi o melhor resultado obtido para a adição do substrato têxtil. A avaliação visual das amostras após os ensaios de resistência à tração mostrou resultados satisfatórios para a inserção de tecido plano, quando se considera as fissuras formadas no material. Ficou aparente as falhas formadas na estrutura padrão (CP) com aberturas bastante evidentes. Para os corpos-de-prova CRTJ e CRTJH, que além de serem as amostras com maior resistência à tração, também evidenciaram a menor quantidade de aberturas em suas respectivas superfícies, demonstrando a capacidade dos tecidos de manter a matriz cimentícia agregada, evitando a propagação das falhas.

Salienta-se a importância do tema discutido neste trabalho, a partir da possibilidade da valoração de um substrato têxtil de origem natural na produção de materiais técnicos usados na construção civil com melhor desempenho mecânico. A sinergia entre o setor têxtil e civil, de forma a contribuir com investigações acerca dos têxteis técnicos, como alternativa para material de reforço, é sem dúvida um aspecto relevante e que deve ser considerado no desenvolvimento de soluções para a sociedade.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das respostas obtidas com o trabalho realizado, é apropriado sugerir sugestões para investigações futuras:

Realizar análises microestruturais das amostras, para melhor compreensão dos fenômenos de hidratação e decomposição, no que se refere a obtenção de dados a respeito do desempenho do compósito.

Aprimorar e/ou ajustar as técnicas de moldagem, além de investigar os diferentes ciclos de hornificação para os tecidos ou outro tratamento no reforço que propenda obter maior adesão entre os dois materiais.

Estudar o uso de aditivos na dosagem como super plastificantes, para obter uma matriz mais resistente e densa.

Estudar outras propriedades mecânicas, tais como: resistência à flexão, resistência à compressão e resistência ao impacto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileiro de Cimento Portland. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.

ABDELMOULEH, M. et al. **Short natural-fiber reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibers loading.** Composites Science and Technology, v. 67, n. 7-8, p. 1627-1639, 2007.

ABREU, J. V., **Palestra técnica de cimentos para pré-moldados, Seminário nacional de blocos de concreto para alvenaria e pavimento de concreto,** Instituto de Engenharia de São Paulo, São Paulo / SP, 2001.

ADANUR, S.; **Handbook of Weaving.** Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2002.

AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J.; CHANDRASHEKHARA, K. **Analysis and performance of fiber composites.** Wiley, 2018.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H.; Fibras vegetais como materiais de construção. In: ISAIA, G. C. (editor). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.

ALI, M.M, MULLICK, A.K.; Volume Stabilisation of High MgO Cement: effect of curing conditions and fly ash addition. **Cement and Concrete Research,** Vol. 28, No. 11, pp. 1585–1594, 1998.

ALMACO. Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos. Disponível em: <<http://almaco.org.br>> Acesso em: 25 de setembro de 2021.

ALVES, R. T. **Embrapa Cerrados celebra centenário da imigração japonesa.** Cerrados, 2008.

ANANDAMURTHY, A; GUNA, V.; ILANGOVAN, M.; REDDY, N; **A review of fibrous reinforcements of concrete.** Compos, 2017.

ARAÚJO, M; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil – V. I.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland.** 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 10581:** Materiais têxteis: determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro, p. 1-4, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 12996**: Determinação dos ligamentos fundamentais de tecidos planos: método de ensaio. Rio de Janeiro, p. 1-2, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 13586**: Tecido plano e seu artigo confeccionado - tolerâncias na gramatura. Rio de Janeiro, p. 1, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 13934-1**: Propriedades de tração de tecidos: determinação da força máxima e alongamento à força máxima utilizando o método de tira. Rio de Janeiro, p. 1-12, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D1059-17**: Standard Test Method for Yarn Number Based on Short - Length Specimens. 2019.

BALAGURU, P. N.; SHAH, S. P. **Fiber reinforced cement composites**, McGraw Hill, New York, 1992.

BLACKBURN, R.S., **Biodegradable and sustainable fibres**. 2005: Woodhead Publishing.

