



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ARTEMISA DE OLIVEIRA ARAÚJO  
KÁSSIA POLICARPO MARTINS**

**OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE  
VIDRO E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COM FOCO NA APLICAÇÃO EM TELHAS POLIMÉRICAS**

**PUBLICAÇÃO Nº: 01**

**GOIANÉSIA / GO  
2022**



**ARTEMISA DE OLIVEIRA ARAÚJO  
KÁSSIA POLICARPO MARTINS**

**OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE  
VIDRO E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COM FOCO NA APLICAÇÃO EM TELHAS POLIMÉRICAS**

**PUBLICAÇÃO Nº: 01**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: Me. VILSON DALLA LIBERA JÚNIOR**

**GOIANÉSIA / GO: 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, ARTEMISA DE OLIVEIRA.  
MARTINS, KÁSSIA POLICARPO.

Obtenção de compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar com foco na aplicação em telhas poliméricas, 2022, xix, 57P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1. Fibras naturais        | 2. Compósito  |
| 3. Propriedades mecânicas | 4. Sustentabilidade   |
| I. ENC/FACEG              | II. Obtenção de compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar com foco na aplicação em telhas poliméricas |

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, A. O.; MARTINS, K. P. Obtenção de compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar com foco na aplicação em telhas poliméricas. TCC, Publicação 01 2022/1 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 57p. 2022.

### CESSÃO DE DIREITOS

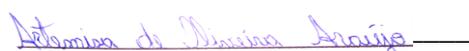
NOME DO AUTOR: Artemisa de Oliveira Araújo; Kássia Policarpo Martins.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: obtenção de compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar com foco na aplicação em telhas poliméricas.

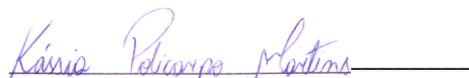
GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Artemisa de Oliveira Araújo  
Rua 45, Santa Clara  
76380-269 – Goianésia/GO – Brasil



Kássia Policarpo Martins  
Rua 17, Setor Oeste  
76385-235 – Goianésia/GO – Brasil

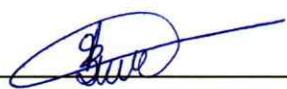
**ARTEMISA DE OLIVEIRA ARAÚJO  
KÁSSIA POLICARPO MARTINS**

**OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE  
VIDRO E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR  
COM FOCO NA APLICAÇÃO EM TELHAS POLIMÉRICAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**VILSON DALLA LIBERA JÚNIOR, Mestre (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**MARINÉS CHIQUINQUIRÁ CARVAJAL BRAVO GOMES, Doutora (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 06 de JUNHO de 2022.**

*Dedico este trabalho:  
Aos meus pais, Francisco Henrique (in memoriam) e Aurelina;  
Aos meus irmãos, Laércio, Beatriz, Paulo Henrique e Helton.*

*Artemisa de Oliveira Araújo*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por sua graça e misericórdia que me concedeu saúde e força para continuar lutando sempre em busca dos meus sonhos, por ter me dado a graça de uma família maravilhosa que esteve presente em todos os momentos que precisei.

Aos meus pais, Francisco Henrique (*in memoriam*) e Aurelina Araújo, que com todo seu amor e dedicação por mim, me ensinaram e me apoiaram durante todos esses anos, e mesmo eu não sendo a melhor filha do mundo, tento sempre ser a melhor filha que eles esperam que eu seja.

Aos meus irmãos Laércio, Paulo Henrique e Helton, por todo apoio, dedicação e incentivo que sempre tiveram por mim nesta caminhada. Aos meus cunhados, Rayka Mirela e Fábio Dantas, por todo apoio e carinho que sempre tiveram por mim. Aos meus sobrinhos Maria Alice e Francisco Henrique por todo amor que me proporcionam.

À minha irmã em especial, Beatriz Araújo, por me incentivar a cada dia a ser uma pessoa melhor, por sempre me ajudar em momentos especiais e por compartilhar momentos incríveis.

Ao meu orientador, Professor Vilson Dalla, por todo o suporte e dedicação, pelos seus valiosos conselhos e suas meticolosas correções, além do incentivo constante durante a realização deste trabalho.

À minha dupla de TCC e melhor amiga, Kássia Policarpo, por todo os momentos compartilhados, toda a amizade, carinho, dedicação e respeito que tivemos uma com a outra. Por todo o incentivo que me deu, pois sem seu apoio não seria possível a realização deste trabalho.

Aos meus amigos que tanto amo, Edna, Franciele, Francismar, Giovanna Lyssa, Heloísa e Karen Kemily, por sempre me apoiar e me incentivar nesta jornada, por todo carinho e por sempre estar comigo em minhas conquistas.

Às minha amigas de faculdade, Adriana Barbosa, Polyana Barbosa e Thauany Furriel, pela amizade e dedicação, por todo o carinho e ajuda em momentos que precisei, pelas boas risadas e momentos felizes que compartilhamos juntas durante esses cinco anos.

À minha amiga Sarah Karolline, por todo amor e carinho, por me ajudar em momentos difíceis e por estar comigo em momentos especiais, agradeço pelas orações e conselhos que sempre me deu.

*Artemisa de Oliveira Araújo*

*Dedico este trabalho:  
Aos meus pais, Josiel e Luciana;  
às minhas irmãs, Késia e Kárta;  
e à minha avó Divina.*

*Kássia Policarpo Martins*

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus, pela oportunidade, cuidado, saúde, graça e misericórdia. Por me cercar de pessoas tão especiais e amáveis, me proporcionar momentos incríveis com aqueles que amo e por me dar a honra de seguir Teus caminhos desde criança.

Aos meus pais Josiel e Luciana, pelo amor incondicional, por serem meus melhores amigos, maiores incentivadores e intercessores, por me guiarem e me ensinarem durante toda a minha vida, por simplesmente serem quem são e nunca me deixarem sozinha. Às minhas irmãs Késia e Kárita, por serem as melhores irmãs mais velhas, sempre me apoiando e me amando apesar dos meus defeitos. E aos meus sobrinhos João Pedro, Lucas Gabriel e Kauã Vitor, por me trazerem tanta alegria. Aos meus avós, tios e primos, em especial à minha avó Divina, por orar tanto por nossa família, cuidar de mim todos os dias, me ouvir quando preciso desabafar e por sempre celebrar minhas vitórias. Sou extremamente grata por fazer parte dessa família.

Ao professor Vilson Dalla, por ser o melhor orientador, por ter tanta paciência para nos ensinar e corrigir, sempre nos incentivando durante o processo. Nos sentimos privilegiadas por estar ao nosso lado nessa caminhada, sem seu apoio esse trabalho não seria possível.

Aos professores Eduardo Toledo, Robson Félix, Igor César e Marinés Gomes, que de certa forma acrescentaram neste trabalho e em toda nossa formação acadêmica.

À minha amiga e parceira de TCC Artemisa Araújo, pela amizade, companheirismo, conversas, respeito e troca de conhecimentos, além de todo apoio prestado à mim e minha família.

Às minhas amigas Heloísa Alves, Edna Tainara, Yasmim Rodrigues, Letícia Vieira e Gilsdaieny Mourato, unicamente por fazerem parte da minha vida, por estarem ao meu lado em todos os momentos por tanto tempo, sempre me apoiando e torcendo por mim. Às minhas amigas Adriana Fernandes, Polyana Fernandes, Thauany Lima, Artemisa Araújo, Jéssica Caroline, Naiara Nunes e toda a minha turma, pela união, amizade e por tornarem os últimos anos os melhores, mais leves e divertidos. Amo todos de uma forma especial e sou muito grata por compartilhar tantos momentos com vocês.

À todos da igreja de Cafelândia, por acolher a mim e minha família com tanto amor, carinho e respeito, por crescer juntamente conosco e orar por nós incessantemente. Sempre estarão em meu coração.

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.”*  
***Provérbios 16:3***

## RESUMO

Telhas poliméricas são materiais compósitos formados pela combinação de dois ou mais elementos, uma matriz e um reforço, de forma que as propriedades deles juntos sejam superiores às suas propriedades individuais. Elas têm se tornado uma ótima alternativa para solucionar os problemas de baixa resistência a tração e a flexão de telhas convencionais, além de serem mais leves e duráveis. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estudar a obtenção de compósitos híbridos de poliéster e reforço híbrido de fibras de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar, avaliando seu desempenho, propriedades mecânicas e viabilidade financeira, com foco na aplicação em telhas poliméricas. A metodologia foi dividida em duas partes. Na primeira, realizou-se o tratamento das fibras naturais em solução alcalina de NaOH e foram produzidos os grupos de compósitos híbridos em várias proporções diferentes entre as fibras sintéticas e naturais. Os compósitos poliméricos foram produzidos no formato de placas através do processo de laminação manual. Em seguida, foram recortados os corpos de prova e submetidos a ensaios térmicos, mecânicos e de absorção de água, cujo resultados foram estudados através da análise de variância ANOVA. Na segunda parte foi selecionada a melhor composição dos compósitos híbridos e comparada com o compósito C1, de 100% de fibra de vidro, deste modo, foi possível verificar a sua eficiência e avaliar a viabilidade financeira para uma possível produção de telhas poliméricas com fibras naturais. A partir da análise termogravimétrica, atestou-se que o tratamento das fibras naturais foi satisfatório, pois houve a remoção da lignina e da hemicelulose. Com os ensaios mecânicos, determinou-se que os compósitos C1 e C3 (83% de fibras sintéticas e 17% de fibras naturais) são estatisticamente iguais, tanto em relação a resistência quanto em relação ao módulo de elasticidade em tração. Enquanto o C1, C2 (com relação 75/25 de fibras sintéticas e naturais, respectivamente) e C5 (71/29) foram os que mais absorveram energia de impacto. No que diz respeito a absorção de água, os que obtiveram melhores resultados foram os compósitos C1 e C3. Assim, assumiu-se que o C3 é o melhor compósito com fibras naturais. E determinou-se a quantidade de materiais necessários para a produção dos compósitos e seus respectivos valores, e confirmou que o C3 também é o mais viável financeiramente para a produção de telhas poliméricas. Após as análises dos resultados obtidos, observou-se que é tecnicamente viável a produção de telhas poliméricas com compósitos híbridos de fibra de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar, contribuindo para que haja mais materiais sustentáveis na construção civil.

**Palavras-chave:** Fibras naturais; Compósito; Propriedades mecânicas; Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Polymeric tiles are composite materials formed by combining two or more elements, a matrix and a reinforcement and their combined properties are superior to their individual properties. Polymeric tiles become a great alternative to solve problems of low tensile strength and flexural strength of conventional tiles, in addition, they are lighter and more durable. In this context, the objective of this work is to study the obtaining of hybrid composites of polyester and hybrid reinforcement of glass fibers and natural fibers from sugarcane bagasse, evaluating their mechanical properties, performance and financial viability, focusing on the application in polymeric tiles. The methodology was divided into two parts. In the first one, the natural fibers were treated in an alkaline solution of NaOH and the groups of hybrid composites were produced in several different proportions between the synthetic and natural fibers, in order to verify the best composition among the studied groups. The polymeric composites were produced in the form of plates through the manual lamination process. Then, the specimens were cut and submitted to mechanical and water absorption tests, whose results were studied through ANOVA analysis of variance. In the second part, the best composition of the hybrid composites was selected and compared with the C1 composite, of 100% fiberglass, in this way, it was possible to verify its efficiency and evaluate the financial viability for a possible production of polymeric tiles with natural fibers. From the thermogravimetric analysis, it was possible to affirm that the treatment of natural fibers was satisfactory, since there was the removal of lignin and hemicellulose. Regarding the mechanical tests, it was determined that the composites C1 and C3 (83% of synthetic fibers and 17% of natural fibers) are statistically equal, both in terms of strength and in relation to the modulus of elasticity in traction. While C1, C2 (with a 75/25 ratio of synthetic and natural fibers, respectively) and C5 (71/29) were the ones that absorbed the most impact energy. With regard to water absorption, the ones that obtained the best results were the C1 and C3 composites. It was concluded that C3 is the best composite with natural fibers. Thus, the amount of materials needed for the production of composites and their respective values was determined, and confirmed that C3 is also the most financially viable for the production of polymeric tiles. After analyzing the results obtained, it can be concluded that it is technically feasible to produce polymeric tiles with hybrid composites with glass fibers and natural fibers from sugarcane bagasse, contributing to more sustainable materials in civil construction.

**Keywords:** Natural fibers; Composite; Mechanical properties; Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Estrutura química da celulose. ....	5
<b>Figura 2</b> - Composição do material compósito.....	6
<b>Figura 3</b> - Estrutura química de polímeros termoplásticos (A) e termofixos (B).....	7
<b>Figura 4</b> - Reação de esterificação para a formação de um poliéster. ....	9
<b>Figura 5</b> - Representação da reação de obtenção do poliéster insaturado. ....	10
<b>Figura 6</b> - Classificação dos reforços quanto a característica geométrica: compósito particulado (a), compósito fibroso (b), e compósito laminado (c). ....	11
<b>Figura 7</b> - Representação esquemática dos compósitos reforçados com fase contínua e alinhada (a), descontínua e alinhada (b), e descontínua e aleatoriamente reforçadas com fibras orientadas (c).....	12
<b>Figura 8</b> - Fibras de vidro. ....	14
<b>Figura 9</b> - Fibras do bagaço da cana-de-açúcar. ....	16
<b>Figura 10</b> - Estrutura típica de uma fibra celulósica (a) não tratada, e (b) tratada com solução alcalina.....	18
<b>Figura 11</b> - Telhas translúcidas em fibra de vidro.....	20
<b>Figura 12</b> - Fibras do bagaço de cana-de-açúcar antes do peneiramento (a), fibras imediatamente após o peneiramento (b).....	24
<b>Figura 13</b> - Tratamento com água quente.....	24
<b>Figura 14</b> - Tratamento alcalino com NaOH.....	25
<b>Figura 15</b> - Índice de indicadores de pH para análise (a), Indicador de pH da fibra imersa em NaOH (b-1), Indicador de pH da fibra após ser lavada em água corrente (b-2). ....	26
<b>Figura 16</b> - Fibras do bagaço de cana-de-açúcar após o tratamento alcalino de NaOH.....	26
<b>Figura 17</b> - Preparação das mantas com as fibras do bagaço de cana-de-açúcar (a), Manta finalizada (b).....	28
<b>Figura 18</b> - Distribuição das camadas das fibras na formação dos compósitos. ....	28
<b>Figura 19</b> - Processo de laminação manual da manta de fibra de vidro (a), Compósito C1 finalizado (b).....	30
<b>Figura 20</b> - Empilhamento das camadas do compósito final.....	31
<b>Figura 21</b> - Processo de cura dos compósitos.....	31
<b>Figura 22</b> - Dimensões dos corpos de prova em milímetros para os ensaios de tração (a), e impacto charpy (b).....	32
<b>Figura 23</b> - Corpos de prova para o ensaio de tração, C1 (a), C2 (b), C3 (c), C4(d), C5 (e). .	32

<b>Figura 24</b> - Corpos de prova para o ensaio de Impacto Charpy, C1 (a), C2 (b), C3 (c), C4 (d), C5 (e).....	33
<b>Figura 25</b> - Compósito C2 posicionado no equipamento pronto para ser ensaiado (a); Compósito já ensaiado, com a ruptura (b).....	35
<b>Figura 26</b> - CP posicionado no equipamento PANTEC para o ensaio de impacto (a), CP's do compósito C1 já ensaiados (b).....	36
<b>Figura 27</b> - Ensaio de absorção de água. ....	37
<b>Figura 28</b> - Análise termogravimétrica das fibras <i>in natura</i> e das fibras tratadas com NaOH. ....	40
<b>Figura 29</b> - Análise termogravimétrica das fibras <i>in natura</i> e das fibras tratadas com NaOH. ....	41
<b>Figura 30</b> - Limites de Resistência a Tração dos compósitos com desvio padrão. ....	42
<b>Figura 31</b> - Módulo de Elasticidade em Tração dos compósitos com desvio padrão. ....	43
<b>Figura 32</b> - Resistência ao Impacto Charpy dos compósitos com desvio padrão. ....	45
<b>Figura 33</b> – Índice de absorção de água dos compósitos durante 22 dias. ....	46
<b>Figura 34</b> - Custo total para a produção de uma telha, em função da área.....	49
<b>Figura 35</b> - Quantitativo de cada material do compósito C3 (kg/m <sup>2</sup> ).....	50

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Propriedades das resinas de poliéster. ....	9
<b>Tabela 2</b> - Propriedades da Fibra de Vidro. ....	14
<b>Tabela 3</b> - Propriedades da Fibra do Bagaço de Cana-de-açúcar. ....	17
<b>Tabela 4</b> - Características técnicas dos laminados. ....	21
<b>Tabela 5</b> - Distribuição das fibras no reforço de cada compósito. ....	29
<b>Tabela 6</b> - Quantidade de materiais utilizados na produção dos compósitos. ....	30
<b>Tabela 7</b> - Dados dos CP's para o ensaio de Tração. ....	34
<b>Tabela 8</b> - Dados dos CP's para o ensaio de Impacto Charpy. ....	34
<b>Tabela 9</b> - Custo dos materiais utilizados no mercado. ....	39
<b>Tabela 10</b> - Temperatura aproximada dos eventos de perda de massa. ....	41
<b>Tabela 11</b> - Valores médios das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração dos compósitos. ....	44
<b>Tabela 12</b> - Valores médios das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de Impacto Charpy. ....	44
<b>Tabela 13</b> - Quantitativo de materiais e valores médios para a análise de viabilidade de produção da telha. ....	48

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

a. C. – Antes de Cristo

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – *Analysis of Variance*

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CP – Corpo de Prova

DTG – Análise Termogravimétrica Derivada

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

NBR – Norma Brasileira

NPG – Neopentilglicol

S/A – Sociedade Anônima

TGA – Análise Termogravimétrica

UnB – Universidade de Brasília

UV – Ultravioleta

**LISTA DE SÍMBOLOS**

% – Por cento

°C – Graus Célsius

°C/min – Graus Célsius por minuto

μm – Micrometro

$\gamma_a$  – Peso específico aparente

$\Delta M$  – Absorção de água

cm – Centímetros

cm<sup>3</sup> – Centímetros cúbicos

$e_h$  – Efeito híbrido

g – Grama

g/cm<sup>3</sup> – Grama por centímetro cúbico

g/L – Grama por litro

g/m<sup>2</sup> – Grama por metro quadrado

h – Hora

GPa – Giga Pascal

J – Joule

kg - Quilograma

kg/m<sup>2</sup> - Quilograma por metro quadrado

kg/m<sup>3</sup> - Quilograma por metro cúbico

kN – Quilonewton

kPa – Quilopascal

L – Litro

M – Massa

$M_f$  – Massa final

$M_i$  – Massa inicial

m – Metro

mg – Miligrama

mL/min – Mililitro por minuto

mm – Milímetros

mm/min – Milímetros por minuto

m/v – Massa por volume

MPa – Mega Pascal

NaOH – Hidróxido de sódio

$p_{exp}$  – Propriedade experimental

pH – Potencial Hidrogeniônico

phr – *Parts per hundred*

$p_{ROM}$  – Propriedade estimada

R\$/m<sup>2</sup> – Reais por metro quadrado

$V_a$  – Volume aparente

W/m/°C – Watt por metro por graus Célsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>4</b>
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS .....	5
<b>2.1.1 Definição e Contexto Histórico</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.2 Matriz Polimérica</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.3 Resina Poliéster</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.4 Reforço</b> .....	<b>11</b>
2.1.4.1 Fibras Sintéticas .....	13
2.1.4.1.1 <i>Fibras de Vidro</i> .....	14
2.1.4.2 Fibras Naturais .....	15
2.1.4.2.1 <i>Fibras do Bagaço de Cana-de-açúcar</i> .....	16
2.1.4.3 Interação Fibra Matriz.....	17
2.1.4.3.1 <i>Tratamento Alcalino</i> .....	18
2.2 TELHAS POLIMÉRICAS .....	19
2.3 ENSAIOS TÉRMICOS, MECÂNICOS E DE ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
3.1 COMPÓSITOS .....	23
<b>3.1.1 Materiais</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.2 Tratamento das Fibras Naturais do Bagaço de Cana-De-Açúcar</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.3 Análise Termogravimétrica das Fibras do Bagaço de Cana-De-Açúcar</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.4 Obtenção dos Compósitos</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.5 Preparação dos Corpos de Prova</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.6 Ensaio Mecânicos</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1.7 Absorção de Água</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1.8 Análise Estatística</b> .....	<b>38</b>
3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>

4.1 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA .....	40
4.2 ENSAIOS MECÂNICOS.....	42
<b>4.2.1 Tração .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.2 Impacto Charpy .....</b>	<b>44</b>
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	46
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA .....	47
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Temas relacionados aos impactos e a preservação ambiental são os mais recorrentes nos estudos atuais, devido aos vários problemas que o mundo tem enfrentado. Estes assuntos se fazem muito presentes na área da engenharia civil, já que a construção é uma das indústrias que mais produz resíduos sólidos e mais consome recursos naturais, provocando grande impacto por onde passa, desde a extração das matérias-primas até a poluição final que é causada pelo descarte incorreto desses resíduos gerados (ROTH; GARCIAS, 2009).

