

Estudo de fibra a partir de dejetos da cana de açúcar para desenvolvimento de novo material compósito sustentável

Study of fiber from sugar cane waste for development of new sustainable composite material

DOI:10.34117/bjdv8n5-026

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

Lucimar Venâncio Amaral

Mestrado em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901

E-mail: lucimarvenancioamaral@gmail.com

Alessandro de Zanni

Graduação em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Universitário de Belo Horizonte

Endereço: Av. Professor Mário Werneck, 1685 - Buritis, Belo Horizonte – MG
CEP: 30575-180

E-mail: alessandro.dezanni@gmail.com

Larissa Garcia

Graduação em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Universitário de Belo Horizonte

Endereço: Av. Professor Mário Werneck, 1685 - Buritis, Belo Horizonte – MG
CEP: 30575-180

E-mail: larissagarcia028@gmail.com

Rodrigo Berkerman

Graduação em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Universitário de Belo Horizonte

Endereço: Av. Professor Mário Werneck, 1685 - Buritis, Belo Horizonte – MG
CEP: 30575-180

E-mail: rbk4100@gmail.com

André Guimarães Ferreira

Doutorado em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas, 5253 - Nova Suíça, Belo Horizonte – MG
CEP: 30421-169

E-mail: agferreira@cefetmg.br

RESUMO

Uma grande evolução tecnológica ao longo dos anos permitiu que o homem utilizasse de conhecimentos técnicos e empíricos a seu favor, com o intuito de moldar o meio a sua volta, melhorando sua vivência, conforto, comodidade e praticidade. No âmbito dos

materiais, vem sendo recorrente a maior exigência de evolução, tendo em vista atender maiores necessidades, especificações e exigências a serem cumpridas. Define-se por um material ideal aquele que atenda às necessidades do usuário, no que diz respeito a aplicabilidade e custo benéfico e do meio ambiente, no que tange a poluição, e recursos naturais. De acordo com a SIAMIG (Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais), em 2021 a produção de cana-de-açúcar chegou a 70.565.766 toneladas. Diante de todo este montante produzido parte do insumo final é descartado de forma incorreta. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma nova metodologia de uso e aplicabilidade ao dejetos da cana a partir do desenvolvimento de um novo material compósito cuja base é o bagaço. Com o bagaço da cana-de-açúcar devidamente seco, foram selecionadas duas diferentes granulações da fibra e elaborados os materiais compósitos com resina epóxi, os quais foram submetidos a testes de compressão para análise de propriedades mecânicas.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, materiais compósitos, dejetos.

ABSTRACT

A great technological evolution over the years has allowed man to use technical and empirical knowledge in his favor, in order to shape the environment around him, improving his experience, comfort, convenience and practicality. In terms of materials, the greatest demand for evolution has been recurring, with a view to meeting greater needs, specifications and requirements to be met. An ideal material is defined as one that meets the needs of the user, with regard to applicability and beneficial cost and the environment, with regard to pollution, and natural resources. According to SIAMIG (Associação das Indústrias Sucroenergéticas de Minas Gerais), in 2021 sugarcane production reached 70.565.766 tons. In view of all this amount produced, part of the final input is incorrectly discarded. The present work aims to present a new methodology of use and applicability to sugarcane waste from the development of a new composite material whose base is bagasse. With the sugarcane bagasse duly dried, two different fiber granulations were selected and composite materials were prepared with epoxy resin, which were subjected to compression tests for analysis of mechanical properties.

Keywords: sugarcane, composite materials, waste.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do progresso tecnológico e dos anos, o homem vem utilizando de diversas fontes de conhecimento, sejam eles técnicos ou empíricos, ambos têm por finalidade aprimorar e inovar o meio a sua volta, com o principal intuito de otimizar sua vivência no cotidiano em busca de mais conforto, comodidade e praticidade. Dentre as diversas buscas por evolução existem objetos em comum, como a matéria prima ou material no qual origina-se a fabricação de todas as coisas, sejam vidro, metal, cerâmica, madeira, plástico ou compósitos. A essência de cada projeto e de cada criação origina-se no material.