BEHERA, B. K.; HARI, P. K. The basics of woven fabric structure. In: **Woven Textile Structure**. [s.l.] Elsevier, 2010. p. 3–8.

BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. "Composites reinforced with cellulose based fibres", **Progress in Polymer Science**, v. 24, pp. 221-274, 1999.

BORBA, N. Z.; BLAGA, L.; SANTOS, J. F.; FILHO, S. T. A. **Direct-friction riveting of polymer composite laminates for aircraft applications**. *Materials Letters*, v. 215, p. 31-34, 2018.

BROOKS, A. Principais países produtores de juta no mundo. Disponível em: <<https://pt.ripleybelieves.com>>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

CADISPOTI, R.; OLIVEIRA, D. V.; OLIVITO, R. S.; LOURENÇO, P. B.; FANGUEIRO, R. Mechanical performance of natural fiber reinforced composites for the strengthening of masonry. **Composites Part B: Engineering**, v. 77, p. 74-83, 2015.

CALLISTER JR, W. D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada. 2 ed. Rio de Janeiro: **LTC - Livros Técnicos e Científicos**. Editora S.A., 2006, p.59.

CASTILLO, C. S.; FROTA, M. N.; LIRA, I.; **Uncertainty in measurement: a key criterion for defining the coverage factor associated with the manufacturing process of woven fabrics.** *XX IMEKO World Congress, Metrology for Green Growth*, Busan, Republic of Korea, 2012.

CATTANI, I. M. Fibra de Burity (Mauritia flexuosa Mart.): **registro em comunidade local (Barreirinhas-MA, Brasil), caracterização físico-química e estudo com impregnação com resinas** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

CHEN, W. et al. Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: **A review of the scientific literature Construction and Building Materials Elsevier Ltd**, 10 set. 2018.

CLEMONS, C. M.; CAULFIELD, D. F.; Natural fibers: **Functional fillers for plastics**, Wiley-VCH Verlag: Weinheim, 2005, chap. 11.

CONAB. **Análise mensal Juta/Malva e Sisal**, 2019.

CREPALDI, E. A. **Influência do fator de cobertura nas propriedades de permeabilidade de tecidos planos.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

DE PAULA, PAULA GOMES. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica.** Universidade Estadual do Norte Fluminense e Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.

DE SANTIS, S. et al. Test methods for Textile Reinforced Mortar systems. **Composites Part B: Engineering**, v. 127, p. 121–132, out. 2017.

DEGUSSA. **Manual de Reforço, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto.** 2003. Ed. Red. São Paulo, 2003.

DUARTE, M. 2019. **Da semente ao tecido, fibra de Juta.** Disponível em: <<http://www.castanhal.com.br>>. Acesso: 15 de abril de 2021.

EICHHORN, S.J., J. HEARLE, and M. JAFFE, **Handbook of Textile Fibre Structure:** Volume 2: Natural, Regenerated, Inorganic and Specialist Fibres. 2009: Woodhead Pub.

ELMOGAHZY, Y. E. Textile fabrics. In: **Engineering Textiles.** [s.l.] Elsevier, 2020. p. 249–274.

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Future Fibers Juta. Disponível em: < <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/en/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

FAO. 2019. Crops and livestock products. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

FAZITA, M. R. N.; NURNADIA, M.; KHALIL, H. P. S. A.; HAAFIZ, M. K. M.; FIZREE, H. M.; SURAYA, N. L. M. Woven natural fiber fabric reinforced biodegradable composite: processing, properties and application. **Green Biocomposites Manufacturing and Properties**. Cap. 09, p. 199-224, 2016.

FERREIRA, S. R. et al. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551–561, maio 2015.

FIDELIS, M. E. A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta**. 266 p., 2014. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - (COPPE/UFRJ). Rio de Janeiro, 2014.

FIDELIS, M. E. A.; TOLEDO FILHO, R. D; SILVA, F. A.; MECHTVHERINE, V. Mechanical behavior of juta textile reinforced concrete: the effect of polymeric coating. **Fifth International Conference on Natural Polymers, Biopolymers and Biomaterials: Applications from macro to nanoscale**, 2017, Rio de Janeiro.