Em geral, as telhas estão entre os diversos materiais que são produzidos e utilizados na construção civil, elas são elementos essenciais em qualquer edificação, mas são pesadas e de difícil manuseio, o que, na maioria das vezes, provoca o aumento dos custos de obra, já que são necessárias estruturas mais reforçadas para suportar a carga, contribuindo ainda mais com a degradação ambiental. Além disso, quando são submetidas a estudos e são comparadas aos outros tipos de materiais existentes, é possível perceber a sua baixa resistência a tração e flexão, o que provoca sua ruptura com facilidade (ARAÚJO; MORAIS; ALTIDES, 2008).

As telhas poliméricas são materiais compósitos que têm se tornado uma ótima alternativa para solucionar os problemas de baixa resistência a tração e a flexão. Estes materiais possuem uma combinação de dois ou mais elementos, geralmente de uma matriz e um reforço, de tal forma que as propriedades deles juntos seja superior que as suas propriedades individuais (PINTO, 2002). Sendo assim, os compósitos de matriz polimérica são muito presentes na construção civil, pois possuem um custo de fabricação relativamente baixo e expressam ótimas características físicas e mecânicas, além de serem leves, duráveis e apresentar maior resistência ao impacto, o que os torna extremamente competitivos no mercado. As matrizes poliméricas têm substituído vários produtos convencionais como uma maneira de melhorar as características específicas de cada material fabricado, transformando-os em matéria-prima para a produção de elementos utilizados em construções, como as telhas por exemplo (VIEIRA; VIEIRA; CARVALHO, 2016).

A fibra de vidro é um material bastante utilizado como reforço híbrido em compósitos poliméricos da construção civil, pois apresenta uma ótima resistência mecânica quando adicionada à matriz polimérica, possuindo uma ótima durabilidade e baixo peso específico. A fibra de vidro quando misturada à uma matriz polimérica, adquire-se uma vasta vantagem nas suas propriedades, ela apresenta uma boa estabilidade, uma ótima resistência ao calor, à corrosão, à umidade e facilidade durante a fabricação, além de ser um material de custo relativamente baixo, tornando-se um dos reforços mais utilizados para a composição de

polímeros. No entanto, apresenta uma certa complexidade em seu processo de reciclagem, pois é um material difícil de ser derretido e remodelado (KEMERICH *et al.*, 2013).

Diversas pesquisas têm sido realizadas para a verificação da substituição das fibras sintéticas pelas fibras naturais na composição polimérica. Fibras como o bagaço de cana-de-açúcar, sisal, coco, madeira e banana, são recursos atraentes para a indústria da construção, pois além de possuir uma fonte de matéria-prima sustentável e serem um material de baixo custo, ainda possuem um peso que é relativamente pequeno quando comparado ao peso específico de materiais tecnológicos que possuem a mesma função como, por exemplo, a fibra de vidro (SANCHEZ *et al.*, 2010).

Entre as diversas fibras naturais citadas destacam-se as fibras do bagaço da cana-de-açúcar. Também conhecidas como fibras lignocelulósicas, essas fibras são constituídas por polímeros naturais como a lignina, a hemicelulose, a celulose e entre outros, que são responsáveis pelas suas principais propriedades mecânicas e físicas. Quando são comparadas com outras fibras naturais podem apresentar uma baixa resistência a tração e menor módulo de elasticidade, porém possuem uma resistência maior à umidade e se degradam melhor no meio ambiente (SANCHEZ *et al.*, 2010).

Para a obtenção de uma melhor interação fibra/matriz, é necessário realizar um tratamento químico na fibra natural, visando a remoção parcial da lignina e da hemicelulose (SANCHEZ *et al.*, 2010). O tratamento alcalino, normalmente utilizando o hidróxido de sódio (NaOH), tem como finalidade aumentar a superfície de contato das fibras, facilitando a interação delas com a matriz polimérica, gerando conseqüentemente melhorias nas propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos com o reforço (MILANI, 2015).

Segundo a CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2021), a indústria da cana-de-açúcar é uma das maiores do país, e a estimativa é que sejam colhidos 592 milhões de toneladas de cana só na safra 2021/22. E entre as regiões brasileiras mais abundantes, está o centro goiano, que possui usinas que são reconhecidas nacionalmente pela extração da cana para a obtenção de álcool e açúcar.

Assim que o caldo da cana é extraído na moenda, o bagaço é reservado e levado a caldeira para que seja queimado, gerando o vapor necessário para o funcionamento das turbinas que acionam os geradores de energia (NUNES; FINZER, 2018). Isso provoca a queima em biomassa e prejudica o meio ambiente, dessa maneira, o objetivo do estudo é proporcionar um destino diferente ao material agroindustrial, de forma que não provoque alto impacto ambiental.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

As telhas são materiais indispensáveis na construção civil e há diversos modelos disponíveis no mercado para a necessidade e a escolha do cliente. Apesar disso, a maioria das telhas apresentam algumas problemáticas, como a baixa resistência a tração e flexão, e um peso significativamente alto, de tal forma que dificulta seu manuseio e torna essencial reforçar as estruturas para suportar o peso, aumentando o custo da obra. Além disso, ainda são materiais não renováveis e que provocam excesso de resíduos sólidos descartados de forma incorreta (ARAÚJO; MORAIS; ALTIDES, 2008).

As telhas de matrizes poliméricas, que são normalmente combinadas com compósitos de poliéster insaturado e ainda reforçada com fibras sintéticas, sendo a fibra de vidro a mais comum, têm sido uma ótima alternativa para a indústria da construção, pois são mais leves e apresentam uma resistência ao impacto, à tração e à flexão maior que as telhas convencionais. Porém, elas também possuem uma grande complexidade na sua produção devido a absorção de água e a baixa resistência a soluções químicas que a matriz possui, além da adesão complexa que existe entre a combinação da matriz e da fibra (SANCHEZ *et al.*, 2010).

Apesar de apresentarem benefícios como uma baixa condutividade térmica e baixo peso específico, as telhas fabricadas com compósitos de matriz polimérica são, normalmente, reforçadas com fibras sintéticas, como as fibras de vidro, de carbono e aramida, que são as mais conhecidas no mercado. Isso faz com que o custo da produção destas telhas sejam consideravelmente alto, pelo fato dessas fibras sintéticas possuírem um custo mais elevado, quando comparada as fibras naturais (GOMES, 2013).

Em vista disso, estudos como os de compósitos de matriz poliméricas com reforço de fibras naturais como as extraídas da madeira, do linho, do sisal, do coco e do bagaço de cana-de-açúcar, tem sido uma opção para a substituição total ou parcial das fibras sintéticas e uma ótima estratégia para reduzir os custo de produção destes materiais e amenizar os impactos ambientais gerados pelo seu descarte (MILANI, 2015).

As fibras do bagaço da cana-de-açúcar, assim como outras fibras naturais, tem sido objeto de estudo como alternativa para as fibras sintéticas em compósitos poliméricos e em outros materiais da construção civil (OLIVEIRA, 2018). Apesar disso, não existe estudos aprofundados sobre a aplicação destas fibras como reforço híbrido em telhas poliméricas, que alinhadas com o uso de materiais renováveis, podem ter resultados relevantes em relação as suas propriedades mecânicas e ainda apresentar um ciclo de vida ambientalmente superior que as fibras sintéticas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a obtenção de compósitos híbridos de poliéster e reforço híbrido de fibras de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar, avaliando seu desempenho, propriedades mecânicas e viabilidade financeira, com foco na aplicação em telhas poliméricas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o tratamento das fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar em solução alcalina;
- Produzir compósitos poliméricos com resina poliéster e reforço híbrido de fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar e fibras de vidro;
- Avaliar as propriedades mecânicas e absorção de água dos compósitos;
- Determinar a composição final dos compósitos potenciais para a produção de telhas poliméricas;
- Analisar a viabilidade financeira da produção de telhas poliméricas produzidas com reforço de fibras do bagaço de cana-de-açúcar e/ou fibras de vidro.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O capítulo seguinte, Capítulo 2, contém a revisão bibliográfica, enquanto o Capítulo 3 refere-se aos materiais e métodos que foram utilizados para a confecção dos compósitos, realização dos ensaios e análises de viabilidade financeira para uma possível produção de telhas poliméricas com reforço híbrido de fibras naturais e fibras sintéticas. Já no Capítulo 4, foi apresentado os resultados e discussões através de análises comparativas dos procedimentos realizados e descritos no Capítulo 3. E por fim, no Capítulo 5, foram apresentadas as conclusões e perspectivas do trabalho realizado.

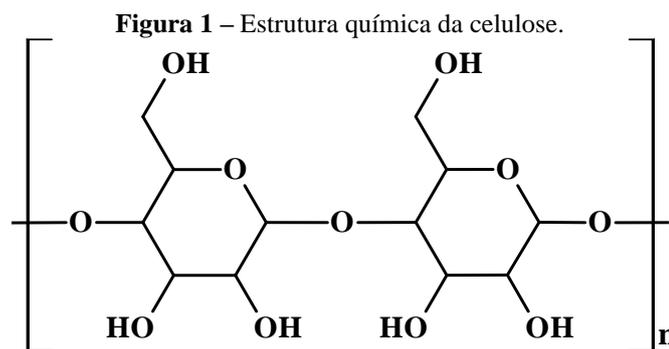
## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

#### 2.1.1 Definição e Contexto Histórico

Os materiais compósitos surgiram em meados do século XX, com o objetivo de obter materiais mais leves que mantivessem as mesmas, ou melhores, propriedades mecânicas das partes metálicas estruturais dos aviões, assim como na área de foguetes e mísseis. Sendo assim, eles foram introduzidos à indústria aeroespacial somente na década de 60, tornando-a pioneira no desenvolvimento de compósitos, que depois foram se espalhando para outras áreas de aplicação e se desenvolvendo a ponto de tornar-se essencial em materiais utilizados na engenharia (REZENDE *et al.*, 2000).

Embora o seu entendimento e evolução tenham acontecido somente no século XX, os materiais compósitos naturais existem e são utilizados desde os tempos pré-históricos, tais como a celulose, a qual possui a estrutura química apresentada na Figura 1, e os polissacarídeos, que são componentes essenciais de produtos vegetais como o amido, o trigo e o milho. Além desses, ainda é possível citar a resina âmbar, que pode ser considerada uma resina fóssil e termoplástica, de origem vegetal, que foi encontrada em túmulos egípcios de 3200 a.C. (CAETANO, 2010).



Fonte: KALIA (2018)

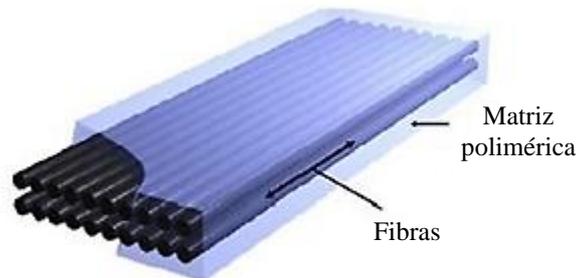
A palavra compósito significa: “formado por duas ou mais partes diferentes”. Dessa forma, os materiais compósitos podem ser determinados pela combinação de dois ou mais elementos, de tal forma que as propriedades deles juntos sejam diferentes e superiores às suas propriedades separadas (CRIPPS, 2019). Com essa definição, é possível dizer que qualquer

material, incluindo materiais naturais resultantes de um procedimento de evolução longo, que seja formado por elementos com características físicas e químicas distintas, também podem ser considerados compósitos (ABDALA, 2018).

Existem vários tipos de compósitos que são utilizados e que estão presentes na maioria dos materiais produzidos, como os compósitos de matriz polimérica e de matriz cerâmica, que são resistentes à deterioração a temperaturas elevadas e à oxidação, e os de matriz metálica, que suportam uma temperatura consideravelmente elevada e quando combinada com um reforço apresentam uma ótima resistência e rigidez (HERAKOVICH, 1998).

Os compósitos de matriz polimérica são os mais comuns e são altamente competitivos no mercado e tem substituído vários outros materiais, devido ao seu baixo custo e por apresentarem ótimas propriedades mecânicas como uma boa resistência à tração e ao impacto. Eles podem ser apropriados a incontáveis aplicações, devido a variedade de combinações que podem haver entre esses materiais que, geralmente, são formados por uma fase contínua, que é a matriz, e uma fase descontínua, que é o reforço, podendo este ser sintético e/ou natural (MARINUCCI, 2011), como a Figura 2, que mostra um material compósito de matriz polimérica reforçado com fibras.

**Figura 2** - Composição do material compósito.



Fonte: DALFRÉ *et al.* (2020)

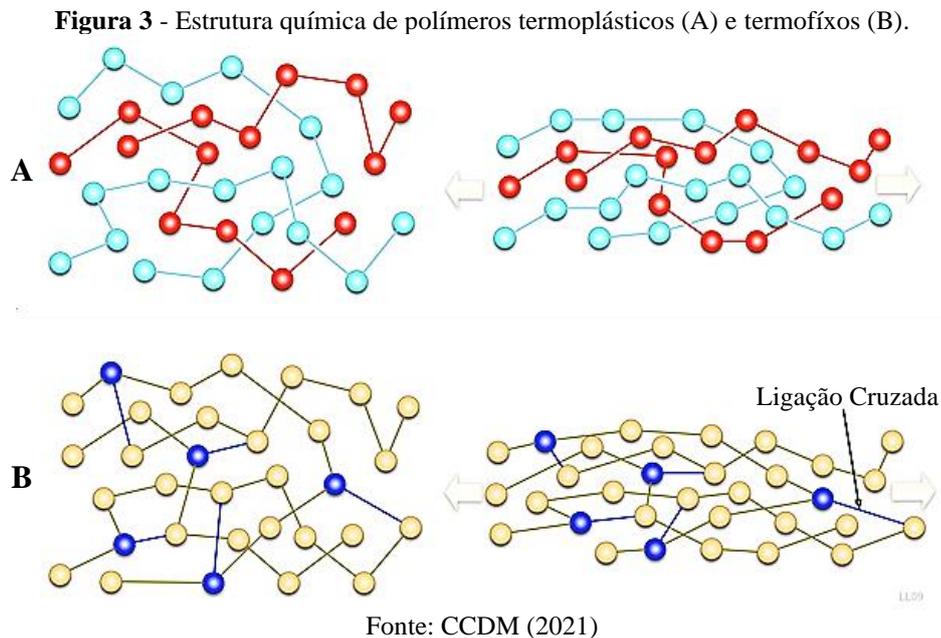
### 2.1.2 Matriz Polimérica

As matrizes, juntamente com o reforço, são elementos essenciais na composição de materiais compósitos, e apesar de haver algumas variações delas, a mais utilizada é a matriz polimérica, por possuir baixo custo e por apresentar uma certa facilidade durante o processo de fabricação. Essa matriz é formada por polímeros, que recebem reforço de um material particulado ou fibroso, tornando-se o meio de transferência e a resistência da força aplicada. As suas propriedades podem sofrer algumas alternâncias, devido aos vários tipos de polímeros

existentes e as suas classificações, como termoplásticos ou como termorrígidos/termofíxos (MARINUCCI, 2011).

Uma das principais responsabilidades da matriz polimérica é proteger o reforço dos ataques físicos e químicos aos quais os materiais compósitos são submetidos, e garantir a sua orientação e o seu posicionamento, o que permite a transferência das tensões atuantes para o reforço. Além da proteção que ela oferece contra os ataques ambientais, algumas das suas características que mais se destacam são as ótimas propriedades mecânicas bem como a sua boa flexibilidade (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

A classificação dos polímeros em termoplásticos e termofíxos podem ser diferenciados em relação a reciclabilidade e a estrutura química entre eles, o que pode interferir em seu comportamento físico. As cadeias químicas desses polímeros são longas e lembram muitos “fios” enrolados entre si, como é apresentado na Figura 3, onde é possível notar que os materiais termoplásticos possuem apenas ligações secundárias, e os termofíxos são constituídos por ligações primárias, também conhecidas por ligações cruzadas (CCDM, 2021).



Entre as classificações dos polímeros, estão os termoplásticos, que possuem características muito importantes e essenciais, como o fato de se tornarem um material fluido quando são submetidos a uma elevada temperatura, sem que perca suas propriedades. Isso permite que o material seja remodelado muitas vezes com facilidade quando aquecido, e quando é exposto ao frio, é endurecido pela solidificação (MARINUCCI, 2011).

Já os polímeros termofixos, diferentemente dos termoplásticos, não possibilitam modificações em sua forma e não permitem a reciclagem do material depois de endurecido. Eles são plásticos maleáveis apenas no momento de sua fabricação, ou seja, não é possível remodelá-los depois que se solidificam. Apesar disso, é o polímero mais utilizado na fabricação de materiais compósitos, pois apresentam ótimas propriedades mecânicas, como em relação ao módulo de elasticidade, além do baixo custo e melhor interação com os reforços, e entre os polímeros termorrígidos mais comuns estão as resinas de poliéster, epóxi e éster vinílico (GOMES, 2015).

A resina epóxi é um polímero de fácil manuseio, que possui uma ótima resistência térmica e química, e é bastante usado em aplicações estruturais por conter excelentes propriedades mecânicas. Além disso, essa resina ainda possui uma boa resistência a ácidos e a reagentes cáusticos, e quando estão no estado líquido, podem apresentar uma baixa viscosidade, o que facilita o seu manuseio. Porém, além de apresentar um alto custo e uma baixa resistência a intempéries, ela pode ser classificada como um material termoendurecível, já que não é possível reutilizá-la, pois sua reação química é irreversível e não pode ser fundida novamente (NASCIMENTO, 2009).

A resina éster vinílico é uma descendente da resina epóxi e os compósitos que são produzidos com ela, geralmente, apresentam propriedades melhores que os produzidos com resinas de poliéster isoftálica, como uma resistência mecânica maior quando exposta a uma temperatura muito alta. Além disso, ela ainda se destaca por ser um material de alta rigidez e por possuir uma ótima resistência a ataques químicos (VIEIRA, 2008).

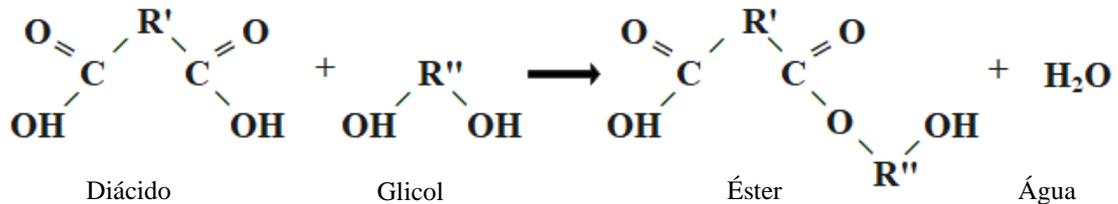
E por fim, as resinas de poliéster, são as mais usadas em compósitos de matrizes poliméricas, por apresentar ótimas características mecânicas, baixo custo, boa resistência à corrosão e à ataques químicos e boas propriedades elétricas depois da cura, porém, a resina pura pode apresentar uma baixa resistência, tornando-a quebradiça (NÓBREGA, 2007).

### **2.1.3 Resina Poliéster**

A resina poliéster, cuja formação da estrutura química é apresentada na Figura 4, é uma matéria-prima obtida por meio da condensação entre ácidos e álcool, podendo substituir materiais plásticos e metálicos, devido a sua elevada resistência e dureza. As primeiras produções da resina poliéster, a partir de glicerol e ácido ftálico, começaram durante a Primeira Guerra Mundial como um material impregnante para papel e madeira, usado como verniz e laca, apesar de que há observações sobre ela desde 1833. Mas foi somente no ano de 1929 que

passou-se a ser utilizada como objeto de estudo para a fabricação e aplicação como matriz em materiais compósitos, aumentando a quantidade de vendas de forma significativa (PINTO, 2002).