O progresso tecnológico dos últimos anos permitiu que houvesse o desenvolvimento de um grande número de novos materiais. No entanto, devido às altas demandas é necessário que cada vez mais se obtenha materiais específicos para aplicações pontuais com boa funcionalidade e custo benefício. Assim, a evolução exige cada vez mais o material ideal para seus processos. O interesse de se encontrar fontes renováveis de matéria prima visa em larga escala a redução do impacto ambiental e a redução de custos. Segundo o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), dados fornecidos pelo Departamento de Comercialização e Abastecimento (SECEX,2021), o Brasil é o maior produtor e exportador de cana de açúcar do mundo. A tabela abaixo extraída do ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior retrata a exportação de cana de açúcar por ano de 2010 a agosto de 2021.

Tabela 01 - SECEX (Base de Dados AliceWeb)

Anos	Toneladas (em Milhões)
2010	28.000
2011	25.359
2012	24.342
2013	27.154
2014	24.127
2015	24.012
2016	28.933
2017	28.702
2018	21.306
2019	18.049
2020	30.788
2021	15.254
2020 – Jan-Jul	14.388
2021 – Jan-Jul	15.254

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2021)

De acordo com o Instituto de economia agrícola na safra 2020/21, a produção mundial de açúcar foi de 179,9 milhões de toneladas, e a produção brasileira representou 22% do total produzido; para a safra 2021/22, estima -se a produção de 186 milhões de toneladas.

Hoje o estado de São Paulo, é quem lidera a produção no país, responde por 54,1% da quantidade produzida na safra 2020/21, e foi responsável pela produção de 48,4% de etanol (14,3 bilhões de litros) e 63,2% do açúcar (26,0 milhões de toneladas). Na tabela 02 é demonstrado um comparativo de produtividade, produção e estimativa de cana de açúcar por região (CONAB,2021).

Tabela 02 – Previsão de produção de cana-de-açúcar no Brasil

REGIÃO/UF	AÇUCAR (em mil toneladas)			
	Safra 2020/21	Safra 2021/22	Variação	
			Absoluta	%
NORTE	61,9	83,3	21,5	34,7
PA	50,9	66,5	15,6	30,6
NORDESTE	2.974,7	2.920,0	(54,8)	(1,8)
RN	173,6	174,5	0,9	0,5
PB	143,8	92,0	(51,8)	(36,0)
PE	872,9	844,9	(28,0)	(3,2)
AL	1.436,1	1.440,0	3,9	0,3
CENTRO-OESTE	4.651,0	4.320,0	(331,0)	(7,1)
MS	1.847,5	1.433,4	(414,2)	(22,4)
GO	2.319,1	2.469,3	150,3	6,5
SUDESTE	30.947,5	27.252,2	(3.695,3)	(11,9)
MG	4.714,9	4.343,7	(371,3)	(7,9)
SP	26.087,1	22.735,9	(3.351,2)	(12,9)
SUL	2.619,2	2.328,8	(290,5)	(11,1)
PR	2.619,2	2.328,8	290,5	11,1
NORTE/NORDESTE	3.036,6	3.003,3	(33,3)	(1,1)
CENTRO-SUL	38.217,7	33.900,9	(4.316,8)	(11,3)
BRASIL	41.254,3	36.904,2	(4.350,1)	(10,5)

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento (2021)

Grupos de pesquisa e setores altamente tecnológicos da indústria têm concentrado seus esforços no desenvolvimento e aplicação de materiais que utilizem matérias primas renováveis, a busca por materiais que exibam propriedades diferentes daquelas apresentadas pelos materiais convencionais. Assim, produtos que preservam o meio ambiente, ou mesmo, minimizem os impactos causados a este, podem ser formulados. Esta é uma tendência mundial em desenvolver e valorizar materiais ambientalmente corretos e com baixo custo (KHALID *et al.*, 2008; MANO *et al.*, 2010).

Segundo Callister (2016) os materiais podem ser classificados em metais, cerâmicos, poliméricos compósitos e materiais avançados. Dentro deste âmbito serão tratados os materiais compósitos em fibras biológicas e matriz polimérica. É denominado por compósito qualquer material multifásico no qual este exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação das propriedades de cada material (CALLISTER, 2016). Quando sua configuração se dá por uma matriz e um reforço, é chamado de material compósito reforçado com fibra. Neste âmbito, a fibra é o reforço e proporciona resistência e rigidez enquanto a matriz é responsável pela distribuição de cargas e pela resistência do material ao ambiente (MAZUMDAR, 2002). Estes materiais estão sendo empregados cada vez mais em substituições de outros materiais monolíticos cujo as características não atendam às crescentes exigências de melhor durabilidade, desempenho e resistência. O

presente artigo visa o desenvolvimento de um compósito a partir do tratamento da fibra do dejetto da cana de açúcar. O bagaço da cana de açúcar é um material lignocelulósico constituído principalmente por celulose, hemicelulose e lignina (GOUVEIA *et al*,2009).