GONG, X.; CHEN, X.; ZHOU, Y. Advanced weaving technologies for high-performance fabrics. In: **High-Performance Apparel**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 75–112.

GORDON, Stuart; HSIEH, You-lo. Cotton: **Science and Technology**. Boca Raton: Woodhead Publishing, 2006.

HAN, W. et al. Study on the modification of bleached eucalyptus kraft pulp using birch xylan. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 2, p. 719–725, abr. 2012.

HAMOUDA T.; SEYAM, A.; PETERS, K. Evaluation of the Integrity of 3D Orthogonal Woven Composites with Embedded Polymer Optical Fibers. **Composites Part B**, 78 (2015), 79-85, 2015.

HELENE, Paulo. **Dosagem do Concreto de Cimento Portland**. Cap. 15. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **CONCRETO**. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, 2010.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Elsevier, 2000.

IRANI, S. Z; CAPOOR, R.; CHENOY, D.; BHASIN, M. **Technical Textiles**:

Growth Engine of Indian Textiles Sector. 8a International Exhibition & Conference on Technical Textiles – Technotex 2019. August, 2019.

JIANG, C.; WU, Y. F.; DAI, M. J. Degradation of steel-to-concrete bond due to corrosion. **Construction and building materials**, v. 158, p. 1073-1080, 2018.

JOSEPH, K; CARVALHO, L. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Polímeros. Águas de Lindóia, São Paulo, (1999) 834-839.

KABIR, M. M. et al. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883-2892, 2012.

KADOLPH, S. J. Textiles. 11. Ed. Prentice Hall, 2011.

KAITH, B.S. and I. KAUR, **Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and Technology.** 2011: Springer.

KOMURIAH A, KUMAR NS, PRASAD BD. Chemical Composition of Natural Fibers and its Influence on Their Mechanical Properties. **Mechanics Composite Materials**, 2014.

KUMAR, R. Senthil. **Textiles for industrial applications.** CRC Press, 2016.

LASCHUK, T. **Design têxtil: da estrutura à superfície.** Porto Alegre: Uniritter, 2009.

LIMA, A. C. 2009. **Caracterização e propriedades de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado.** 113 f. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ.

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, Rio de Janeiro, 2004.

MARQUES, M. B; LINHARES, A. C; VASCONCELOS, R. G; ALVES, S. R. **Análise da produção nacional de juta (Corchorus Capsularis) e a sua variação com o mercado internacional** – Amazonas, 2019.

MELO FILHO, J. A. **Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal.** Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2005. 114p.

MELO FILHO, J. de A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal.** 2012. 207p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) –

Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE, Rio de Janeiro.

MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; MOTTA, L.C.; MARQUES, L.S.; PORTELA, T.G.R. (2009) “Statistical analysis to characterize the uniformity of mechanical properties of butiti fibers”. **Proceedings of the Characterization of Mineral, Metals & Materials**, TMS 2009, (San Francisco, CA, USA, March 2009) 1-8.

MOSLEMI, A. **Emerging Technologies in mineral-bonded wood and fiber composites** *Advanced Performance Materials*, Lancs, v.6, n.2, p. 161-179, 1999.

MUSSIG, J. and C. STEVENS, **Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications**. 2010: Wiley.

NETO, F. L; PARDINI, L. C. “**Compósitos Estruturais: Ciências e Tecnologia**”, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, M. S. **Desenvolvimento e Caracterização de Telhas Cimentícias Reforçadas com Tecido de Fibras Vegetais da Amazônia**. 118 p., 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas - (UFAM). Manaus, 2017.

PEIRCE, F. T. 5 – **The geometry of cloth structure**. *Journal of the Textile Institute Transaction*, v. 28, n. 3, p. T45-T96, 1937.