**Figura 4** - Reação de esterificação para a formação de um poliéster.



Fonte: CANEVALORO JÚNIOR (2013)

A resina poliéster pode ser considerada uma família de polímeros que são formadas por vários grupos, denominados ésteres, estes por sua vez, são adquiridos mediante a reação de condensação entre ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis, formando moléculas de cadeias lineares longas. A resina ainda pode ser classificada em poliéster insaturado e saturado, ou termorrígido e termoplástico, respectivamente. E dentro dessas classificações ainda podem existir vários tipos de resina, como as ortoftálicas, tereftálicas, isoftálicas, isoftálicas com NPG (neopentilglicol) e bisfenólica (MOREIRA, 2008). A seguir, na Tabela 1 é apresentada algumas das propriedades da resina poliéster comum.

**Tabela 1** - Propriedades das resinas de poliéster.

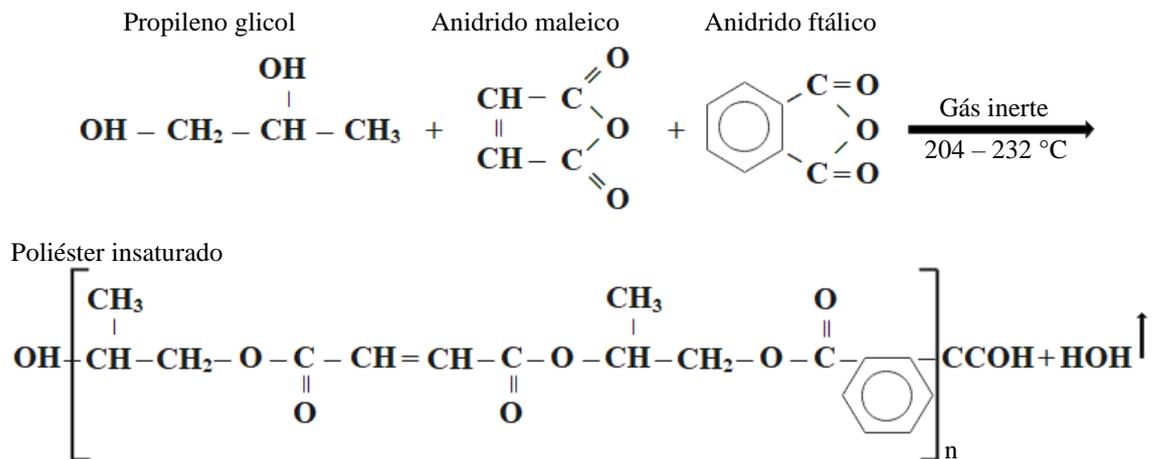
Propriedades	Valor	Unidade de Medida
Módulo de Elasticidade	2100 a 4400	MPa
Resistência a Tração	34 a 100	MPa
Densidade	1100 a 1400	kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Macêdo Neto (2016)

As resinas de poliéster saturado são polímeros termoplásticos resultante da reação entre biálcoois e biácidos saturados, que não contêm insaturações em sua cadeia polimérica, ou seja, é composta apenas por ligações químicas simples. Já as resinas de poliéster insaturado, são polímeros termorrígidos formados a partir da reação entre biálcoois e ácidos saturados e insaturados, que formam ligações químicas simples e duplas ao longo da sua cadeia. Atualmente, a resina de poliéster insaturado tem sido a mais presente na confecção de materiais com compósitos poliméricos, pelo fato de apresentar um ótimo comportamento mecânico, ser

de baixo custo e por atender a diversidade de requisitos necessários em áreas distintas que os compósitos são aplicados (MARINUCCI, 2011). Na Figura 5, é exposta a estrutura química do poliéster insaturado e como ele é formado.

**Figura 5** - Representação da reação de obtenção do poliéster insaturado.



Fonte: GOODMAN (1998)

Entre os vários tipos de resina poliéster destacam-se as resinas ortoftálicas, que são formadas a partir do ácido ftálico e de seu anidrido, e estes são considerados ácidos modificadores. Essas resinas apresentam características químicas e mecânicas inferiores aos demais tipos, por terem dificuldade de encontrar polímeros que tenham alto peso molecular, e apesar disso, ainda são as mais comuns por possuírem baixo custo, elas são utilizadas para uso básico como em bijounerias e artesanatos (KEMERICH *et al.*, 2013).

Já as resinas de poliéster tereftálicas são constituídas por ácidos tereftálicos e apresentam resistências físicas, mecânicas, elétricas e térmicas superiores às resinas ortoftálicas, porém apresentam uma coloração amarelada com facilidade, pelo fato de possuírem uma baixa resistência a radiação ultravioleta (UV). Mas mesmo assim, são muito utilizadas no país em embutimento eletrônico e laminação em reforços de algumas fibras (MOREIRA, 2008).

As resinas de poliéster isoftálicas são formadas pelo ácido isoftálico e apresentam ótima resistência, de tal forma que são superiores aos outros tipos de poliéster citados anteriormente. Existem dois tipos, as resinas comuns, que possuem propileno glicol e geralmente são usadas em laminados sujeito a exposição de intempéries, e as que são formadas por neopentilglicol, que substituem o glicol, beneficiando a resistência à hidrólise do poliéster, tornando-o mais

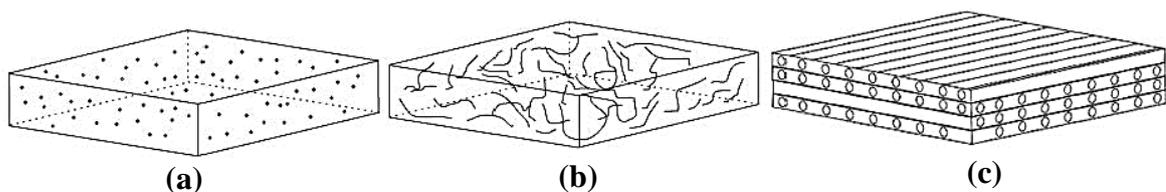
indicado a situações em que for exposto a umidade, como em estruturas de tanques e tubulações de saneamento ou de produtos químicos (CANEVALORO JÚNIOR, 2013).

E por fim, há as resinas de poliéster bisfenólica que são produzidas a partir da reação entre o bisfenol e o óxido de propileno, elas são muito resistentes, a ponto de serem indicadas para o uso em peças e em laminados que estejam sujeitos a altas temperaturas, a ambientes agressivos e que provavelmente sofrerão ataques químicos (BAGGIO, 2005).

### 2.1.4 Reforço

Os materiais compósitos são constituídos por uma matriz e um reforço, no qual procuram-se aproveitar melhor as propriedades mecânicas de reforços que serão acrescentados à matriz. O reforço pode ser constituído por uma fase contínua ou descontínua, onde esta última é a mais comum, podendo ainda ser sintético ou natural, e ser classificado como particulado, fibroso e laminado, a sua escolha deve levar em consideração as suas características, os custos, as técnicas que serão utilizadas durante a fabricação do material e o desempenho final que pretende-se obter (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2013). Na Figura 6, é apresentada a classificação dos reforços quanto as suas características geométricas, sendo essa classificação em compósitos particulados, fibrosos e laminados.

**Figura 6** - Classificação dos reforços quanto a característica geométrica: compósito particulado (a), compósito fibroso (b), e compósito laminado (c).



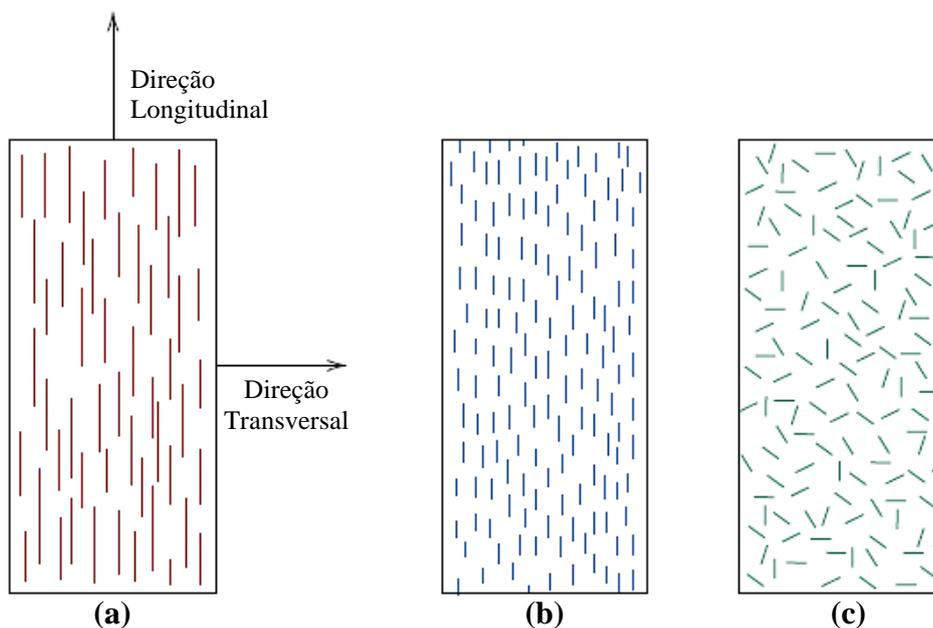
Fonte: D'AGUIAR (2017)

Os reforços particulados, como é possível perceber na figura, são formados por partículas imersas na matriz de forma aleatória, como o concreto, por exemplo, em que a areia e a brita são os compósitos particulados e o cimento é a matriz. Já os reforços laminados são constituídos por longas fibras em forma de filamentos finos, sendo considerado uma fase contínua, como as fibras de carbono (D'AGUIAR, 2017).

Assim como os particulados, os reforços fibrosos são constituídos por fibras também imersas em uma matriz aleatoriamente, porém nesse caso, a orientação que ela escolhe e o seu volume é o que determina a sua ótima resistência e rigidez, além disso ainda pode ser

considerada uma fase descontínua. Portanto, é possível afirmar que tanto os reforços laminados quanto os fibrosos são constituído por fibras, o que os diferenciam é a orientação que elas são posicionadas, formando assim, as fases contínuas, composta por fibras alinhadas e longas, e as fases descontínuas, que são formadas por fibras curtas e dispostas aleatoriamente ou unidirecionalmente em uma matriz, como é mostrado na Figura 7 (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2013).

**Figura 7** - Representação esquemática dos compósitos reforçados com fase contínua e alinhada (a), descontínua e alinhada (b), e descontínua e aleatoriamente reforçadas com fibras orientadas (c).



Fonte: CALLISTER JR; RETHWISCH (2013)

Dentre esses reforços, os fibrosos são os mais utilizados em materiais compósitos, podendo ser sintéticos ou naturais, entre os sintéticos mais comuns estão as fibras de vidro, as fibras de carbono e as fibras aramida, elas são utilizadas, principalmente, devido as várias propriedades mecânicas atrativas que apresentam (MARINUCCI, 2011). Já entre as fibras naturais, podem ser citadas as fibras de coco, de banana, madeira, bagaço da cana-de-açúcar e sisal, que são as mais utilizadas por serem matéria-prima de fonte renovável e apresentarem características significativas que são capazes de substituir as fibras sintéticas (SANCHEZ *et al.*, 2010).

Existem casos que podem e que são úteis combinações de dois ou mais reforços, podendo ser uma interação somente entre fibras sintéticas, apenas entre fibras naturais ou até mesmo uma combinação entre as duas, cujo objetivo principal seja atingir características

específicas para um material que terá um destino exclusivo. Esses compósitos são chamados de híbridos, e a sua vantagem é serem capazes de conseguir adquirir propriedades que seriam impossíveis se não houvesse a combinação entre os reforços (MARINUCCI, 2011).

#### 2.1.4.1 Fibras Sintéticas

As fibras sintéticas são muito usadas como reforço em matrizes poliméricas, cujo objetivo dessa composição é obter uma propriedade mecânica satisfatoriamente superior. Existem vários tipos de fibras sintéticas, as principais e mais utilizadas são as fibras de vidro, de aramida e de carbono, por apresentarem ótimas características quando misturadas com as matrizes. Para a escolha da fibra como reforço, são levados em consideração aspectos importantes como o custo do material, as suas propriedades, os desempenhos pretendidos, a interação fibra/matriz e suas técnicas de fabricação (ALMEIDA, 2012).

Na década de 1960, as indústrias aeroespaciais e aeronáuticas obtiveram grandes avanços e desempenhos tecnológicos utilizando reforços de fibras de carbono em materiais compósitos, pois apesar de possuir um alto custo de fabricação, elas também possuem propriedades mecânicas elevadas quando comparadas às outras fibras, como um alto módulo de tração e de resistência quando são submetidas à altas temperaturas. Porém, essas fibras também podem sofrer alterações quando são expostas à temperatura ambiente, como em relação a umidade, solventes e ácidos (MAZUR, 2010).

Por outro lado, as fibras de aramida foram inseridas no mercado por possuir ótimas propriedades mecânicas, alta resistência ao impacto e a solventes orgânicos, uma ótima resistência mecânica e química, e por ter capacidade de amortecimento de vibrações, se destacando por ter uma distinção em relação a resistência rigidez/peso. Para a aplicação das fibras de aramida em materiais compósitos são utilizadas resinas, sendo as mais comuns a resina poliéster, éster vinílica e fenólica, apesar de que há algumas desvantagens desse tipo de reforço, que é a baixa resistência à compressão e à flexão (ALMEIDA, 2012).

E por fim, as fibras de vidro são as fibras sintéticas mais utilizadas dentre todas elas, por possuir características significativas como baixo custo, alta resistência à tração e uma ótima resistência química. Apesar de que também há algumas desvantagens como um módulo de tração relativamente baixo quando comparada as outras fibras (GUTH, 2018). A Tabela 2, apresenta algumas propriedades da fibra de vidro.

**Tabela 2** - Propriedades da Fibra de Vidro.

<b>Propriedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Densidade área	300	g/m <sup>2</sup>
Densidade	2,5	g/cm <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson	0,21-0,23	-
Módulo de elasticidade de cisalhamento	30-36	GPa
Alongamento	2,5-3,0	%
Resistência á tração	2.000 a 3.500	MPa
Condutividade térmica	1,3	W/m/°C

Fonte: Abd El-Baky *et al.* (2021)

#### 2.1.4.1.1 Fibras de Vidro

A fibra de vidro foi inicialmente descoberta em escavações arqueológicas egípcias, onde as encontraram junto a materiais cerâmicos, encontrados em vasos, templos e lugares históricos. As fibras e suas tecnologias de fabricação não tiveram êxito na época, somente a partir do início do século XX, que foram iniciadas pesquisas que tiveram condições necessárias para o começo da fabricação das fibras de vidro (MARINUCCI, 2011).

A fibra de vidro, apresentada na Figura 8, é formada por compostos químicos adquiridos diretamente da natureza, que é de onde vem o próprio vidro, como a areia, o óxido de alumínio, óxido de magnésio e o calcário. Essas misturas são consideradas ótimas fusões quando administradas nas proporções adequadas, dando origem a alguns tipos de vidro e, conseqüentemente, na fibra de vidro, cujo processo de fabricação requer que o líquido passe por pequenos orifícios numa máquina, por isso ela é constituída por feixes de filamento e são muito utilizadas como reforço estrutural (ORTENZI JÚNIOR, 2007).

**Figura 8** - Fibras de vidro.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Essa fibra é bastante utilizada por apresentar alta resistência mecânica e baixo custo, apesar de que suas propriedades se degradam rapidamente em razão do meio ambiente e da baixa rigidez, o que limita o destino do material compósito que recebe esse reforço. As fibras de vidro não possuem uma forma definida e é composta basicamente por sílica, contendo diversos outros óxidos como óxidos de boro, de cálcio, de sódio, de ferro e de alumínio, por exemplo (ORTENZI JÚNIOR, 2007).

#### 2.1.4.2 Fibras Naturais

As fibras naturais, também conhecidas como fibras lignocelulósicas, são formadas, dentre tantos outros componentes, por lignina, hemicelulose e celulose, essa última é um polissacarídeo semicristalino de cadeia linear e também um composto orgânico natural muito abundante, que desempenha várias funções na formação de células vegetais. No entanto, a hemicelulose possui uma composição monossacarídea heterogênea, normalmente associadas a matrizes e encontradas em lamelas intermediárias que ligam as paredes celulares das fibras. E as ligninas são fenólicos complexos encontrados nas paredes das células vegetais, cuja função é endurecer e proteger as células da umidade e agentes externos (KALIA, 2018).

Os materiais compósitos de matriz polimérica com reforço de fibras naturais têm sido objeto de estudo em várias pesquisas que avaliam a substituição total ou parcial das fibras sintéticas, devido a urgência de encontrar matéria-prima de fonte renovável, com o objetivo de reduzir os custos e ainda contribuir com a preservação ambiental. As fibras celulósicas mais comuns e que mais se destacam como reforços são as fibras de coco, de banana, sisal, madeira e as fibras do bagaço da cana-de-açúcar (SANCHEZ *et al.*, 2010).

Uma grande vantagem das fibras naturais é que elas podem ser reaproveitadas em grandes volumes, desde que se apresente um novo ciclo de vida para esses resíduos agroindustriais, e são usadas para reforçar ou até mesmo substituir fibras de composição tecnológicas. O uso de fibras vegetais tem uma constante necessidade de aplicação, já que são recursos renováveis e não poluentes, e ainda possuem um benefício significativo em relação a fibra sintética, que é um ciclo de vida ambientalmente superior (LAZARINI, 2020).

As fibras naturais apresentam um peso relativamente pequeno quando comparado as fibras sintéticas e não causam tantas consequências durante a produção, isso é benéfico pelo fato de aumentar a eficácia energética no transporte. Apesar de que seja necessário uma quantidade maior de fibras vegetais para ter o mesmo efeito que as fibras que não são celulósicas, ainda há uma redução no impacto ambiental devido a quantidade de polímero,

levando em consideração que no fim do seu ciclo de vida, o material compósito com fibras naturais pode ser incinerado para fornecer energia e carbono (SANCHEZ *et al.*, 2010).

#### 2.1.4.2.1 Fibras do Bagaço de Cana-de-açúcar

Entre tantas fibras naturais, o bagaço da cana-de-açúcar é o mais encontrado no Brasil, tanto que estima-se que na safra 2021/2022 sejam colhidos cerca de 592 milhões de toneladas de cana (CONAB, 2021). Essa planta possui um grande potencial de produção de massa seca e energia, destacando-se pela fácil adaptação aos climas brasileiros, tornando-se a matéria-prima, do etanol e do açúcar, mais cultivados no país (ALMADA; SOUSA; SOARES, 2021).

Assim que a cana-de-açúcar é colhida no campo, ela é transportada e levada à moenda para que seu caldo seja extraído, e só então é possível obter o bagaço, que é reservado e levado para a caldeira para que seja queimado. Essa queima gera o vapor necessário para o funcionamento das turbinas que acionam os geradores de energia, provocando a queima em biomassa e prejudicando o meio ambiente. Dessa maneira, há vários estudos em que o bagaço da cana é reaproveitado e possui um destino diferente e sustentável (NUNES; FINZER, 2018).

As características das fibras naturais variam consideravelmente de acordo com a sua origem, da forma como são extraídas, a idade e seu pré-condicionamento. Porém, fibras como o bagaço da cana-de-açúcar, apresentada da Figura 9, estão disponíveis sem recorrer a quaisquer métodos de extração, fazendo com que suas propriedades naturais sejam conservadas (KALIA, 2018).

**Figura 9** - Fibras do bagaço da cana-de-açúcar.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

As fibras do bagaço da cana-de-açúcar, assim como outras fibras naturais, são de fonte sustentável e possuem em sua composição cerca de 23% de lignina, 27% de hemicelulose e 50% de celulose, podendo ainda ser utilizadas como reforço em vários materiais compósitos da engenharia civil, como o concreto (XAVIER *et al.*, 2021). Além disso, ainda podem apresentar características significativas, como uma ótima resistência ao impacto, a compressão e a umidade, além de outras propriedades que são apresentadas na Tabela 3 (SANCHEZ *et al.*, 2010).

**Tabela 3** - Propriedades da Fibra do Bagaço de Cana-de-açúcar.

<b>Propriedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade de Medida</b>
Densidade	0,3 – 0,5	g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade	27,1	GPa

Fonte: Lazarini (2020)

#### 2.1.4.3 Interação Fibra Matriz

Uma das principais dificuldades na fabricação de materiais compósitos poliméricos é conseguir obter a adesão correta entre a fibra natural e a matriz. Essa interação é extremamente importante, pois define como será o comportamento do material produzido, controlando a eficácia do reforço através do processo de transição das forças existentes na matriz para as fibras, interferindo de forma significativa nas propriedades mecânicas desses elementos que serão desenvolvidos (BASSI *et al.*, 2009).