1.1 OBJETIVOS

A partir do estudo das propriedades e estruturas do bagaço da cana-de-açúcar, sendo um subproduto da agroindústria canavieira rico em fibras vegetais, o presente trabalho busca propor um estudo crítico, comparativo e comportamental da influência que a porcentagem de fibra da cana-de-açúcar exerce ao ser agregada a matriz polimérica (resina epóxi), baseado em testes mecânicos, deseja-se classificar um novo material compósito com uma aplicabilidade apropriada considerando fatores como desempenho, custo e eficiência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROPRIEDADES DA CANA DE AÇÚCAR

A cana-de-açúcar que é produzida no Brasil se originou a partir do cruzamento realizado na Indonésia, de uma espécie conhecida como *Saccharum officinarum*, esta é rica em açúcar, e muito suscetível a doenças com *Saccharum spontaneum*, é muito rústica, ou seja, mais resistente aos problemas do campo. Por intermédio da técnica de mapeamento do genoma, abrem-se as portas para uma infinidade de possibilidades, entre elas, o aprimoramento genético assistido por marcadores moleculares e a biotecnologia aplicada à cana-de-açúcar (CIB, 2009).

Segundo Estevez e Gálvez (1997) o bagaço é um resíduo lignocelulósico fibroso e é desenvolvido por uma junção de partículas heterogêneas, onde os granéis e fibras possuem um tamanho variando de 1 a 2,5 mm, mas podem possuir um tamanho médio de aproximadamente 2mm dependendo de qual equipamento está sendo utilizado. As partículas do bagaço são desenvolvidas por polímeros naturais, principalmente a lignina, a hemicelulose e a celulose.

O bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa que vem sendo produzida em larga escala. Devido ao aumento da produção destes produtos no mercado brasileiro e mundial, o bagaço de cana se tornou o principal resíduo agrícola do país, principalmente no que se refere à utilização da biomassa para geração de energia (BACCI e SANTOS, 2008).

Segundo MACHADO (2000) o bagaço de cana é o resíduo da cana após a moagem. É um material fibroso obtido após a extração do caldo em moendas. Ao sair da

moenda, o bagaço tem aproximadamente 30% da massa da cana e uma umidade em torno de 50%. A composição química do bagaço varia de acordo com diversos fatores, dentre eles, o tipo de cana, o tipo de solo, as técnicas de colheita e até o manuseio. Na tabela 3 contém informações sobre a composição média característica do bagaço de cana, em que a fibra é a matéria seca e insolúvel em água, contida na cana de açúcar (MENDES, 2011).

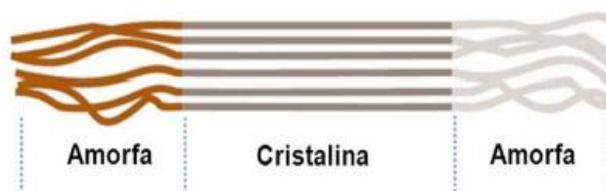
Tabela 03 – Composição média do bagaço de cana

Composição química média	
Carbono	39,7 – 49%
Oxigênio	40 – 46%
Hidrogênio	5,5 – 7,4%
Nitrogênio e cinzas	0 – 0,3%
Propriedades físico-químicas	
Umidade	50%
Fibra	46%
Brix	2%
Impurezas minerais	2%
Composição média da fibra do bagaço	
Celulose	26,6 – 54,3%
Hemicelulose	14,3 – 24,4%
Lignina	22,7 – 29,7%

Fonte: MENDES (2011)

A celulose constitui cerca de 26,6 a 54,3 % do bagaço da cana. É encontrada na forma de microfibras e estas apresentam regiões cristalinas intercaladas por regiões amorfas (STICKLEN,2008), conforme Figura 1. Cada microfibras é formada por diversas unidades de glicose (monômeros)e celobiose, unidas umas às outras ao longo de seu comprimento por ligações de hidrogênio (GUTMAIS, 2008).

Figura 01: Celulose na forma de microfibras. (GUTMAIS,2008)



As ligações de hidrogênio intermoleculares são responsáveis pela formação das redes cristalinas e torna a celulose altamente resistente a alguns tipos de ataques químicos e biológicos (GAMBARATO,2010).