PEREIRA, P; ROSA, M; CIOFFI, M; BENINI, K; MILANESE, A; VOORWALD, H. et al., **Vegetal fibers in polymeric composites: a review**, *Polimeros* 25 (1) (2015) 9–22.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. 4ª Ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2013.

PICKERING, K; EFENDY, T. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites Part A- Appl S**, 83 (2016), pp. 98-112

PRAMBAUER, M. et al. Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 47, n. 1, p. 48–59, fev. 2019.

RAMAMOORTHY, S; SKRIFVARS, M; PERSSON, A. **A review of natural fibers used in biocomposites: plant, animal and regenerated cellulose fibers**, *Polym. Rev.* 55 (1) (2015) 107–162.

RAMESH, M.FLAX, 2019. (Linumusatissimum L.) **Compósito de polímero reforçado com fibra**.

RAY, D., SARKAR, B. K., BOSE, N. R. "Impact fatigue behaviour of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali treated jute fibres", **Composites Part A**, 33, 233, 2002. 30.

REZENDE, M. C; COSTA, M. L; BOTELHO, E. C. **Compósitos Estruturais – Tecnologia e Prática**, Artliber, 2011.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. **Characterization and factors effecting fiber properties. Natural Polymers and Agrofibers Bases Composites**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, P. O. Box 741, São Carlos, 13560-970 SP, Brazil, 2000, p. 115–134, 2000.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. et al. Cell wall chemistry. **Handbook of wood chemistry and wood composites**, CRC Press, Boca Raton, p. 35–74, 2005.

SALEM, V. Tingimento Têxtil – **Fibras, Conceitos e Tecnologias**. Editora Blucher, 1a Edição, 2010.

DOS SANTOS, W.J. Argamassa de Alto Desempenho. Tese (Mestrado): Universidade Federal de Juiz de Fora, 2019.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2002. 145p.

TEIXEIRA, F. P. M. A. et al. 2014. **Caracterização mecânica de material compósito de matriz cimentícia reforçado com fibras de juta**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá – MT, BRASIL.

TOLEDO FILHO, R. D., GHAVAMI, K., ENGLAND, G. L., SCRIVENER, K., 2015, "Development of Vegetable Fiber–Mortar Composites of Improved Durability", **Cement & Concrete Composites**, v. 25, pp. 185–196.

TOLÊDO FILHO, R. D., Natural fibre reinforced mortar composites: **experimental characterization**. D.Sc., DECPUC-Rio/DEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

TRINDADE, A. C. C. **Desenvolvimento e comportamento mecânico de compósitos geopoliméricos têxteis reforçados com fibra de juta**. [s.l.] PUC-RJ, 2017.

TRUONG, V. D.; KIM, D. J. A review paper on direct tensile behavior and test methods of textile reinforced cementitious composites. **Composite Structures**, v. 263, p. 113661, maio 2021.

VAISANEN, T; TOMPPONEN, L. **A review on new bio-based constituents for natural fiber polymer composites.** J. Clean. Prod., 149 (2017), pp. 582-596

VIRINO, Francisco. **Materiais Compósitos na Indústria da Construção Civil— Cenário, Desafios e Oportunidades.** Universidade Federal do Ceará Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil. Fortaleza, 2018.

WANG, W.; CHOUW, N. The behaviour of coconut fiber reinforced concrete (CFRC) under impact loading. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 452-461, 2017.

WEI, J.; MEYER, C. **Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites.** Cement and Concrete Research 73, 1-16, 2015.

WONG, H. S.; RAZAK, H. A. **Efficiency of calcined kaolin and silica fume as cement replacement material for strength performance.** Cement and Concrete Research, Oxford, v. 35, 2005.

WU, Y. Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams. **Journal of Wuhan University of Technology**, v. 17, n. 2, p. 54-57, 2002.

YAN, L.; CHOUW, N. Experimental study of flax FRP tube encased coir fibre reinforced concrete composite column. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1118–1127, mar. 2013.

ZHANG, Y. et al. Global trends and prospects in microplastics research: **A bibliometric 66 analysis Journal of Hazardous Materials Elsevier B.V.**, 5 dez. 2020.