A secagem é uma das principais etapas do processo para a obtenção de uma boa interação fibra matriz, cujo principal objetivo é remover um líquido volátil dos produtos *in natura*, reduzindo assim o seu peso, volume e o teor de umidade no material de forma que o tempo de conservação e a vida útil do produto aumente e facilite o seu transporte, manuseio e armazenamento. Esse procedimento é de grande importância pelo fato da resina poliéster se tratar de um material hidrófobo, ou seja, um material que não pode ter contato com a água ou qualquer tipo de líquido (XAVIER *et al.*, 2021).

Após a secagem, que geralmente é realizada em estufa, é necessário fazer a separação granulométrica da fibra de acordo com o material que será produzido e com a matriz em que ela será inserida. Em alguns casos, é fundamental que faça a trituração da fibra, para que ela se apresente como partículas de tamanho em que facilite a compactação com a matriz (SANTANA; TEIXEIRA, 2019).

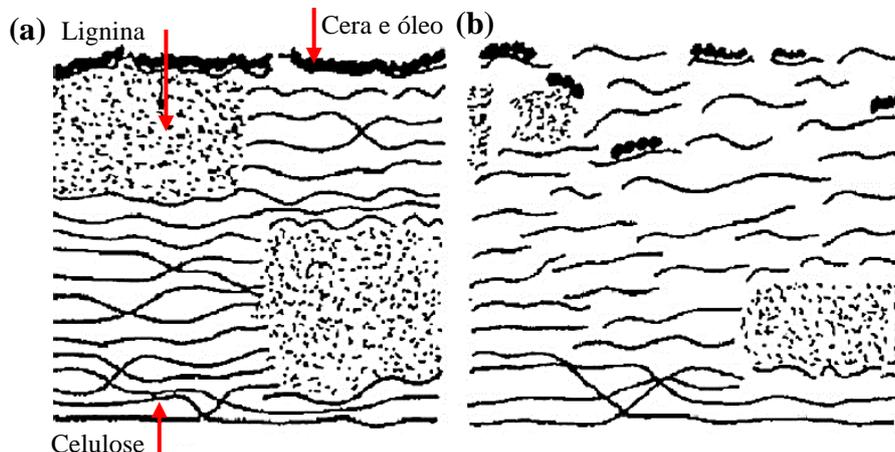
Porém, para a obtenção ainda melhor dessa interação, é essencial que seja feito um tratamento químico na fibra natural, também conhecido como tratamento alcalino, normalmente realizado com hidróxido de sódio. Esse procedimento é realizado de forma que haja a remoção dos compósitos não celulósicos como a lignina e a hemicelulose, e só então apresente uma superfície de contato maior, facilitando a interação da fibra com outros materiais, principalmente com os poliméricos (KALIA, 2018).

#### 2.1.4.3.1 Tratamento Alcalino

O tratamento alcalino, ou mercerização, mais conhecido e utilizado é o de hidróxido de sódio, por ter um baixo custo e possuir habilidades de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais compósitos poliméricos. A mercerização é conceituada como um processo em que as fibras são sujeitas a uma interação aquosa com solução de base forte e que tem por objetivo produzir intumescimento, e este por sua vez, pode gerar mudanças na morfologia, nas características, dimensões e estruturas das fibras vegetais (SANCHEZ *et al.*, 2010).

É possível afirmar que a presença de hidroxilas, juntamente com o intumescimento, são responsáveis pelo distanciamento das cadeias celulósicas, o que quebra as ligações de hidrogênio, resultando em ligações de hidrogênio com as cadeia celulósicas. E é somente após essa quebra que as fibras apresentam uma superfície maior de contato, e então ocorre a disponibilização dos grupos para realizarem ligações intramoleculares, resultando em uma boa adesão fibra matriz, o que contribui para que o material compósito polimérico tenha um ótimo desempenho. A Figura 10 mostra a diferença entre as estruturas das fibras celulósicas, antes e depois de um tratamento alcalino (KALIA, 2018).

**Figura 10** - Estrutura típica de uma fibra celulósica (a) não tratada, e (b) tratada com solução alcalina.



Fonte: KALIA (2018)

O tratamento alcalino é utilizado para reforçar os polímeros, o que gera uma modificação na estrutura da fibra, diminuindo a absorção de água da hemicelulose. Além disso, as suas propriedades físicas e mecânicas também sofrem alterações, como o branqueamento da fibra, a eliminação de sujidade e impurezas, e uma certa remoção parcial da lignina. E esse tratamento faz com que a fibra tenha um acréscimo em sua rugosidade, aumentando a área de contato, devido ao fato da estrutura sofrer uma certa ruptura nas ligações de hidrogênio (LIBERA JÚNIOR, 2019).

## 2.2 TELHAS POLIMÉRICAS

As telhas, elementos essenciais na construção civil, são formadas por um conjunto de elementos da cobertura que deve contribuir com o desempenho térmico e acústico do ambiente. Elas devem possuir uma ótima resistência a intempéries e exercer a função de proteger o ambiente de algumas situações, como infiltrações e deterioração de agentes naturais. Apesar disso, elas apresentam algumas desvantagens, como possuir uma baixa resistência à tração, à flexão e ser um material pesado, o que causa um grande aumento no custo da obra, e ainda gera uma quantidade significativa de resíduos poluentes que degradam o meio ambiente (SILVA; FARIAS; ANTUNES, 2017).

A telhas poliméricas são materiais compósitos que combinam dois ou mais elementos, geralmente uma matriz e um reforço, e juntos formam propriedades superiores do que teriam individualmente, sendo essas características necessárias à casos específicos a qual podem ser empregadas, transformando-as em uma ótima alternativa para solucionar as questões relacionadas a baixa resistência a tração e a flexão, pois apresentam boas características físicas e mecânicas, além de ser leve, durável e ter maior resistência ao impacto. O uso desses materiais compósitos tem aumentado gradativamente na indústria da construção, podendo ser utilizados em outros materiais além das telhas, como em tijolos, blocos estruturais e concreto, por exemplo (MARCELO JÚNIOR, 2004).

O uso de fibras, sejam elas naturais ou sintéticas, como reforço em telhas poliméricas e em qualquer material compósito empregado na construção civil, tem sido uma ótima possibilidade, pois são elementos essenciais estruturais que estabelecem a resistência mecânica do reforço e da matriz. Há vários tipos de fibras que podem ser utilizadas, entre elas estão as fibras naturais, que têm ganhado um espaço significativo na composição desses materiais, por apresentar pontos positivos em suas propriedades mecânicas e físicas, além possuir uma fonte sustentável e não agredir o meio ambiente (ALMEIDA, 2012).

As fibras sintéticas são muito utilizadas por apresentar características relevantes que se adaptam a qualquer situação, podendo haver muitas variações delas no mercado como as fibras de aramida, fibras de carbono e as fibras vidro, que são encontradas em vários materiais da construção civil, inclusive em telhas como mostra a Figura 11. Para se fazer uma boa escolha do reforço é necessário levar muitos aspectos em consideração, como o custo do material e da fabricação, além de suas propriedades e o ganho de resistência após receber o reforço (MARINUCCI, 2011).

**Figura 11** - Telhas translúcidas em fibra de vidro.



Fonte: KEMERICH et al. (2013)

Segundo a ABNT NBR 16753 (2019), que estabelece os requisitos e métodos de ensaios em telhas de poliéster reforçadas com fibras de vidro, define o produto formado pelos compósitos poliméricos como laminados e os classifica em relação ao tipo, podendo ser translúcido e/ou opaco, a resposta à ação do fogo e à ação do meio ambiente, este último pode ser caracterizado de acordo com o grau 1, em que há no mínimo duas camadas protetoras resistentes à intempéries, e grau 2, que possui apenas uma camada protetora. Além disso, ainda é possível obter algumas informações sobre as características técnicas que os laminados devem apresentar ao serem submetidos a ensaios de tração, flexão e absorção de água, levando em consideração ao fato de ser empregado 25% do teor de fibra de vidro, como é apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Características técnicas dos laminados.

Característica	Valor		Unidade de Medida
	Mínimo/ Máximo	Valor	
Teor de Fibra de Vidro	Mínimo	25,0	%
Alongamento na Ruptura	Mínimo	1,20	%
Resistência à Tração	Mínimo	70,0	MPa
Módulo de Elasticidade na Tração	Mínimo	5.000	MPa
Resistência à Flexão	Mínimo	145,0	MPa
Módulo de Elasticidade na Flexão	Mínimo	5.000	MPa
Absorção de Água	Máximo	1,0	%

Fonte: ABNT NBR 16753 (2019)

Ainda segundo a ABNT NBR 16753 (2019), ao serem confeccionadas, as telhas não poderão apresentar trincas e manchas, nem lugares sem conter a resina poliéster, também não poderão haver ondulações que modifiquem as dimensões que são especificadas nas normas, e nem rugas superficiais, de modo que não prejudique a instalação adequada da mesma.

### 2.3 ENSAIOS TÉRMICOS, MECÂNICOS E DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Ensaio térmicos, mecânicos e de absorção de água são essenciais para definir alguns parâmetros como umidade, resistência à tração, à deformação e à temperatura, módulo de elasticidade e entre tantos outros, que com algumas análises podem comprovar a viabilidade do projeto em questão. Em relação ao ensaio térmico de fibras naturais, como o bagaço de cana-de-açúcar, é importante para determinar se o tratamento que ela recebeu foi eficiente a ponto de influenciar benéficamente o destino em que será empregada, como no presente caso, a sua interação com a matriz de poliéster (LAZARINI, 2020).

De acordo com a ASTM D3039 (2017), que refere-se ao método de teste padrão para propriedades de tração de materiais compostos de matriz polimérica, o ensaio de Tração determina propriedades como tensão-deformação, tração final, módulo de elasticidade, limite de resistência à tração e deformação na ruptura. Todas essas informações adquiridas durante a execução dos testes referem-se à amostra que está sendo submetida a uma carga de tração máxima que vai aumentando gradativamente até chegar o momento da ruptura. Por isso são tão importantes, pois é possível acompanhar o processo e o comportamento de deformação do material de acordo com a tensão aplicada, bem como as cargas que podem receber sem que ocorra tal deformação, ou seja, conhecer os limites que podem ser expostas e trabalhar dentro da segurança (OLIVEIRA, 2016).

Já a ASTM D6110 (2010), refere-se ao ensaio de Impacto Charpy de amostras entalhadas de plásticos, que é usado para determinar a resistência dos materiais plásticos em relação a quebra por choque de flexão. Esses dados são relevantes por apresentarem os limites máximos de força que um material suportaria antes que o mesmo rompesse.

E por fim, segundo a ASTM D570 (2018), o ensaio de Absorção de Água refere-se ao método de determinação da taxa relativa de absorção dos materiais plásticos ao serem imersos em água destilada. Em outras palavras, é possível afirmar que esse teste tem por finalidade observar a proporção de água que um material pode absorver, considerando outros aspectos como a umidade, as propriedades mecânicas, as dimensões e a estética. De acordo com Raymundo *et al.* (2012), a absorção de água em polímeros pode provocar aumento nas dimensões e microfraturas na superfície, podendo alterar suas propriedades mecânicas e aumentar o peso.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste estudo foi dividida em duas partes. Na primeira, foi realizada a produção dos grupos de compósitos em várias proporções diferentes entre as fibras sintéticas e naturais, cujo objetivo foi verificar qual é a melhor composição híbrida para se utilizar as fibras naturais. Na segunda parte foi selecionada a melhor composição dos compósitos híbridos e comparada com o compósito de 100% de fibra de vidro, deste modo, foi possível verificar a sua eficiência e avaliar a viabilidade financeira para uma possível produção de telhas poliméricas com fibras naturais.

#### 3.1 COMPÓSITOS

##### 3.1.1 Materiais

Este estudo teve como objeto de trabalho fibras do bagaço da cana-de-açúcar que foram fornecidas pela Usina Goianésia S/A, localizada na cidade de Goianésia. As fibras foram disponibilizadas na forma *in natura*, úmidas e em pedaços de 1 a 10 cm. Também foram utilizadas fibras de vidro da marca Fiberglass Brasil, no formato de manta de fibras descontínuas aleatórias e com dimensões que variam de 6 a 8 cm. E por fim, resina poliéster insaturado isoftálica da marca Embrapol, que foi usada juntamente com o catalisador MEK V50, sendo este o agente de cura.

##### 3.1.2 Tratamento das Fibras Naturais do Bagaço de Cana-De-Açúcar

Para iniciar o tratamento da fibra do bagaço de cana-de-açúcar, primeiramente foi realizado o processo de peneiramento para a retirada de partículas que não se encaixavam na granulometria desejada, 6 a 8 cm, conforme é apresentado na Figura 12. Em seguida, as fibras ainda foram trituradas para o melhor aproveitamento, resultando em 386,53 g de fibras naturais que foram secas em estufa à 80 °C durante 24 h, e só então foram submetidas ao tratamento de água quente e hidróxido de sódio.

**Figura 12** - Fibras do bagaço de cana-de-açúcar antes do peneiramento (a), fibras imediatamente após o peneiramento (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Após o processo de secagem, as fibras foram imersas em água quente à temperatura de 100 °C por 2 h, para a remoção de sujeira e impurezas da fibra, de acordo com a Figura 13. Logo após, as fibras foram secas em temperatura ambiente por 48 h, seguida de secagem em estufa durante 24 h à 100 °C.

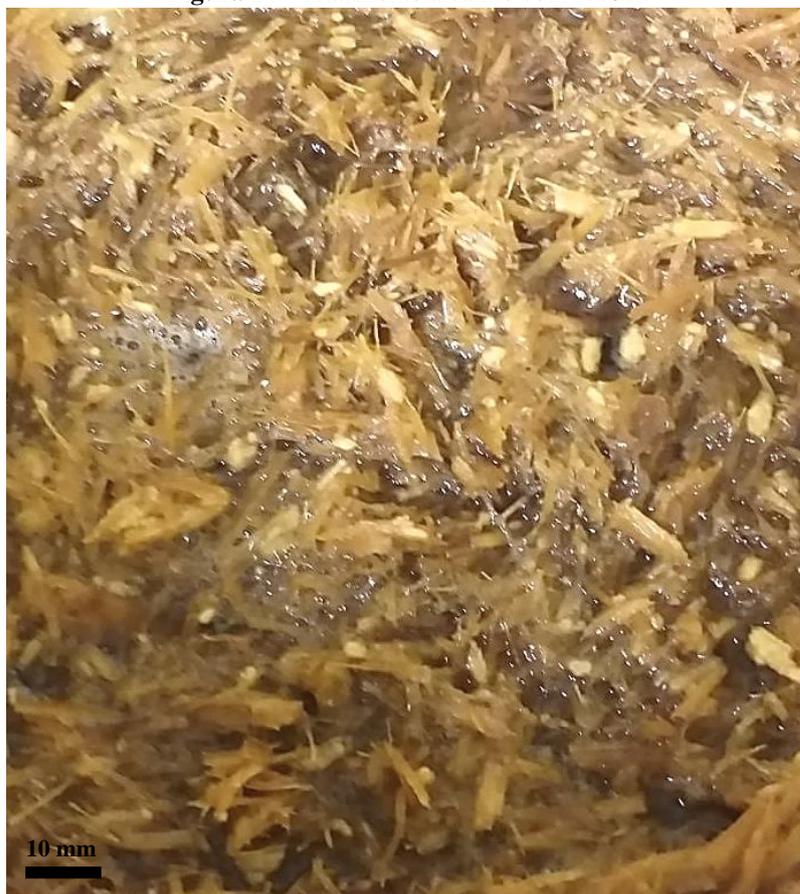
**Figura 13** - Tratamento com água quente.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Em seguida, as 386,53 g de fibras naturais foram inseridas em 6 L de uma solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 5% (m/v), ou seja, 50 g/L, resultando em 300 g de NaOH, por 24 h em temperatura ambiente, como mostra a Figura 14.

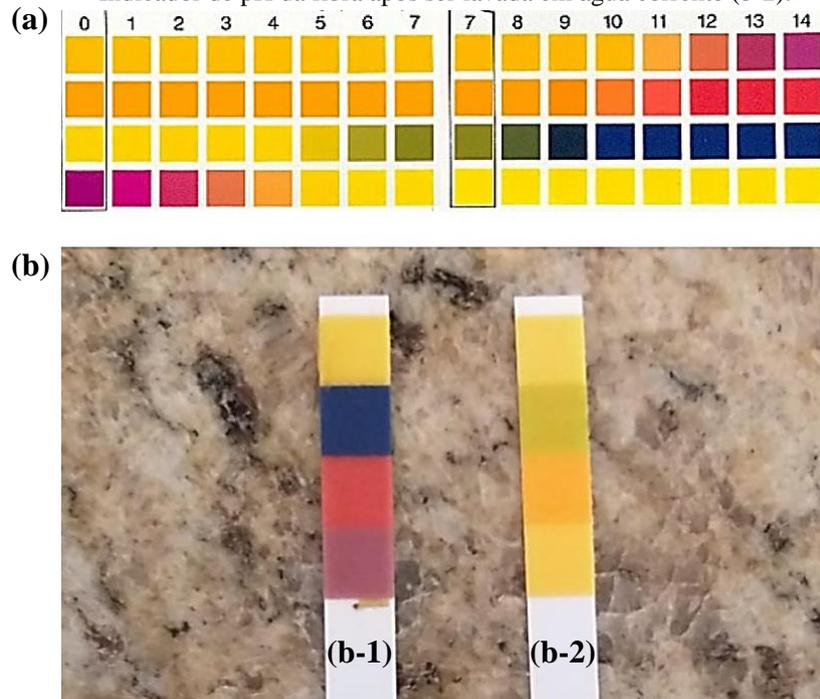
**Figura 14** - Tratamento alcalino com NaOH.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Posteriormente, as fibras foram lavadas em água corrente até ocorrer a neutralização do pH, secas em temperatura ambiente por 48 h, e secas em estufa à 100 °C durante 24 h. A Figura 15 (a) mostra os índices dos indicadores de pH que foram utilizados para a determinação de como as fibras se encontravam, o da esquerda, na Figura 15 (b-1), representa as fibras que ainda estavam imersas em solução alcalina de NaOH e possuíam pH 14. Já o indicador da direita na Figura 15 (b-2), representa como as fibras se encontravam imediatamente após serem lavadas em água corrente, com pH 7, ou seja, pH neutro.

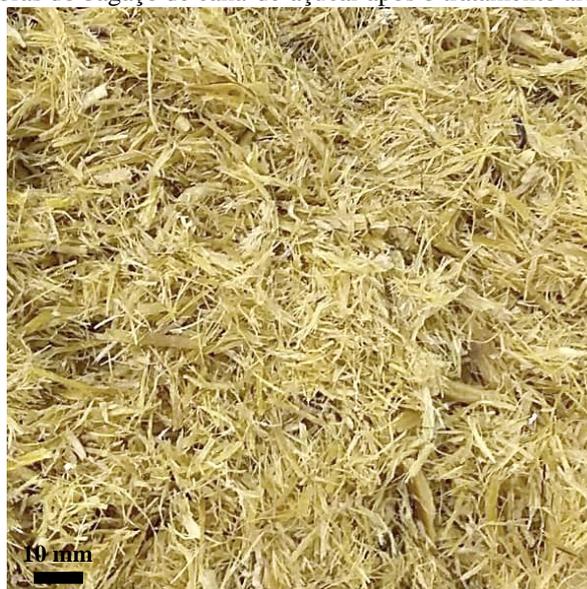
**Figura 15** - Índice de indicadores de pH para análise (a), Indicador de pH da fibra imersa em NaOH (b-1), Indicador de pH da fibra após ser lavada em água corrente (b-2).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Após a finalização do tratamento, as fibras foram reservadas e armazenadas em locais secos e fechados, de modo que não ficassem expostas à umidade e não prejudicasse a obtenção dos compósitos. A Figura 16 mostra as fibras do bagaço de cana-de-açúcar logo após serem lavadas e obterem pH neutro.

**Figura 16** - Fibras do bagaço de cana-de-açúcar após o tratamento alcalino de NaOH.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

### 3.1.3 Análise Termogravimétrica das Fibras do Bagaço de Cana-De-Açúcar

Para os ensaios térmicos, foram realizadas análises termogravimétricas (TGA) das fibras de bagaço de cana-de-açúcar em um equipamento SDT Q600 (*TA Instruments*) sob uma atmosfera inerte de nitrogênio com um fluxo de gás de 100 mL/min.