A hemicelulose constitui cerca de 14,3 a 24,4 % do bagaço da cana elas são polissacarídea amorfas e possuem peso relativamente baixo as hemiceluloses são depositadas de forma intercalada nas microfibras de celulose, conferindo elasticidade e

flexibilidade ao agregado da microfibras impossibilitando que as mesmas se toquem (AGUIAR,2010).

A lignina constitui cerca de 22,7 a 29,7 % do bagaço da cana é uma macromolécula tridimensional de estrutura amorfa, durante o desenvolvimento da célula a lignina é incorporada como o último componente na parede, envolvendo as microfibras celulósicas e assim a mesma fortalece e enrijece a parede celular, conferindo assim resistência, resistência mecânica (MARABEZI,2009).

2.2 APLICAÇÕES DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos tratam-se de uma classe cujo objetivo é a obtenção de um material, no qual, combinando as características de seus componentes de maneira adequada, este apresente um desempenho estrutural melhor sob condições específicas de utilização. A estrutura a ser obtida deve constituir um novo material, com características homogêneas, ao ser analisado macroscopicamente.

As diversas propriedades químicas e mecânicas conforme listadas na tabela 04 abaixo, apresenta que os materiais compósitos favorecem uma grande versatilidade de aplicação em diversos setores como, por exemplo, a engenharia aeroespacial e esportiva. Aeronaves, satélites, bicicletas, carros e motos de corrida, utilizam em grande escala tais matérias devido a necessidade de serem leves e altamente resistentes aos esforços mecânicos. Outra importante aplicação dos materiais compósitos é a indústria naval nos barcos de pequeno e médio porte, além da indústria bélica com mísseis e armamentos de diversos tipos, aerogeradores para a produção de energia eólica, veículos blindados, reforços estruturais na construção civil, artigos decorativos, piscinas, tubulações na indústria petrolífera para o transporte de fluidos (altas temperaturas e pressões), são somente algumas das aplicações mais importantes dos materiais.

Tabela 04 - Propriedades mecânicas de fibras vegetais selecionadas e principais fibras sintéticas

Fibra	Celulose (%)	Lignina (%)	Hemicel. (%)	P (g.cm ⁻³)	E (GPa)	σ (MPa)	ε (%)	Preço (US\$/Kg)	Ref.
Algodão	85-90	-	5,7	1,51	5,5	287	7	4	[8]
Bagaço de cana	40-44	20-23	26-29	0,3-0,5	27,1	222	1,1	0,02	[5;8]
Coco	36-43	10-45	0,2	1,4-1,5	4	175	30	0,3-0,5	[35;36]
Curauá	71-74	8-11	21	0,92	30-80	1.250	4,5-6	0,6	[30;36]
Dendé	43-65	13,2	17-33	0,7-1,5	1	65	12,3	ND	[37]
Gravatá	57,5	28,5	14,1	ND	50	580	1,7	ND	[38]
Juta	64,4	12	11,8	1,45	26,5	393	1,5	0,6	[8;36]
Linho	64,11	16,7	2	1,5	27,6	345	2,7	1-2	[8;36]
Rami	68,6	13,1	2	1,5	61,4	400	3,6	0,7	[8;36]
Ráquis Macaúba	39,8	30,8	18,9	ND	28,5	422	2	ND	[39;40]
Sisal	65,8	12	9,9	1,3	9,4	511	2	0,9	[8;36]
Vidro (E)	-	-	-	2,5-2,6	72	3.500	2-5	2	[41]
Vidro (S)	-	-	-	2,4-2,5	86	4.500	3-4	20	[41]
Carbono (HTS)	-	-	-	1,8	240	4.900	1,5-2	40-60	[41]
Aramida (K49)	-	-	-	1,45	120	2.800	2-3	30-50	[41]

Fonte: LAZARANI (2020)

Segundo a EADS (*European Aeronautic Defense and Space*) (2004), os materiais compósitos são, ao lado do alumínio, os materiais mais importantes para a construção aeronáutica na atualidade. Nos últimos 40 anos, os materiais compostos passaram a representar 15% de redução de peso estrutural nos aviões comerciais, e 50% de redução de peso nos helicópteros e aviões militares. No período de 2002 a 2003, várias instituições europeias (EADS, SICOMP, Universidades, etc.) organizaram o evento Composit Thematic Network, segundo nos informa Franco (2011). Esse evento foi constituído de dez workshops, que tiveram como objetivo detectar os problemas de utilização dos materiais compósitos em vários ramos de transportes, entre eles o ramo aeroespacial. As conclusões desses workshops foram, dentre outras:

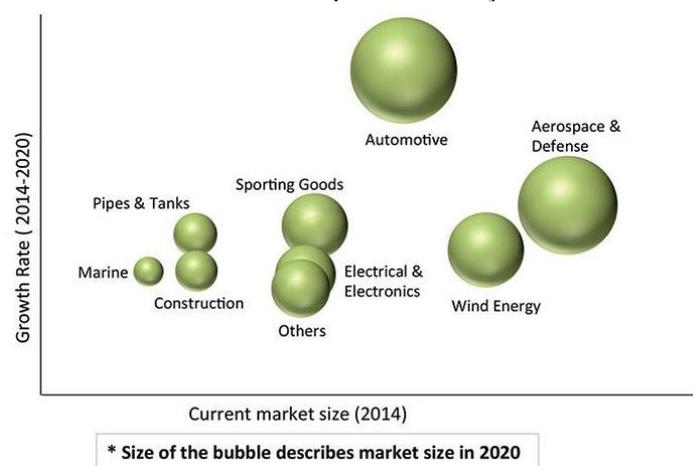
- Diminuição de custos. Desenvolver processos de fabricação automáticos de materiais compostos, isto é, desenvolvimento e aplicação de tecnologias de conformação de tecidos, em conjunto com sistemas de resina que permitam a impregnação do tecido, e a sua cura, sem a utilização de autoclave.

- Desenvolvimento de metodologias de projeto e ferramentas analíticas que permitam a simulação do material composto e do processo de fabricação (especialmente comportamento não linear e comportamento de longo prazo).
- Desenvolvimento de sistemas de materiais (fibras, sistemas de resinas, binders), com relação a custo, métodos de fabricação e desempenho. Por exemplo, desenvolver a nanotecnologia aplicada a materiais compostos.
- Desenvolvimento de técnicas avançadas de união de peças ou partes (colagem, ou uniões aparafusadas), para aumentar o desempenho destes conjuntos e diminuir custos de fabricação.

Ainda segundo EADS (2003, citado por FRANCO, 2011), devido à alta resistência específica, à alta rigidez específica, à alta resistência à fadiga, à alta resistência à corrosão e à alta capacidade de absorver energia, os materiais compostos se tornaram materiais com emprego crescente no ramo aeroespacial.

De acordo com o artigo publicado pela MODCOMP, uma empresa que atua no ramo de confecção de estruturas baseadas em fibra de baixo custo modificadas com multifuncionalidade e desempenho aprimorados em 2014, o setor que mais usufruiu dos materiais compósitos (em particular a fibra de carbono) foi a indústria aeroespacial e a previsão segundo os mesmos é que o setor automotivo alcançaria em 2020 o maior crescimento na utilização de compósitos a base de fibra, conforme demonstrado na Figura 2 abaixo.

Figura 2: Tendências de mercado de plásticos reforçados com fibra de carbono

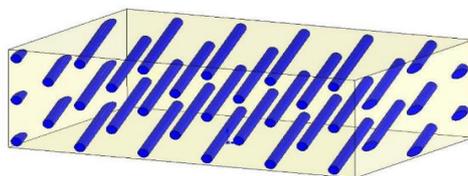


Fonte: Murphy (1998)

2.3 COMPÓSITOS FIBROSOS

Os compósitos fibrosos constituem-se pela união de fibras longas, em meio de uma matriz, atuante como material de reforço. Inicialmente, a resistência de uma fibra em particular, à sua tração unidirecional, já é observada bem maior que a de sua matéria-prima bruta. Na constituição do material compósito, um material constituinte, matriz do compósito, é utilizado para a união das fibras (como as resinas), permitindo a transferência de carregamentos, apresentando, ainda, a capacidade de proteção e suporte das fibras. O arranjo das fibras pode ser unidirecional ou em duas ou mais direções. Um exemplo deste arranjo em uma matriz sólida é representado na Figura 3 abaixo (MAMEDE e PRADO, 2005).