As fibras do bagaço de cana-de-açúcar foram separadas em duas amostras, na primeira as fibras ainda se encontravam de forma natural, enquanto na segunda amostra elas já estavam tratadas com solução alcalina de NaOH. Em seguida, as amostras de fibras foram colocadas na estufa por 24 h em temperatura de 80 °C, de modo que toda a umidade fosse retirada anteriormente ao ensaio.

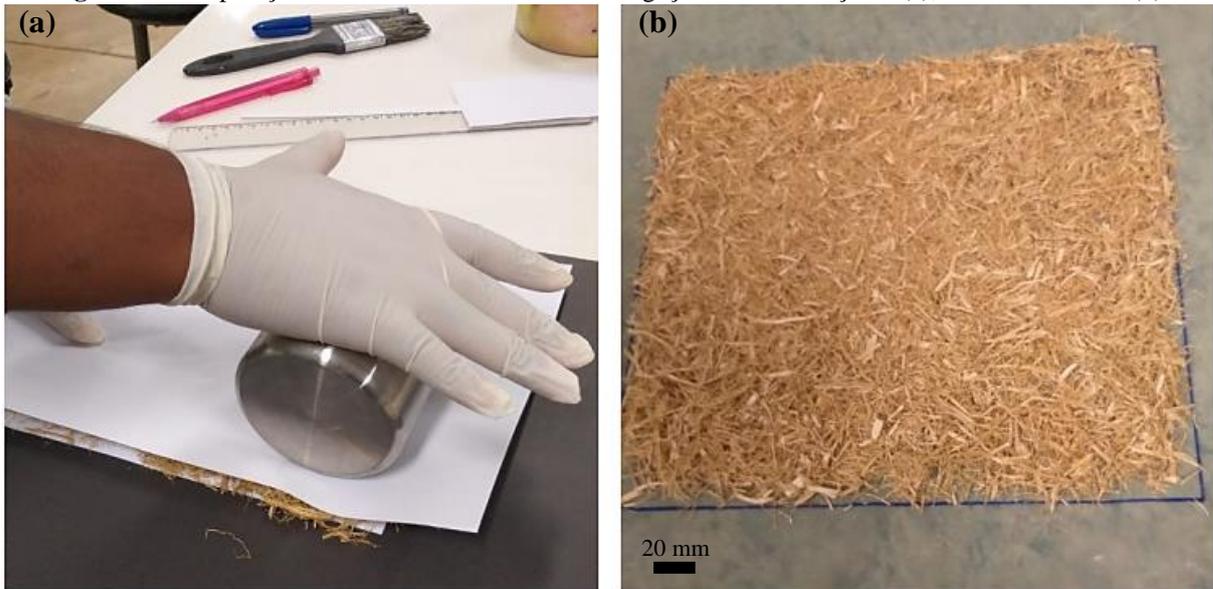
Após a secagem, as amostras foram armazenadas em um recipiente fechado e permaneceram em temperatura ambiente, protegidas de qualquer umidade. Em seguida, foram pesadas porções de  $12 \pm 0,5$  mg das amostras, colocadas em cadinho de alumina, fechado com tampa e analisada sob uma taxa de aquecimento de 10 °C/min até 600 °C.

### 3.1.4 Obtenção dos Compósitos

Inicialmente os compósitos poliméricos foram produzidos no formato de placas nas dimensões de 200 mm x 220 mm, de onde foram extraídos os corpos de prova para os ensaios mecânicos. Os compósitos foram feitos através do processo de laminação manual, onde as mantas de fibras de vidro e do bagaço de cana-de-açúcar foram posicionadas em camadas intercaladas para formar um compósito híbrido com os dois materiais.

Os compósitos poliméricos foram produzidos utilizando uma proporção de fibras em relação a massa total do compósito igual a 25%, valor este estabelecido de acordo com as recomendações da NBR 16753 (2019), que refere-se aos requisitos e métodos de ensaio em chapas planas, telhas e domos contínuos de poliéster reforçado com fibras de vidro. Para a produção dos compósitos, foram confeccionadas apenas as mantas com as fibras do bagaço de cana-de-açúcar, já que as mantas de fibras de vidro foram disponibilizadas prontas. A Figura 17 mostra como as mantas com fibras do bagaço de cana-de-açúcar ficaram após serem preparadas. No procedimento, as fibras foram pesadas e espalhadas em uma superfície com as mesmas dimensões das placas, e em seguida foram prensadas com um rolo, com o objetivo de facilitar a montagem dos compósitos.

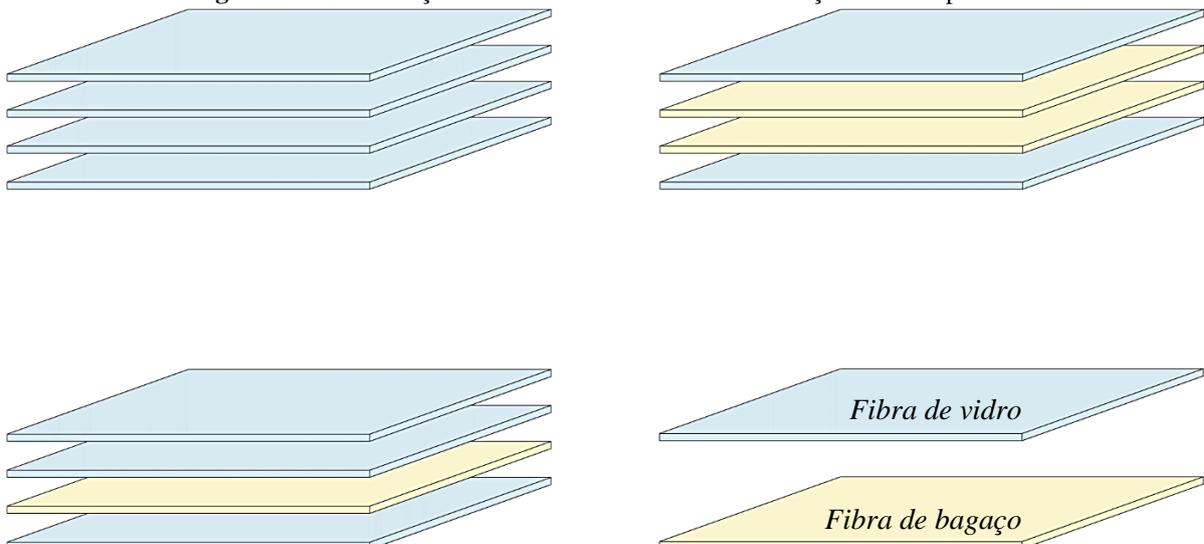
**Figura 17** - Preparação das mantas com as fibras do bagaço de cana-de-açúcar (a), Manta finalizada (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Os compósitos híbridos foram produzidos utilizando um empilhamento conjunto de 4 camadas de fibras em proporções diferentes (fibra de vidro e bagaço de cana). Deste modo, o reforço foi dividido nas proporções em porcentagem de 0, 25, 50, 75 e 100 do volume total que o reforço ocupa no compósito, ou seja, dos 25% da relação entre a massa das fibras e a massa total do compósito, como especificado na NBR 16753 (2019) e conforme é apresentado na Figura 18.

**Figura 18** - Distribuição das camadas das fibras na formação dos compósitos.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Dessa forma, a quantidade em massa (g) das fibras naturais foram determinadas de acordo com a densidade da fibra de vidro, 2,5 g/cm<sup>3</sup>, e da fibra do bagaço de cana-de-açúcar, 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Considerando que o compósito possui um volume de aproximadamente 132 cm<sup>3</sup> (20 x 22 x 0,3 cm) e que esse valor multiplicado com a densidade resultará em 330 g de fibra de sintética e 66 g de fibra natural, foi possível obter os 25% estabelecidos pela NBR 16753 (2019), 82,5 g e 16,5 g, respectivamente, e então concluir que em um compósito com 4 camadas seria necessário uma manta de fibra de vidro com 20,6 g e 4,1 g em uma manta de fibra de bagaço de cana-de-açúcar. Com isso, foram estabelecidas as quantidades de 4, 6 e 8 g de fibras naturais para a proporção de 50% de fibra sintética e 50% de fibra natural, e aproximadamente 20 g de bagaço de cana para a proporção com 75% sintética e 25% natural, ou seja, com a mesma massa de uma manta de fibra de vidro, com o objetivo de comparar os resultados obtidos e determinar qual a melhor composição. A Tabela 5 mostra a quantidade de fibras contidas no reforço e suas respectivas porcentagens em relação a massa total.

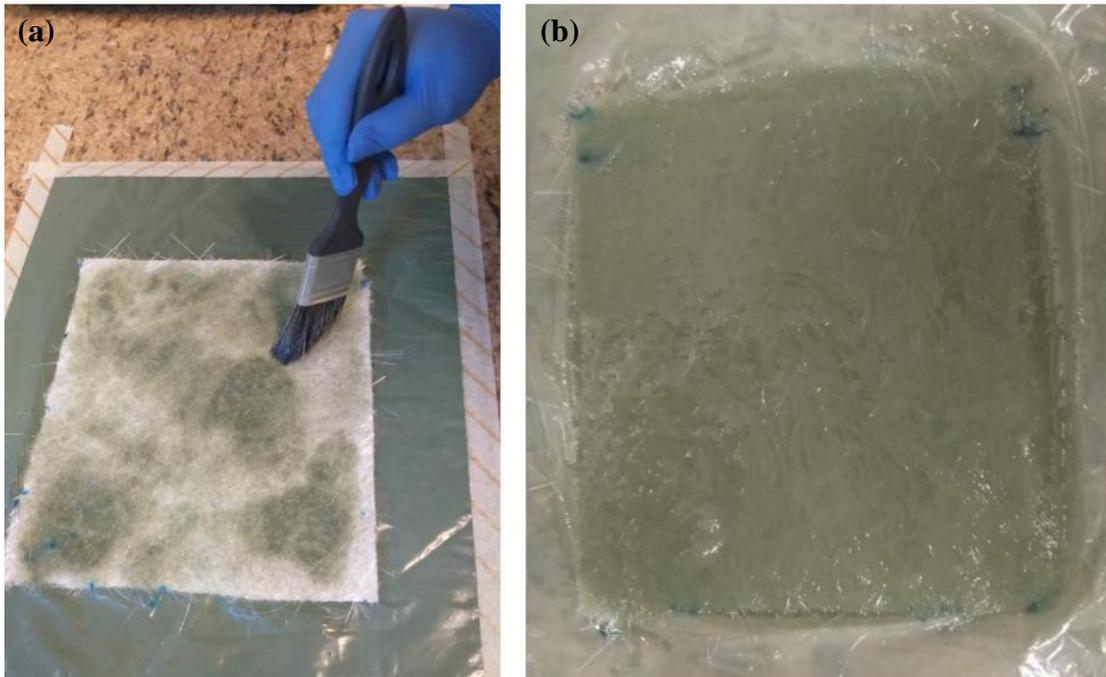
**Tabela 5** - Distribuição das fibras no reforço de cada compósito.

Compósito	Sequência	Massa total das fibras do reforço em relação aos 25% da massa do compósito (g)		Volume total das fibras do reforço em relação aos 25% do volume do compósito (%)	
		Vidro	Bagaço de cana	Vidro	Bagaço de cana
C1	[V] <sub>4</sub>	88,04	0,00	100	0
C2	[V <sub>2</sub> /B <sub>1</sub> /V <sub>1</sub> ]	59,59	19,94	75	25
C3	[V <sub>1</sub> /B <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> ]	40,42	8,00	83	17
C4	[V <sub>1</sub> /B <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> ]	39,23	12,00	77	23
C5	[V <sub>1</sub> /B <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> ]	39,91	16,00	71	29

Fonte: Próprio Autor (2022)

Os compósitos foram produzidos sobre uma superfície livre e sem imperfeições. Inicialmente, preparou-se a superfície com o posicionamento de um filme de polietileno. O compósito foi então produzido colocando as mantas uma sobre a outra, de forma sobreposta, onde cada camada foi impregnada individualmente, por meio de laminação manual com o auxílio de um pincel conforme é apresentado na Figura 19, pela solução da matriz de poliéster, obtida através da mistura entre a resina poliéster e o agente de cura. A razão resina/catalizador utilizada foi de 1,5 phr.

**Figura 19** - Processo de laminação manual da manta de fibra de vidro (a), Compósito C1 finalizado (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Após estabelecer a quantidade de fibras, as mesmas foram pesadas e reservadas. Considerando que o reforço corresponde somente a 25% do compósito, então a quantidade de resina corresponde a 75% da massa total das fibras e o agente de cura é equivalente a 1,5% da massa da resina poliéster. A Tabela 6, a seguir, mostra a quantidade de resina e catalisador que foram utilizados para a produção dos compósitos, inclusive a sua massa final depois de passar pelo processo de cura.

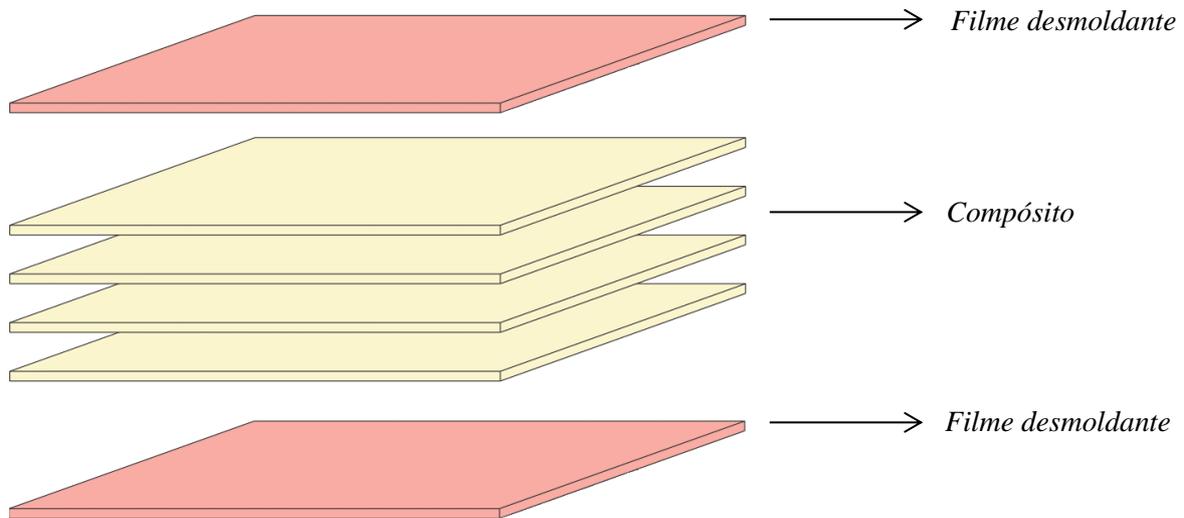
**Tabela 6** - Quantidade de materiais utilizados na produção dos compósitos.

Compósito	Massa (g)		
	Resina	Agente de cura	Compósito final
C1	264,41	3,85	338,56
C2	238,54	3,59	305,18
C3	145,32	2,13	143,86
C4	153,55	2,37	193,04
C5	167,70	2,55	207,21

Fonte: Próprio Autor (2022)

Na Figura 20 é possível observar a representação esquemática de como foi o empilhamento dos materiais utilizados e das camadas que formaram o compósito final.

**Figura 20** - Empilhamento das camadas do compósito final.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Logo após serem confeccionadas, as placas foram comprimidas utilizando um peso suficiente para produzir uma carga de 7,59 kPa, como é apresentado na Figura 21. As placas foram curadas em temperatura ambiente durante 24 h e não foram submetidas ao processo de pós-cura.

**Figura 21** - Processo de cura dos compósitos.



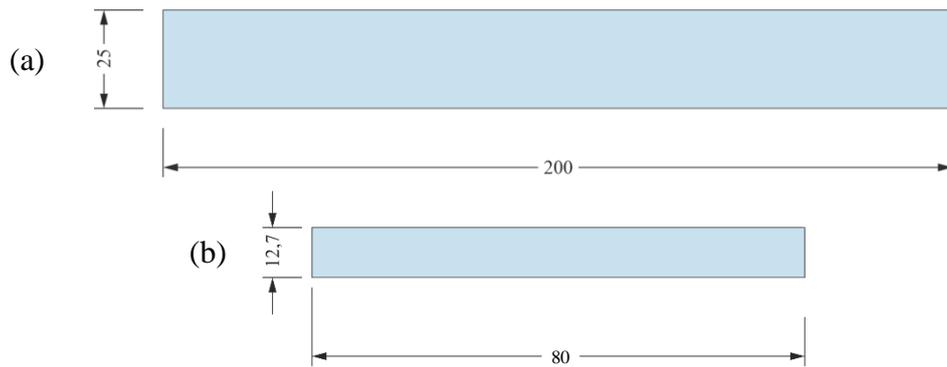
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

### 3.1.5 Preparação dos Corpos de Prova

Após a produção das placas, foram cortados corpos de prova de acordo com os tamanhos exigidos nas normas para os ensaios de Tração e Impacto Charpy. Os corpos de prova para o ensaio de tração foram cortados de acordo com a ASTM D3039, que são específicas para

materiais compostos de matriz polimérica, com dimensões de 200 mm x 25 mm x 3,0 mm. Já para o ensaio de impacto charpy, foram cortados de acordo com a ASTM D6110, tendo corpos de prova com dimensões de 125 mm x 12,7 mm x 3,0 mm. Porém, após as análises nos equipamentos utilizados para os ensaios, foi necessário realizar uma adaptação no corpo de prova para o ensaio de impacto que passou a ter as dimensões de 80 mm x 12,7 mm x 3,0 mm. A Figura 22 apresenta as dimensões finais dos CP's.

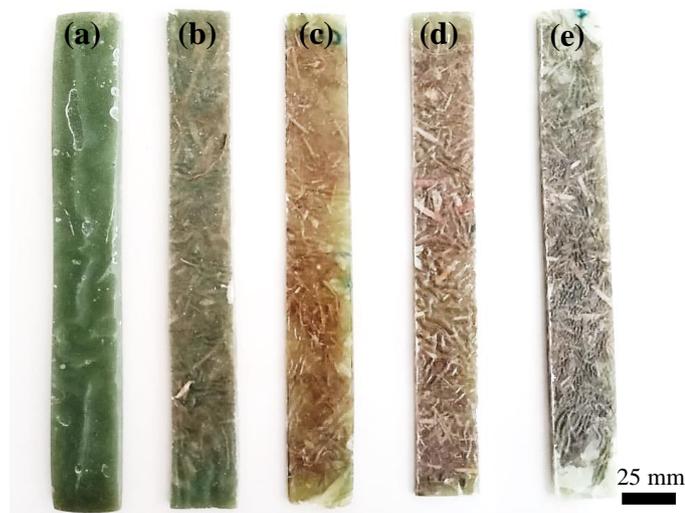
**Figura 22** - Dimensões dos corpos de prova em milímetros para os ensaios de tração (a), e impacto charpy (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

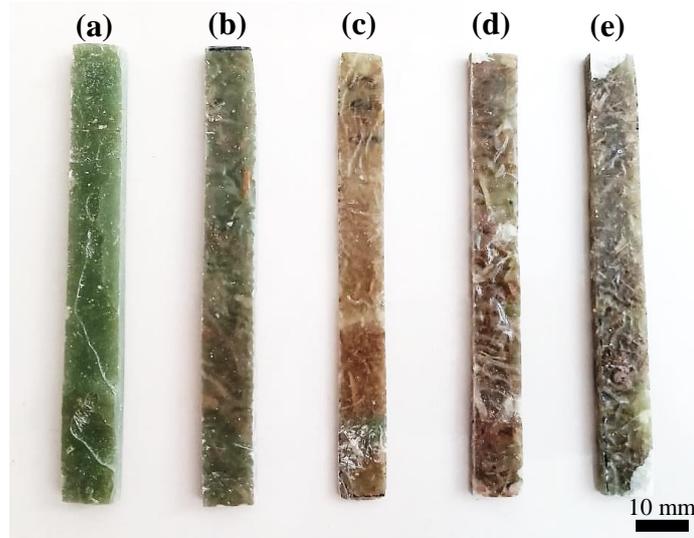
Foram cortados 9 corpos de prova de cada compósito, sendo 4 para o ensaio de tração, 4 para o de impacto e 1 para o ensaio de absorção de água, resultando em 45 CP's no total. Após serem cortados, os corpos de prova ainda foram lixados em suas laterais. A Figura 23 mostra 1 CP de cada compósito para o ensaio de tração, enquanto a Figura 24 mostra 1 CP de cada compósito para o ensaio de impacto charpy.

**Figura 23** - Corpos de prova para o ensaio de tração, C1 (a), C2 (b), C3 (c), C4(d), C5 (e).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

**Figura 24** - Corpos de prova para o ensaio de Impacto Charpy, C1 (a), C2 (b), C3 (c), C4 (d), C5 (e).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

As Tabelas 7 e 8 apresentam as dimensões e massa de cada CP fabricado para os ensaios de tração e impacto charpy, respectivamente, juntamente com os seus respectivos volumes aparente e os pesos específicos aparente, que são calculados utilizando as Equações 1 e 2 a seguir. Cada corpo de prova foi enumerado e as suas medidas foram conferidas na largura em três locais (no meio e em cada extremidade) e tirado a média em milímetros, e da mesma forma na espessura. As medidas foram definidas com a ajuda de um Paquímetro Universal Metálico.

$$V_a = comprimento \cdot largura \cdot espessura \quad (1)$$

Onde:

$V_a$ : Volume aparente (cm<sup>3</sup>).

$$\gamma_a = \frac{M}{V_a} \quad (2)$$

Onde:

$\gamma_a$ : Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$M$ : Massa (g);

Tabela 7 - Dados dos CP's para o ensaio de Tração.

Grupo	CP	Dimensões (mm)			Massa (g)	Volume aparente (cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )
		Comprimento	Largura	Espessura			
C1	1	200	26,60	6,33	41,50	33,69	1,23
	2	200	25,77	5,80	36,42	29,89	1,22
	3	200	26,57	6,40	41,03	34,01	1,21
	4	200	26,37	6,03	39,60	31,82	1,24
C2	1	200	26,03	4,80	32,75	24,99	1,31
	2	200	26,90	4,87	33,31	26,18	1,27
	3	200	25,83	4,93	32,33	25,49	1,27
	4	200	25,90	4,80	32,21	24,86	1,30
C3	1	200	26,30	2,50	17,55	13,15	1,33
	2	200	25,87	2,53	16,89	13,11	1,29
	3	200	26,40	2,70	18,54	14,26	1,30
	4	200	26,90	2,77	18,80	14,88	1,26
C4	1	200	25,67	3,27	20,16	16,77	1,20
	2	200	26,83	2,87	20,26	15,38	1,32
	3	200	26,30	2,90	19,33	15,25	1,27
	4	200	26,07	3,00	20,30	15,64	1,30
C5	1	200	26,43	4,00	24,89	21,15	1,18
	2	200	26,60	4,00	22,05	21,28	1,04
	3	200	26,03	4,00	24,15	20,83	1,16
	4	200	27,03	4,00	25,32	21,63	1,17

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Tabela 8 - Dados dos CP's para o ensaio de Impacto Charpy.

Grupo	CP	Dimensões (mm)			Massa (g)	Volume aparente (cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )
		Comprimento	Largura	Espessura			
C1	1	80	14,47	5,77	13,25	6,67	1,99
	2	80	12,33	4,87	10,00	4,80	2,08
	3	80	14,97	5,83	13,92	6,98	1,99
	4	80	14,47	6,10	13,46	7,06	1,91
C2	1	80	14,57	5,00	11,53	5,83	1,98
	2	80	14,60	5,00	11,28	5,84	1,93
	3	80	13,47	4,80	10,76	5,17	2,08
	4	80	14,43	5,00	11,54	5,77	2,00
C3	1	80	13,47	2,33	4,98	2,51	1,98
	2	80	13,80	2,23	5,19	2,47	2,10
	3	80	13,43	2,40	5,27	2,58	2,04
	4	80	13,27	2,33	5,29	2,48	2,14
C4	1	80	13,67	3,47	6,97	3,79	1,84
	2	80	13,30	3,37	6,98	3,58	1,95
	3	80	13,73	3,30	7,04	3,63	1,94
	4	80	13,87	3,43	7,25	3,81	1,90
C5	1	80	14,13	4,03	8,68	4,56	1,90
	2	80	14,30	4,03	8,91	4,61	1,93
	3	80	13,53	4,10	8,47	4,44	1,91
	4	80	14,00	4,03	8,01	4,52	1,77

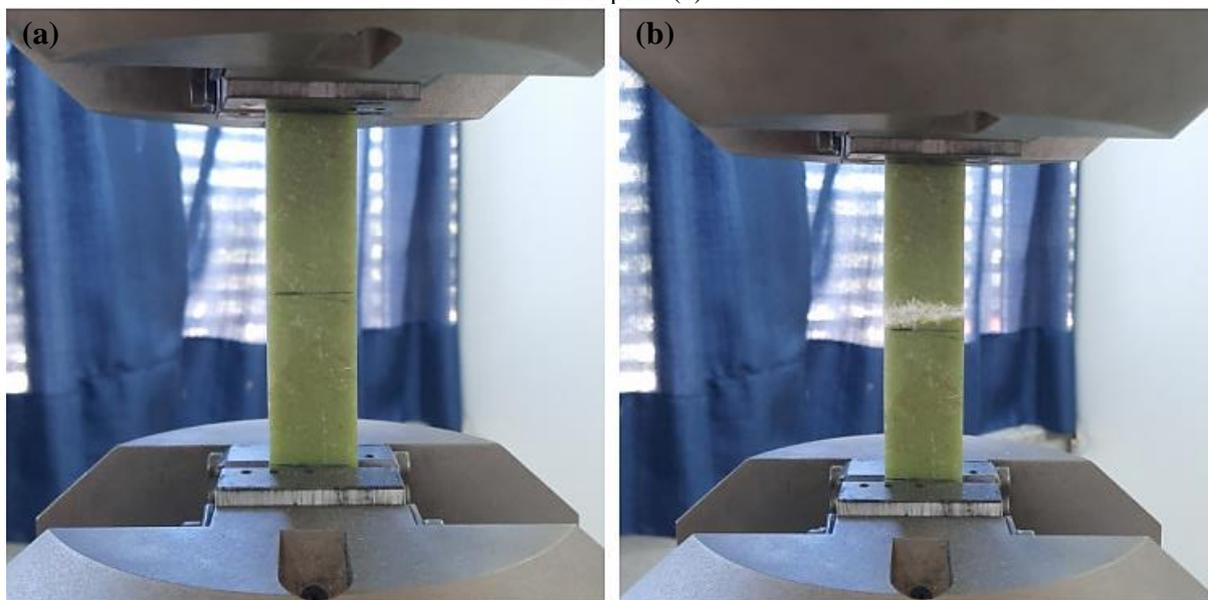
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

### 3.1.6 Ensaio Mecânicos

Para a realização dos ensaios mecânicos, foram executados testes em que avaliam as suas propriedades de acordo com a tração e impacto, cada uma segundo sua respectiva norma, de modo que ao final seus resultados fossem analisados e comparados entre si.

Os ensaios de Tração seguiram as orientações descritas na ASTM D3039, e as análises foram realizadas com o auxílio de uma máquina universal para ensaios mecânicos INSTRON que possui uma célula de carga de 100 kN, disponível na Universidade de Brasília – UnB. Foram ensaiados 20 CP's, 4 de cada compósito com diferentes proporções das fibras sintéticas e naturais, eles foram posicionados nas garras do equipamento com cuidado para alinhar o eixo com a direção do teste. Em seguida, as garras foram apertadas e a pressão utilizada foi registrada, com uma velocidade de 2 mm/min até ocorrer a ruptura do CP, de forma que fosse possível obter informações como o limite de resistência à tração, deformação na ruptura, e módulo de elasticidade em tração. A Figura 25 mostra o compósito posicionado no equipamento antes e após a ruptura.

**Figura 25** - Compósito C2 posicionado no equipamento pronto para ser ensaiado (a); Compósito já ensaiado, com a ruptura (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Já os ensaios de Impacto Charpy foram realizados de acordo com a ASTM D6110, utilizando a máquina de ensaios de impacto PANTEC com um pêndulo de 2,70 J, podendo haver uma variação de  $\pm 0,14$  J. Nesse caso, os CP's foram ajustados em seu comprimento para

80 mm, de forma que encaixasse no equipamento. A norma apresenta este método para determinar a resistência dos plásticos à quebra por choque de flexão com oscilação de um pêndulo, em que uma amostra foi suportada como uma viga horizontal simples e então foi quebrada por uma única oscilação do pêndulo com a linha de impacto no meio entre os suportes. Após a realização, os resultados foram relatados em termos de energia absorvida do corpo de prova. A Figura 26 (a) mostra o corpo de prova posicionado no equipamento pronto para ser ensaiado, enquanto a Figura 26 (b) mostra os 4 CP's do compósito C1 já ensaiados.

**Figura 26** - CP posicionado no equipamento PANTEC para o ensaio de impacto (a), CP's do compósito C1 já ensaiados (b).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Ao final, os resultados dos ensaios mecânicos como módulo de elasticidade e resistências à tração e ao impacto, foram interpretados utilizando a análise de variância ANOVA, descrita detalhadamente no item 3.1.8.

### 3.1.7 Absorção de Água

E por fim, também foram feitos testes padrões segundo a ASTM D570 para avaliar a absorção de água de plásticos. Estes testes foram realizados após o condicionamento de cinco amostras dos compósitos, que foram secos em um forno por 1 h a uma temperatura de 105 °C a 110 °C. E somente então foi realizado o procedimento de imersão por 24 h, em que os compósitos condicionados foram colocados em um recipiente com água mantida a uma temperatura de 25 °C, como mostra a Figura 27. Ao final, as amostras foram retiradas uma de cada vez, a água de superfície foi limpa com um pano seco e pesada imediatamente em uma balança analítica com precisão de 0,001 g, de modo que foi possível calcular a taxa relativa dos laminados ao serem imersos. Esse procedimento iniciou-se no dia 28 de Abril e finalizou-se em 20 de Maio de 2022, ou seja, com duração de 22 dias. Durante esse tempo, a primeira pesagem dos CP's foram com 24 h, depois com 7 dias e posteriormente foi repetido o processo durante mais 2 semanas, com 2 pesagens por semana (1 a cada 72 h), de modo que ao final somaram-se 6 pesagens.

**Figura 27** - Ensaio de absorção de água.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Após todas as pesagens, foram calculadas as porcentagens de absorção de água em cada compósito a partir da equação 3 a seguir, de modo que ao final fosse possível observar o comportamento dos CP's em relação a umidade e determinar qual deles teve o maior índice de absorção.

$$\Delta M (\%) = \left( \frac{M_f - M_i}{M_i} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$\Delta M$ : Absorção de água (%);

$M_f$ : Massa final (g);

$M_i$ : Massa inicial (g).

### 3.1.8 Análise Estatística

Segundo Souza (2015), a ANOVA – *Analysis of Variance*, ou análise de variância, é um método utilizado para comparar médias populacionais e verificar a sua igualdade através da análise de variância.

Sendo assim, os 5 compósitos produzidos foram dispostos juntamente com seus respectivos resultados de cada ensaio mecânico, contendo 4 repetições e 20 resultados. Considerando que há apenas uma variável pergunta e que o objetivo é ter apenas um resultado para cada um dos compósitos, ao final obteve-se 5 médias, que foram comparadas entre si e verificadas estatisticamente a sua igualdade.

A análise de variância foi realizada utilizando o *software* SISVAR 5.6, pelo método comparativo das médias das repetições de cada CP pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

## 3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Após a finalização dos ensaios nos CP's produzidos, foi realizada uma análise dos resultados obtidos e determinou-se a melhor composição de fibras naturais de bagaço de cana-de-açúcar e fibras de vidro dentre os compósitos. Logo em seguida, o compósito selecionado foi comparado com o compósito de 100% de fibra de vidro, com a finalidade de determinar qual dos dois seria mais viável para a produção das telhas poliméricas.

Considerando uma telha polimérica com as mesmas dimensões e características que as telhas em fibra de vidro onduladas, 244 x 110 cm, foi realizada uma estimativa da quantidade de fibra de vidro, fibra do bagaço de cana-de-açúcar, resina poliéster e catalisador que seriam necessários para a produção da mesma. E somente então foram feitas análises de viabilidade financeira de cada compósito produzido, para determinar o valor de uma possível produção de telhas poliméricas com reforço híbrido de fibras naturais e fibras sintéticas.

A Tabela 9 mostra os valores de cada material utilizado na produção dos compósitos, levando em consideração que a informação do preço do bagaço de cana foi cedida pela Usina Goianésia S/A, a mesma empresa que forneceu o material. Enquanto os custos do catalisador, fibra de vidro e resina poliéster foram estabelecidos pela fabricante especificada no item 3.1.1.

**Tabela 9** - Custo dos materiais utilizados no mercado.

<b>Materiais</b>	<b>Custo dos Materiais no Mercado (R\$/kg)</b>
Catalisador MEK V50	270,00
Fibra de bagaço de cana-de-açúcar	0,16
Fibra de vidro – Fiberglass Brasil	70,00
Resina poliéster – Embrapol	40,00

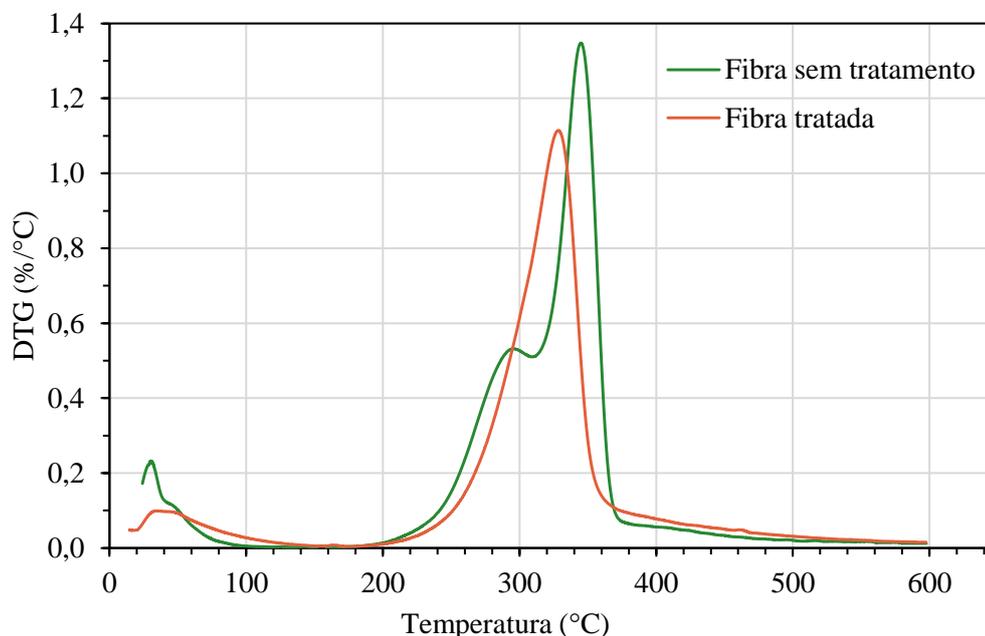
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

O resultado da análise termogravimétrica das fibras do bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e tratadas com NaOH, é apresentado na Figura 28 e na Figura 29 em função da temperatura. O primeiro momento em que ocorre perda de massa é devido à perda de água presente nas fibras (~70 °C). A degradação das fibras *in natura* começam em aproximadamente 290 °C, isso corresponde ao segundo evento de perda de massa, que é quando ocorre a decomposição de constituintes naturais da fibra, como a lignina e a hemicelulose. E o último evento é referente à decomposição térmica da celulose que acontece, aproximadamente, aos 345 °C e 327 °C, na fibra sem tratamento e na fibra tratada, respectivamente. Devido a presença da lignina e da hemicelulose, as fibras *in natura* levam um tempo maior para serem decompostas, por isso o seu pico na Figura 28 é maior, enquanto o pico da fibra tratada é menor, por não conter mais esses constituintes naturais.

**Figura 28** - Análise termogravimétrica das fibras *in natura* e das fibras tratadas com NaOH.

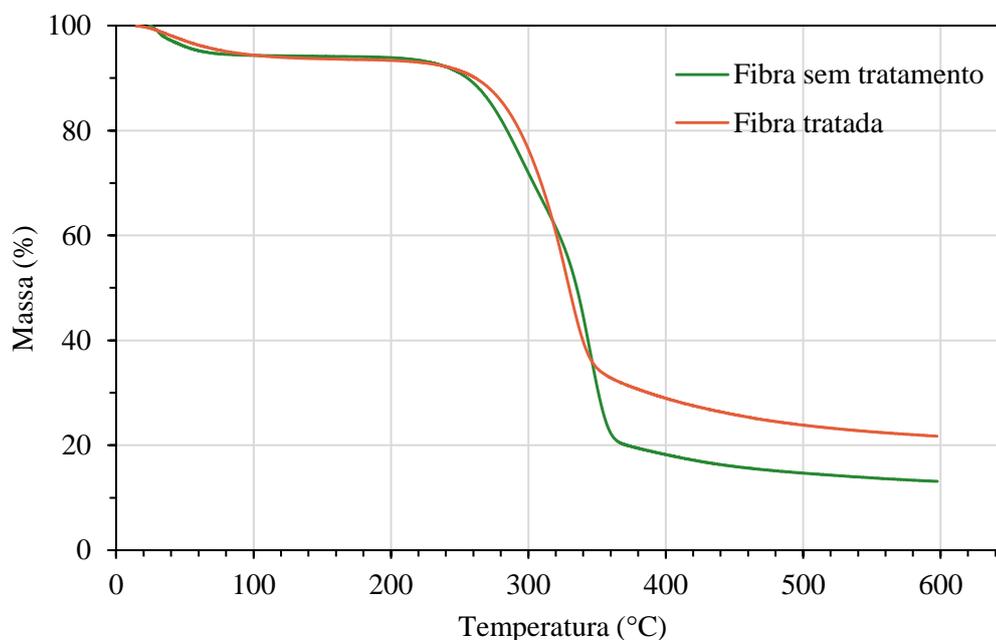


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Nota-se na Figura 29 que ao realizar a análise termogravimétrica, a porcentagem da perda de massa da fibra tratada com NaOH foi menor que a perda de massa da fibra sem o

tratamento, que ocorreu entre 200 °C e 400 °C. Isso aconteceu devido a fibra tratada não conter em sua composição os constituintes naturais, ou amorfos, fazendo com que houvesse menor perda (LAVORATTI *et al.*, 2013).

**Figura 29** - Análise termogravimétrica das fibras *in natura* e das fibras tratadas com NaOH.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

A Tabela 10 mostra a temperatura aproximada em que ocorreram os eventos da perda de massa das fibras *in natura* e tratadas com NaOH com concentração de 5% (m/v). Considerando que o 1º evento é referente à perda de água, o 2º é relacionado à degradação dos constituintes amorfos das fibras sem o tratamento, já que eles não estão presentes nas fibras tratadas, e o 3º é associado à decomposição térmica.