Figura 4: Exemplo de Arranjo de Fibras em Matriz para Compósito Fibroso



Fonte: Murphy (1998)

2.4 RESINAS

Segundo Kersting, 2014, pode-se classificar que as resinas epóxi são uma classe das resinas termofixas. Para tanto, antes de tratar-se das particularidades sobre esta resina, faz-se necessário discorrer sobre aspectos gerais das resinas termofixas. As resinas termofixas são materiais compostos de macromoléculas altamente ligadas umas às outras de forma a resultar em um polímero infusível e insolúvel a solventes comuns. O autor ainda define que na área de fabricação de compósitos, as resinas termofixas têm poucas aplicações em sua forma pura, sendo necessários aditivos para melhorar a processabilidade. As formulações para a utilização deste tipo de polímero em materiais compósitos normalmente compreendem uma resina (com endurecedores, inibidores e plastificantes) e cargas ou reforços. A resina e seus aditivos conferem a coesão à mistura, fornecendo estabilidade dimensional, estabilidade ao calor, resistência química e resistência à chama. A seguir, na Tabela 5, as principais vantagens e limitações das resinas termofixas mais utilizadas incluindo a resina epóxi.

Tabela 05: Vantagens e limitações de algumas resinas

Tipo de resina	Vantagens	Limitações
Epóxi	Excelentes propriedades em compósitos; ótima resistência química; boas propriedades térmicas; baixa retração de volume na cura.	Longos ciclos de cura; melhores propriedades obtidas apenas com cura a elevadas temperaturas; irritante a pele
Fenólica	Ótimas propriedades térmicas; boas propriedades frente ao fogo (chama auto extingüível); boas propriedades elétricas.	Limitações de cor; baixa resistência a álcalis; Impossibilidade de contato com alimentos.
Poliéster	Ampla escolha de resinas; fácil utilização; cura a temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas; boas propriedades químicas e elétricas.	Emissão de estireno; retratação de volume no processo de cura; flamabilidade.
Vinil-Éster	Boa resistência a fadiga; excelentes propriedades em compósitos; excelente resistência química; boa tenacidade.	Emissão de estireno; retratação de volume no processo de cura; flamabilidade.

Fonte: Murphy (1998)

A resina epóxi tem sido cada vez mais utilizada ao longo dos anos, no ano de 2015 a produção deste material foi em torno de 2,5 milhões de toneladas. A América do Sul corresponde a cerca de 2.1% do consumo mundial deste produto. Devido a sua versatilidade de aplicações é muito utilizada na Indústria Elétrica, eólica, na produção de compósitos e na área aeroespacial (Almaço, 2017).

Os pontos positivos a se levarem em consideração na utilização da resina epóxi são:

- A vasta amplitude de endurecedores e reagentes que podem ser utilizados para a cura de forma a alterar as propriedades;
- Alta resistência mecânica, química e térmica
- Adaptam a variados processos de manufatura, pois possui ótima viscosidade, reologia e velocidade de cura;
- Possui baixa contração após a cura;
- Por sua estrutura ser polar tem excelente compatibilidade com fibras e substratos;
- Reação de cura não gera subprodutos que causam rachaduras, bolhas e vazios na estrutura;
- Custo acessível.

Segundo Kersting, (2014), através do processo de cura acontecem as ligações cruzadas da resina epóxi, numa rede tridimensional insolúvel e infusível, pode se obter alta resistência térmica e mecânica. Durante a cura ocorre a formação de uma estrutura reticulada pela unificação dos constituintes monoméricos numa grande molécula que se

estende até as fronteiras do material. Para o processo de cura pode-se adicionar também à resina o agente de cura (endurecedor), sendo que o agente escolhido depende do método de cura escolhido, das condições e das propriedades químicas, físicas e térmicas desejadas, visto que ele determina os tipos de ligações cruzadas e o grau de cura que irá ocorrer. Catalisadores podem também ser adicionados à resina, em pequenas quantidades, no intuito de diminuir a energia de ativação do processo de cura. O processo de cura é irreversível, sendo assim uma vez que o material passa por este processo não é possível voltar ao estado inicial. As reações deste material são exotérmicas, assim ele libera calor durante o processo.

Segundo o diretor Diretor Associado da P&D lin Corporation, Marcus Pini, 2017, diluentes reativos são os que participam no processo de cura e farão parte do material construído, estes afetam as propriedades do material como viscosidade, reatividade, elasticidade, ductilidade e outros.

Diluentes não reativos: podem ser solventes ou plastificantes, a aplicação é bem restrita a compósitos, pois este pode alterar as propriedades de dimensionamento e físicas do compósito, são utilizadas em casos bem específicos.