**Tabela 10** - Temperatura aproximada dos eventos de perda de massa.

Fibras	Temperatura (°C)		
	1º evento	2º evento	3º evento
<i>In natura</i>	70	290	345
Tratadas com NaOH 5% (m/v)	70	---	327

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

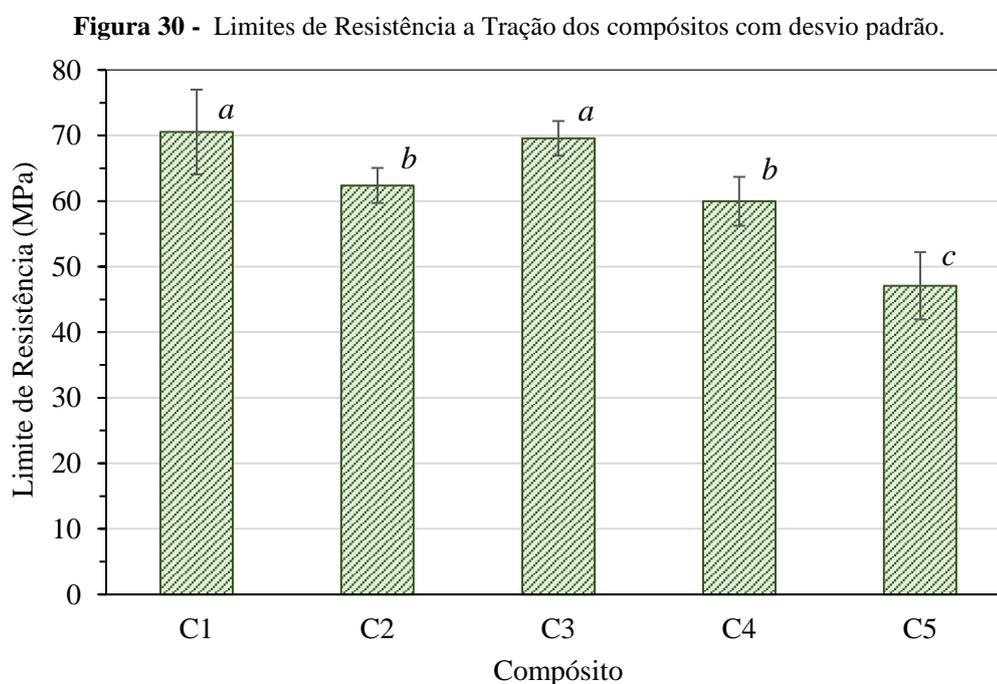
Diante da análise realizada, é possível afirmar que o tratamento das fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar foi feito da maneira correta, pois observando a Figura 28 nota-se que

a lignina e a hemicelulose foram retiradas das fibras *in natura*, o que proporcionou uma melhor interação da fibra com a matriz de poliéster. Devido a retirada destes componentes, o tratamento com NaOH fez com que a superfície de contato das fibras aumentasse e facilitasse a interação fibra/matriz, melhorando as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

## 4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

### 4.2.1 Tração

A partir dos ensaios de Tração foi possível obter informações como os limites de resistência e módulos de elasticidade em tração expostos na Figura 30 e 31, respectivamente. Para representar em forma de gráfico, foi calculado a média dos dados obtidos de cada corpo de prova, de modo que houvesse apenas um valor para cada compósito. Além disso, ainda são apresentados os desvios padrões de cada elemento juntamente com a análise estatística realizada, entendendo-se como estatisticamente iguais os valores representados pela mesma letra, com *a* sendo o melhor, *b* o segundo melhor e assim sucessivamente.

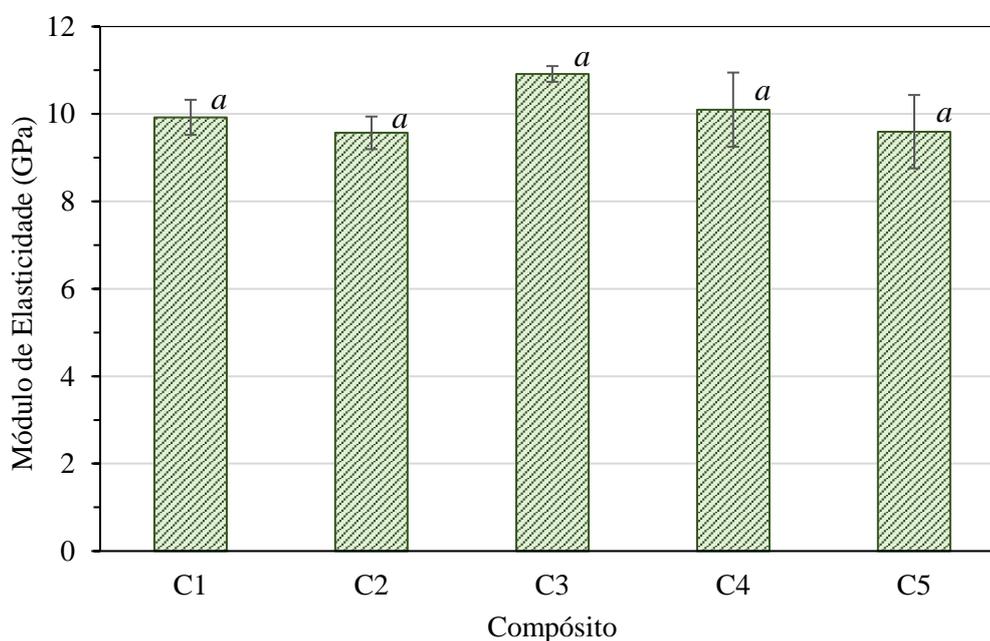


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Nota-se na Figura 30 que os compósitos C1 e C3 apresentam as melhores resistências à tração e são estatisticamente iguais entre si, com resistências médias de 70,53 MPa e 69,57

MPa, respectivamente. As resistências dos compósitos C2 e C4 também são estatisticamente iguais e compõe o segundo lugar de melhor resistência, deixando o resultado mais baixo para o C5, que é composto por 71% de fibra de vidro e 29% de fibras de bagaço. Podendo afirmar que o compósito com 100% de fibra sintética (C1) e o que possui menor quantidade de fibra natural (C3) são os que possuem melhor resultado, devido ao fato de conter maior quantidade de fibra de vidro, que por sua vez é conhecida por possuir ótimas propriedades mecânicas, incluindo alta resistência à tração (ORTENZI JÚNIOR, 2007).

**Figura 31** - Módulo de Elasticidade em Tração dos compósitos com desvio padrão.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Em relação a obtenção dos módulos de elasticidade apresentados na Figura 31, é possível afirmar que todos obtiveram um bom resultado, tanto que todos são considerados estatisticamente iguais, com destaque no C3 com 10,92 GPa e no C4 com 10,10 GPa. Estes compósitos são os que possuem menor quantidade de fibras do bagaço de cana-de-açúcar, que por sua vez é caracterizado por ter um baixo módulo de elasticidade (SANCHEZ *et al.*, 2010).

A Tabela 11 apresenta o resumo do ensaio de tração, em que são expostos os valores médios dos limites de resistência, deformação máxima, módulo de elasticidade e resistência específica, sendo este último a razão entre a resistência e o peso específico. Além disso, ainda são apresentados os desvios padrões de todas as informações extraídas do ensaio, levando em consideração que havia 4 CP's de cada compósito. Os resultados da análise estatística da resistência e do módulo de elasticidade também foram acrescentados à tabela.

**Tabela 11** - Valores médios das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de tração dos compósitos.

Compósito	Limite de Resistência (MPa)		Deformação Máxima (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)		Resistência Específica (MPa/g/cm <sup>3</sup> )
C1	70,53 ± 6,46	<i>a</i>	1,89 ± 0,62	9,92 ± 0,40	<i>a</i>	57,58 ± 5,27
C2	62,38 ± 2,67	<i>b</i>	1,11 ± 0,06	9,57 ± 0,37	<i>a</i>	48,46 ± 2,13
C3	69,57 ± 2,64	<i>a</i>	0,94 ± 0,05	10,92 ± 0,18	<i>a</i>	53,78 ± 3,05
C4	59,96 ± 3,73	<i>b</i>	0,90 ± 0,07	10,10 ± 0,85	<i>a</i>	47,09 ± 1,84
C5	47,09 ± 5,13	<i>c</i>	0,77 ± 0,13	9,60 ± 0,84	<i>a</i>	41,32 ± 3,08

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o C3, que contém o maior módulo de elasticidade em tração, é o compósito mais rígido e também o que sofreu menor deformação elástica. Ele também possui uma alta resistência, havendo apenas 1,4% de diferença entre ele e o C1, que é composto apenas por fibras sintéticas. Considerando tais resultados e que este compósito possui 2 camadas de fibras de vidro com 40,42 g, e 2 camadas de fibras do bagaço de cana-de-açúcar com 8 g, sendo esta a menor quantidade de fibras naturais utilizada, pode-se concluir que este compósito é o melhor em propriedades mecânicas relacionado ao ensaio de tração.

#### 4.2.2 Impacto Charpy

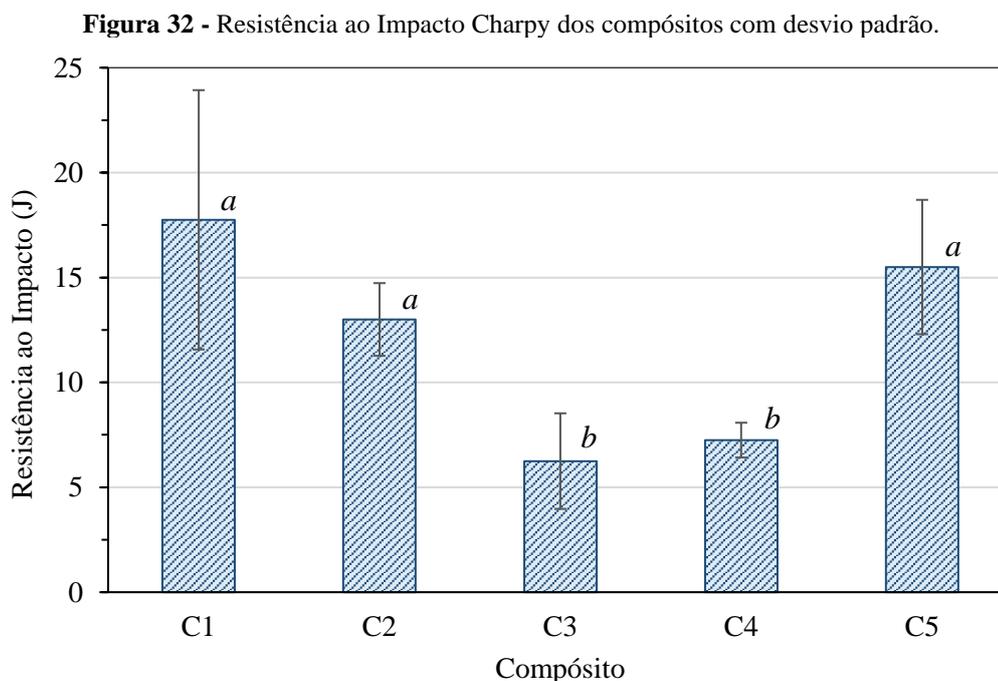
A partir dos ensaios de Impacto Charpy, foi possível obter valores relacionados a Resistência ao Impacto, que são apresentados na Tabela 12 e na Figura 32 a seguir. Essa resistência também pode ser definida como energia de impacto, pois refere-se a energia que o corpo de prova absorveu no momento em que sofreu a ruptura. A Tabela 12 expõe a média desses valores obtidos para cada compósito, com os desvios padrões e a análise estatística realizada.

**Tabela 12** - Valores médios das propriedades mecânicas obtidas a partir do ensaio de Impacto Charpy.

Compósito	Resistência ao Impacto (J)
C1	17,75 ± 6,18 <i>a</i>
C2	13,0 ± 1,73 <i>a</i>
C3	6,25 ± 2,28 <i>b</i>
C4	7,25 ± 0,83 <i>b</i>
C5	15,5 ± 3,20 <i>a</i>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Nota-se na Tabela 12 e na Figura 32 que os compósitos C1, C2 e C5 são estatisticamente iguais, com 17,75 J, 13,0 J e 15,50 J, respectivamente. Deixando assim os valores mais baixo para o C3, com 6,25 J, e para o C4 com 7,25 J, que também são considerados iguais após a análise estatística.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

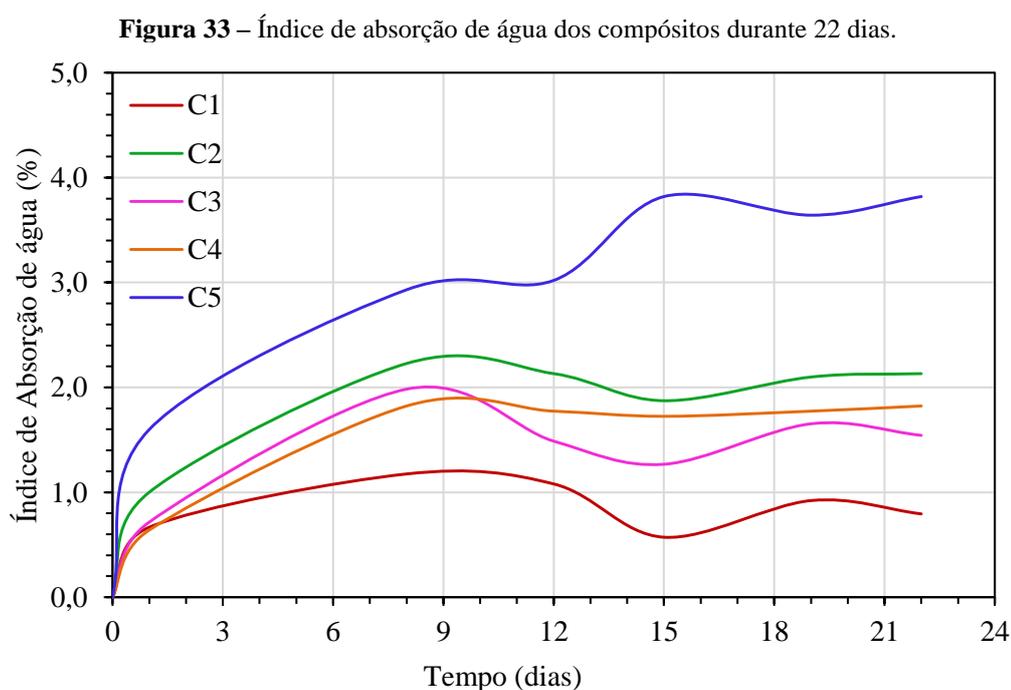
Por mais que as fibras do bagaço de cana-de-açúcar possuam baixa resistência ao impacto, quando fibras naturais são tratadas com NaOH, as suas propriedades aumentam de forma significativa, de modo que quando são adicionadas às fibras de vidro, que possuem resistência superior, formam um compósito híbrido com propriedades consideráveis (SANTOS; SYDENSTRICKER; AMICO, 2006).

Dessa forma, após a análise, é possível observar e afirmar que os compósitos que mais absorveram energia de impacto são aqueles que apresentam uma maior quantidade, em massa, de fibras de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar em sua composição, que conseqüentemente também são os mais pesados e os que possuem uma espessura maior, tornando-os mais resistentes ao impacto. Pondo afirmar que os compósitos C1, C2 e C5, obtiveram melhores resultados referente ao Impacto Charpy.

### 4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Após a realização do ensaio de absorção de água, pode-se obter informações de todos os compósitos e observar como eles se comportaram ao serem imergidos na água durante 22 dias. A Figura 33 mostra o índice de absorção de cada CP, onde é nítido que o maior índice de absorção pertence ao C5, devido a sua composição ser de 2 camadas de fibra sintética e 2 camadas de fibra natural e essa última ser em grande quantidade (16 g), houve mais espaços vazios no compósito, o que facilitou a entrada da água. E apesar do C2 ter uma quantidade maior de fibras do bagaço de cana (19,94 g), o seu índice de absorção foi menor que o C5, em razão de conter uma camada a mais de fibra de vidro em sua composição (3 de fibras sintéticas e 1 de fibra natural).

Segundo Sanchez *et al.* (2010), as fibras do bagaço de cana-de-açúcar possuem uma resistência a umidade melhor que outras fibras naturais. Apesar disso, durante a fabricação dos compósitos, as fibras de vidro formaram as camadas externas como um meio de proteção para que a água não fosse absorvida diretamente pelas fibras naturais. Porém, de acordo com Silva *et al.* (2008), quando elas são inseridas em um compósito híbrido em grande quantidade, como é no caso do C2 e do C5, elas ficam mais próximas das extremidades, aumentando o seu índice de vazios e possibilitando que a água seja absorvida de uma forma mais rápida.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Assim, pode-se afirmar que o compósito que absorveu menor quantidade de água foi o C1, que contém apenas fibras sintéticas, deixando o C3 e o C4 com valores aproximados e com os melhores resultados de absorção, contendo fibras naturais em sua composição. Nota-se também que entre o C3 e o C4, o C4 foi o que se estabilizou e se manteve constante mais rapidamente, mas ao fim dos 22 dias o C3 foi o que absorveu menor quantidade de água, deixando-o com o melhor índice depois do C1. Essa comparação estende-se também a quantidade de fibras naturais que cada um possui, o C3 contém 8 g e o C4 contém 12 g, que é uma das razões para o C3 conquistar essa colocação.

De acordo com Beraldo (2017), telhas poliméricas com presença de fibras naturais possuem características importantes além da diminuição ao impacto ambiental, como o fato das fibras agirem na proteção contra raios solares, ou seja, por terem um ótimo isolamento térmico. Contudo, muitos estudos ainda afirmam que uma telha composta por fibras naturais podem ter baixa durabilidade devido a exposição às chuvas. Por isso, as telhas geralmente recebem uma camada de verniz acrílico, o que evita o acúmulo de água e a alta absorção de umidade, aumentando a sua durabilidade (ROSSIGNOLO; FABRÍCIO; LIMA, 2007).

#### 4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Dentre os resultados apresentados através dos ensaios mecânicos e de absorção de água, pode-se afirmar que o C3 foi o compósito composto por fibras naturais que obteve os melhores resultados na análise de tração e de absorção de água. E por mais que tenha a menor resistência de impacto, ainda considera-se o melhor compósito híbrido composto por fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar, devido ao estudo estender-se apenas na aplicação em telhas poliméricas e todas as outras propriedades do compósito se destacarem de forma significativa. Ao compará-lo com o C1, nota-se que o C3 obteve o maior módulo de elasticidade e a resistência à tração estatisticamente igual ao C1, além de que ele foi o compósito com fibras naturais que absorveu menor quantidade de água. Dessa forma, considera-se viável a fabricação de uma telha polimérica com a mesma composição do C3.

Os compósitos C1 e C3 possuem características mecânicas semelhantes porque o compósito C1 é constituído apenas por fibras de vidro, que por si só já possuem excelentes propriedades e possuem diversas aplicações na engenharia civil, e porque o compósito C3 é um compósito híbrido reforçado com fibra de vidro e fibral natural do bagaço de cana-de-açúcar, onde se combinam as propriedades mecânicas presentes nos dois reforços. Além disso, há vários estudos sobre uma possível substituição parcial das fibras sintéticas pelas fibras naturais,

de modo que haja uma redução econômica, já que a maioria das fibras naturais possuem um custo mais baixo que as fibras sintéticas e também são de fonte renovável (SILVA *et al.*, 2008).

Considerando que o ensaio de tração obteve os melhores resultados, calculou-se a massa de cada CP sobre a área do mesmo, de modo que fosse possível conseguir a média da distribuição superficial, em kg/m<sup>2</sup>, de cada compósito expressa na Tabela 13 a seguir. Posteriormente, foi determinada a quantidade em massa de cada material utilizado, respeitando as porcentagens de cada um descritas na metodologia, que também contém os valores de cada material no mercado, podendo assim ser calculado o custo total de cada m<sup>2</sup> do compósito. Sendo assim, foi possível saber qual o custo da produção de uma telha polimérica com dimensões de 244 x 110 cm, o qual é apresentado na Tabela 13.

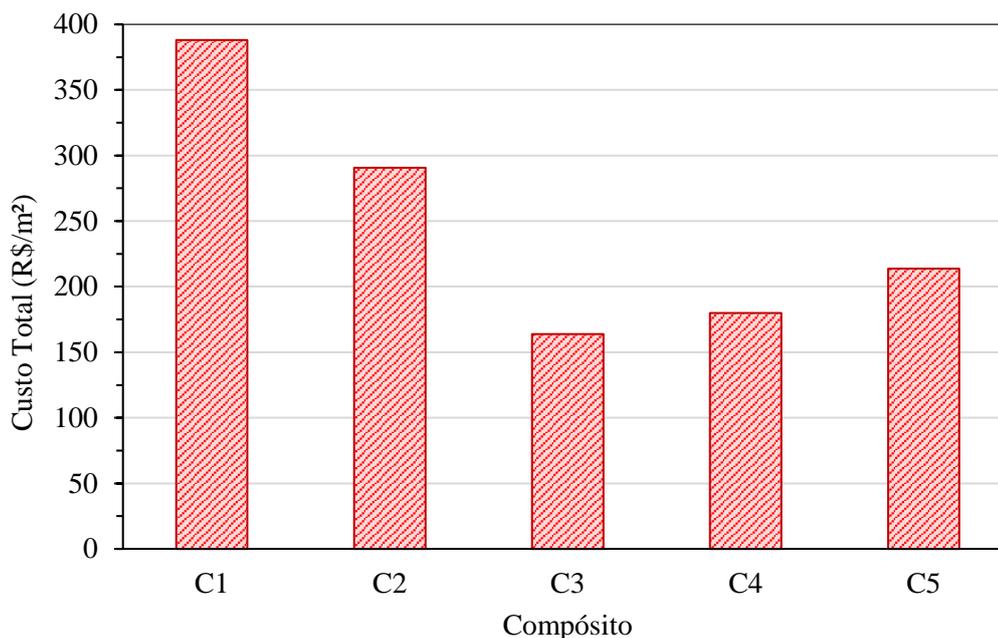
**Tabela 13** - Quantitativo de materiais e valores médios para a análise de viabilidade de produção da telha.

<b>Compósito</b>	<b>Massa do Compósito sobre a Área (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo Total do Compósito (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Custo de uma Telha com dimensões de 244 x 110 cm (R\$)</b>
C1	7,62	388,02	144,57
C2	6,24	290,59	108,27
C3	3,42	163,88	61,06
C4	3,83	179,97	67,05
C5	4,66	213,86	79,68

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

Ao analisar a Tabela 13, nota-se que a fabricação de uma telha polimérica com a mesma composição que o compósito C1, com 100% de fibra sintética, teria um custo mais elevado do que uma telha composta por fibras naturais, devido ao preço atual das fibras do bagaço de cana-de-açúcar ser inferior ao valor das fibras de vidro, que por sua vez também pesam mais que as fibras naturais, e considerando que quanto maior a massa, maior também seria a quantidade de resina poliéster utilizada. Deixando o C3, com 83% de fibra de vidro e 17% de fibra do bagaço de cana, com o custo mais viável para a produção e com propriedades mecânicas semelhantes ao composto por 100% de fibra sintética.

A Figura 34 mostra de forma mais clara o custo total por m<sup>2</sup> da produção de uma telha polimérica com as mesmas características que os compósitos fabricados, de forma que seja possível calcular o valor para uma telha com dimensões diferentes de 244 x 110 cm.

**Figura 34** - Custo total para a produção de uma telha, em função da área.

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

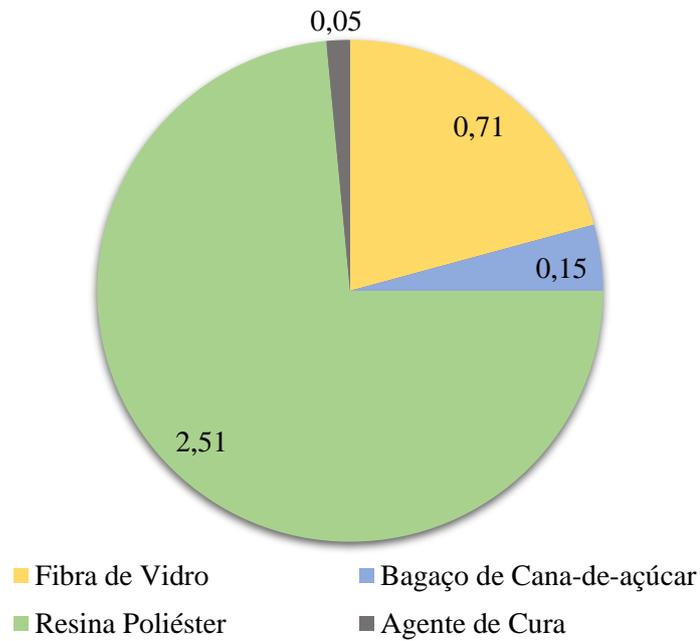
Apesar da fibra de vidro ser reduzida apenas 17%, em massa, vale ressaltar que o compósito C3 contém somente 2 camadas da fibra sintética, com aproximadamente 20 g cada, e as outras 2 camadas de fibras naturais são de apenas 4 g cada, diminuindo consideravelmente o peso do compósito final. Com isso, conclui-se que o C3 é o mais viável para a produção de telhas poliméricas.

De acordo com Ribeiro, Carvalho e Mendes (2020), uma das principais preocupações da engenharia é desenvolver materiais originais, de baixo custo e que possuam propriedades mecânicas iguais ou superiores aos materiais já existentes. Após vários estudos, os autores afirmaram que diante dos resultados obtidos, a proposta de produção de compósitos com reforço híbrido de fibras sintéticas e fibras naturais é viável financeiramente, reforçando ainda mais a ideia da utilização de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar como reforço em aplicações na construção civil, como as telhas poliméricas, por exemplo.

Sendo assim, a Figura 35 mostra o quantitativo, em kg/m<sup>2</sup>, de cada material utilizado na composição do compósito C3. Considerando que a matriz polimérica compõe 75% do compósito, 1,5% refere-se ao agente de cura (catalisador) e 73,5% a resina poliéster, e os outros 25% é constituído pelo reforço de fibras sintéticas e naturais, onde 83% dos 25% é de fibra de vidro e os outros 17% é de fibra do bagaço de cana-de-açúcar.

Ao analisar a Figura 35, nota-se que a resina poliéster é o material mais utilizado com 2,51 kg/m<sup>2</sup>, seguido de 0,71 kg/m<sup>2</sup> de fibras de vidro, 0,15 kg/m<sup>2</sup> de bagaço de cana, e por fim 0,05 kg/m<sup>2</sup> de catalisador, totalizando 3,42 kg/m<sup>2</sup> no compósito C3.

**Figura 35** - Quantitativo de cada material do compósito C3 (kg/m<sup>2</sup>).



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2022)

## 5 CONCLUSÃO

Após as análises dos resultados obtidos, pode-se concluir que é tecnicamente viável a produção de telhas poliméricas com compósitos híbridos de fibra de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar. A partir dos estudos realizados, foi possível avaliar a eficiência do tratamento da fibra natural em solução de NaOH por meio da análise termogravimétrica. Os resultados indicaram que aparentemente houve a remoção dos constituintes amorfos da fibra, como a lignina e hemicelulose, o que garantiu o aumento da rugosidade e, conseqüentemente, da superfície de contato das fibras naturais, facilitando a interação entre fibra/matriz e melhorando o desempenho das propriedades mecânicas dos compósitos.

Através dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos, percebeu-se como o C3 (83% de fibra sintética e 17% de fibra natural) destacou-se em relação aos outros compósitos híbridos constituídos por fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar, devido os 25% do reforço ser composto, em sua maior parte, por fibras sintéticas conhecidas pelas ótimas propriedades mecânicas. No ensaio de tração, por exemplo, ele foi considerado estatisticamente igual ao compósito C1 (100% de fibra sintética) em relação a resistência à tração, com uma diferença de apenas 1,4%, e ao módulo de elasticidade, sendo este o maior dentre os analisados. Portanto, no ensaio de impacto Charpy, os resultados de C3 foram inferiores aos outros compósitos produzidos, absorvendo apenas 6,25 J de energia no momento da ruptura, devido este conter uma pequena quantidade, em massa, de fibras naturais e sintéticas, possuir dimensões menores e ser, conseqüentemente, mais leve.

Já em relação ao ensaio de absorção de água, notou-se o que já era esperado, o C1 (com 100% de fibra de vidro) absorveu menor quantidade de água, seguido pelo C3, que foi o compósito com fibras naturais que obteve melhor resultado, devido ele possuir apenas 17% de bagaço de cana em sua composição, pois quanto maior o teor de fibras naturais, mais perto da superfície elas ficam, aumentando o índice de vazios e absorvendo mais água, como aconteceu com o compósito C5 (71% de fibra de vidro e 29% de fibra natural).

Neste sentido, assumiu-se que o C3 é o melhor compósito com fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar, sendo possível afirmar que a produção de telhas poliméricas com a composição de 100% de fibras sintéticas pode ser substituída por uma composição híbrida, composta por 17% de fibra do bagaço de cana e 83% de fibra de vidro. Esta mudança diminui a utilização de fibras sintéticas e reaproveita fibras naturais com fonte renovável que seriam descartadas de maneira inadequada, havendo assim uma ótima contribuição com o meio ambiente.

Por fim, considerando a quantidade e o custo dos materiais utilizados na fabricação de cada compósito, foi realizada uma análise completa dos custos por m<sup>2</sup> para se produzir uma telha polimérica, a qual deixou nítida a diferença significativa, de 57,8%, entre os compósitos C1 e C3. Considerando que a indústria da construção civil tem buscado métodos construtivos mais sustentáveis é evidente que a produção de telhas poliméricas híbridas compostas por fibras de vidro e fibras naturais é uma alternativa ambientalmente benéfica, tecnicamente viável e financeiramente atraente.

Diante dos estudos realizados e dos resultados obtidos, faz-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Estudo de compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras do bagaço de cana-de-açúcar com proporções diferentes dentro dos 25% de reforço;
- Produção de telhas poliméricas com compósitos híbridos de fibras de vidro e fibras naturais do bagaço de cana-de-açúcar;
- Estudo de compósitos híbridos de fibras de vidro com outras fibras naturais, como as fibras de coco e/ou sisal.

## REFERÊNCIAS

- ABD EL-BAKY, M. A. *et al.* *Mechanical Properties Evaluation of Sugarcane Bagasse – Glass/Polyester Composites.* *Journal of Natural Fibers*, Egito, v. 18, n. 8, p. 1163-1180, 2021.
- ABDALA, M. R. W. S. **Ciência e Engenharia de Materiais.** Ponta Grossa: Atena Editora, 2018.
- ALMADA, E. D. B.; SOUSA, A. E. C.; SOARES, F. A. L. *Vinasse Application Management on Two Sugarcane Varieties in The Cerrado Goiano.* *Revista Caatinga*, Mossoró – RN, v. 34, n. 1, p. 39-49, 2021.
- ALMEIDA, N. M. B. G. **Estudo Estrutural de Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados com Fibras de Juta.** 2012. 216 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.
- ALMEIDA JÚNIOR, J. H. S. *et al.* *Hybridization Effect On The Mechanical Properties Of Curaua/Glass Fiber Composites.* *Journal Composites: Part B*, v. 55, p. 492-497, 2013.
- ANGRIZANI, C. C. *et al.* *Analysis Of Curaua/Glass Hybrid Interlayer Laminates.* *Journal of Reinforced Plastics & Composites*, Porto Alegre – RS, v. 33, n. 5, p. 472-478, 2014.
- ANGRIZANI, C. C. *et al.* *Thermal and Mechanical Investigation of Interlaminar Glass/Curaua Hybrid Polymer Composites.* *Journal of Natural Fiber*, Porto Alegre – RS, v. 14, n. 2, p. 271-277, 2017.
- ARAÚJO, D. C.; MORAIS, C. R. S.; ALTIDES, M. E. D. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 50-56, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16753: Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro – Chapas Planas, Telhas e Domos Contínuos – Requisitos e Métodos de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2019.
- ASTM International. **ASTM D570** – *Standard Test Methods for Water Absorption of Plastics.* *Annual Book of ASTM Standards*, 2018.
- \_\_\_\_\_. **ASTM D3039** – *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.* *Annual Book of ASTM Standards*, 2017.
- \_\_\_\_\_. **ASTM D6110** – *Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics.* *Annual Book of ASTM Standards*, 2010.
- BAGGIO, A. **Aproveitamento dos Resíduos de Compósitos à Base de Resina Poliéster e Fibra de Vidro.** 2005. 101 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, 2005.
- BASSI, M. R. *et al.* **Influência da Interação Fibra-Matriz na Resistência Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibra de Escória de Alto Forno.** In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 51, 2009, Porto Alegre – RS. Anais do 51º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC, 2009.

BERALDO, A. L. **Uso de Compósitos de Argamassa de Cimento e Areia com Adição de Partículas de Bambu na Produção de Telhas.** Universidade Estadual de Campinas – Unicampi, Campinas – SP, 2017.

BRASIL, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar (2021)**, Brasília, Brasil. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 12 de setembro de 2021.

CAETANO, M. J. L. **Resenha Histórica do Uso de Materiais.** CTB: Ciência e Tecnologia da Borracha, Portugal, 2010. Disponível em: <<https://www.ctborracha.com/materiais-de-engenharia/resenha-historica-do-uso-dos-materiais/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 9th ed. John Wiley & Sons, 2013, 992 p.

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** 3. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2013. 106 p.

CRIPPS, D. **Guide to composites.** Apud: *Net Composites Knowledge in Composites, January 24, 2019.* Disponível em: <<http://www.netcomposites.com/education.asp>>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

D'AGUIAR, S. C. M. **Estabilidade de Colunas de Material Compósito Reforçado Por Fibras.** 2017. 121 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DALFRÉ, G. M. *et al.* Avaliação do Comportamento de Resinas Epoxídicas Submetidas a Ciclos de Umidade. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 24-36, 2020.

GALBIATI, J. K.; GALLO, C. A.; LAVANHOLI, M. G. D. P. Produção de Energia Elétrica a Partir da Queima do Bagaço de Cana-de-açúcar. **Revista Nucleus**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 127-138, 2010.

GEHLEN, L. R. **Efeito da Utilização de Fibras Lignocelulósicas (Açaí e Curauá) em Compósitos com Matriz de Resina Poliéster Insaturado.** 2014. 104 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GOODMAN, S. H. **Handbook of Thermoset Plastics.** Noyes Publications. New Jersey. USA, 1998.

GOMES, G. O. **A Abordagem No Ensino De Química Sobre A Combustão Dos Polímeros E A Questão Ambiental.** 2013. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade De Brasília – UnB, Brasília, DF, 2013.

GOMES, J. W. **Obtenção E Caracterização De Um Compósito De Matriz Polimérica E Resíduos Gerados Pela Manufatura Do MDF (Medium Density Fiberboard).** 2015. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2015.

GUTH, F. **Desenvolvimento De Um Tubo Compósito Polimérico Reforçado Com Fibra De Carbono**. 2018. 177 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Do Vale De Taquari, Lajeado, Rio Grande Do Sul, 2018.

HERAKOVICH, C. T. *Mechanics of Fibrous Composites*. New York: John Wiley & Sons, 1998.

JESUS FILHO, E. de. **Processamento E Caracterização De Matrizes Poliméricas De Polietileno De Baixa Densidade Reforçadas Com Fibras De Abacá**. 2017. 104 f. Tese (Mestrado em Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, 2017.

KALIA, S. *Lignocellulosic Composite Materials*. 2018th ed. Springer Editor, 2018. 444 p.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* Fibras De Vidro: Caracterização, Disposição Final E Impactos Ambientais Gerados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 10, p. 2112-2121, 2013.

LAVORATTI, A. *et al.* **Caracterização das Fibras de Buriti e Ramie para a Aplicação em Compósitos Poliméricos**. In: 12º Congresso Brasileiro de Polímeros. 12, 2013, Florianópolis – SC. Anais do 12º Congresso Brasileiro de Polímeros – CBPol, 2013.

LAZARINI, R. G. **Pré-tratamento de Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar e seu Uso em Altos Teores em Compósitos com Polipropileno via Mistura Termocinética**. 2020. 142 f. Tese (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. Editora Blucher, 2006. 336 p.

LIBERA JÚNIOR, V. D. **Laminados de Fibra de Curauá/Epóxi Obtidos a Partir de Pré-Impregnados**. 2019. 108 f. Tese (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2019.

MACÊDO NETO, M. C. **Obtenção e Caracterização de um Compósito de Matriz Polimérica com Carga de Palha de Aço**. 2016. 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2016.

MARCELO JÚNIOR, A. O. **Aplicação Da Mecânica Da Danificação Em Materiais Compósitos Poliméricos Reforçados Por Fibras De Vidro**. 2004. 204 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciências De Materiais) – Universidade Federal Do Ceará, Fortaleza – CE, 2004.

MARINUCCI, G. **Matériaís Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MAZUR, R. L. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de Fibras de Carbono/PEKK com Aplicações Aeronáuticas**. 2010. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

MILANI, C. **Influência Da Incorporação De Resíduos De Policarbonato Em Compósito De Fibra De Vidro/Poliéster**. 2015. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2015.

MOREIRA, W. **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenho e Tendências**. Ed. ABMACO, 2008.

NASCIMENTO, D. C. O. **Análise das Propriedades de Compósitos de Fibras de Piaçava e Matriz de Resina Epóxi**. 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2009.

NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos De Matriz Poliéster Com Fibras De Caroá *Neoglaziovia Variegata*: Caracterização Mecânica E Sorção De Água**. 2007. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia De Processos) – Universidade Federal De Campina Grande – UFCG, Campina Grande, PB, 2007.

NUNES, T. S.; FINZER, J. R. D. **Desempenho de Processamento Industrial de Cana-de-açúcar**. In: II ENCONTRO DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AGROINDUSTRIAIS – UNIUBE. 2, 2018, Uberaba – MG, 2018.

OLIVEIRA, J. M. (2016). **Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis de poliácido láctico (PLA) reforçados com fibras de curauá**. Dissertação de Mestrado em Integridade de Materiais da Integridade da Engenharia, Publicação: FGA.DM – 039A/2016, Faculdade UnB Gama/FT/Universidade de Brasília, DF, 86 f., 2016.

OLIVEIRA, O. C. de. **Avaliação De Fibras De Bagaço De Cana-De-Açúcar In-Natura E Modificada Para Aplicação Em Compósitos**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Norte Fluminense – UENF Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

ORTENZI JÚNIOR, A. **A Fibra de Vidro em Matrizes Poliméricas e Cimentícias e Seu Uso Estrutural em Construção Civil – O Estado da Arte**. 2007. 228 f. Tese (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

PINTO, K. N. C. **Reciclagem de Resíduos de Materiais Compósitos de Matriz Polimérica: Poliéster Insaturado Reforçado com Fibras de Vidro**. 2002. 81 f. Tese (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RAYMUNDO, E. A. *et al.* Análise de Absorção de Água em Compósito de Polímero Reforçado com Fibras Naturais. **Cadernos UniFOA**, São Paulo, p. 23-28, 2012.

REZENDE, M. C. *et al.* O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 2, 2000.

RIBEIRO, C. B.; CARVALHO, W. H. P.; MENDES, R. S. Análise da Viabilidade Financeira da Utilização da Fibra de Coco como Reforço em Compósito. **Revista Valore**, Volta Redonda, 5, e-5002, 2020.

ROSSIGNOLO, J. A.; FABRÍCIO, M. M.; LIMA, S. A. **Coberturas: Notas de Aula da Disciplina SAP0653 – Tecnologia das Construções II**. 2007. 94 f. Notas de Aula (Departamento de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Revista Desenvolvimento em Questão**, Rio Grande do Sul, n. 13, p. 111-128, 2009.

SANCHEZ, E. M. S. *et al.* Compositos De Resina De Poliéster Insaturado Com Bagaço De Cana-De-Açúcar: Influência Do Tratamento Das Fibras Nas Propriedades. **Revista Polímeros**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

SANTANA, I. S. A.; TEIXEIRA, M. G. Desenvolvimento de Compósito de Matriz de Poliéster Termofixo Reforçado com Bagaço de Cana-de-açúcar. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Salvador – BA, v. 20, n. 6, p. 255-261, 2019.

SANTOS, A. M.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMICO, S. C. **Estudo de Compósitos Híbridos Polipropileno/Fibras de Vidro e Coco para Aplicações em Engenharia**. In: 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. 9, 2006.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Caruará e Híbridos com Fibra de Vidro**. 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2010.

SILVA, R. V. *et al.* Desenvolvimento de um Compósito Laminado Híbrido com Fibra Natural e Sintética. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, p. 154-161, 2008.

SILVA, D. S.; FARIAS, C. E.; ANTUNES, E. G. P. Influência Das Variações Térmicas Na Impermeabilidade E Resistência Mecânica Das Telhas Pultrudadas (FRP). **Revista Território, Espaço Construído E Meio Ambiente**, Criciúma – SC, 2017.

SOUZA, M. O. **Delineamento Experimental e Amostragem: Uma Aplicação no Ensino Público da Educação Básica no Estado de Rondônia-Brasil**. 2015. 168 f. Dissertação (Mestrado em Matemática, Estatística e Computação) – Universidade Aberta, 2015.

TEIXEIRA, L. A. **O Efeito da Modificação Química das Fibras de Curauá nas Propriedades Morfológicas, Térmicas e Mecânicas de Compósitos de Poliéster**. 2019. 95 f. Tese (Mestrado em Integridade de Materiais da Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2019.

Termofixos e Termoplásticos. **CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais**, 2021. Disponível em: <<http://www.ccdm.ufscar.br/2021/08/12/termofixos-e-termoplasticos/>>. Acesso em: 06 de outubro de 2021.

VIEIRA, J. D. **Estudo do Comportamento Estrutural de Perfis Pultrudados sob Efeito de Alta Temperatura**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, P. R.; VIEIRA, J.; CARVALHO, E. M. L. Análise Das Propriedades De Compósitos Poliméricos Reforçados Com Fibra De Vidro. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 363-374, 2016.

XAVIER, C. S. F. *et al.* Secagem e Avaliação do Bagaço de Cana-de-açúcar como Adsorvente de Corantes Têxteis Presentes em Soluções Aquosas. **Revista Matéria**, Campina Grande – PB, v. 26, n. 1, 2021.