Plastificantes: podem ser reativos ou não reativos visando à diminuição da dureza do material e podendo ou não reduzir a viscosidade do sistema.

2.5 TESTES MECÂNICOS

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas através da execução de ensaios programados, que reproduzem aproximadamente as condições de serviço. Dentre os fatores a serem considerados nos ensaios incluem-se a natureza da carga aplicada, a duração de aplicação dessa carga e as condições ambientais. A carga pode ser de tração, compressão ou cisalhamento. O tempo de aplicação pode ser de apenas uma fração de segundo ou pode se estender por um período determinado. Dentro das condições ambientais destaca-se também a temperatura como fator de grande importância (CALLISTER, 2016).

2.5.1 Teste de Tração

Os compósitos podem ser submetidos ao teste de resistência à tração, os testes de tração fornecem informações importantes sobre as propriedades mecânicas suportadas pelo material tais como o módulo de elasticidade, tensão e deformação. Para determinação das propriedades de tração de compósitos por matriz de resina reforçados

com reforços contínuos, descontínuos ou de camada cruzada orientados, os ensaios podem ser realizados em conformidade com o método de ensaio D30.04/D3039M-17 (ASTM D3039). Este método de teste determina a tração no plano propriedades dos materiais compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras de alto módulo. As formas de materiais compósitos são limitadas para compósitos reforçados com fibra contínua ou descontínua para as quais as propriedades elásticas são especialmente ortotrópicas com relação à direção do teste (HOFER, 1977).

2.5.2 Teste de Compressão

Os compósitos podem ser submetidos também ao teste de compressão, na área da mecânica, a compressão tem por objetivo medir a força necessária para deformar um corpo de prova na forma de um cilindro ou prima a partir do teste são coletadas informações como resistência à compressão, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, e deformação sob compressão relacionada ao material analisado. Para determinação das propriedades de compressão de compósitos por matriz de resina reforçados com reforços contínuos, descontínuos ou de camada cruzada orientados, os ensaios podem ser realizados em conformidade com o método de ensaio ASTM D6641.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração do compósito, foram recolhidos os bagaços de cana de açúcar através de um ponto comercial localizado em Belo Horizonte que comercializa o caldo de cana obtido após a moagem, da cana-de-açúcar, o bagaço oriundo da moagem é descartado em sacos plásticos em forma de tiras, a amostragem foi recolhida em menos de 24hs após o descarte e posterior ao recolhimento foram iniciados os processos de confecção do compósito.

Após a coleta dos bagaços úmidos, as fibras do bagaço da cana moídas foram secas na estufa para que fosse retirada toda a umidade presente. Este primeiro processo aconteceu em um forno a uma temperatura constante de 105 °C por um período de 24 horas ininterruptas. Em seguida foi feito um controle da secagem e o acompanhamento do comportamento da fibra. Após as fibras estarem livres de toda umidade foi realizado um processo de trituração em um moedor e as fibras foram peneiradas, para que houvesse uma separação granulométrica da fibra. Para isso foram utilizadas peneiras de nº 10 e nº 16. Este processo se faz de suma necessidade para que haja uma melhor incorporação do reforço na matriz polimérica.

O corpo de prova foi elaborado segundo o molde disponibilizado pelo laboratório no qual é padronizada a máquina onde se realizaria o teste de compressão. O corpo de prova destinado ao teste de compressão possui forma cilíndrica com \varnothing 40 mm e H = 60 mm, conforme norma NBR 12767, 7680, 5739 DNER-ME091 NM 101.

Foram confeccionados 3 corpos de prova com a resina epóxi, nas proporções indicadas pela Tabela 6, abaixo:

Tabela 6 - Proporção Corpo de prova para teste de compressão

Proporção	193,4 ml de resina + 19,34 ml de endurecedor	25 g de fibra
CP 1 a 3	77,37 ml de resina + 7,37 ml de endurecedor	10g de fibra por CP

FONTE: Autores

Nas primeiras amostras de corpos de prova elaborado para realização dos testes de compressão foram utilizadas as fibras do peneiramento de N°16 (fibras finas).

O corpo de prova destinado ao teste de tração possui forma retangular com dimensões de 5 mm x130mmx235mm.

Nas segundas produções de corpos de prova, elaboradas para realização dos testes de tração, ainda utilizando das fibras finas oriunda do processo de análise granulométrica de N°16 foi utilizada a seguinte proporção indicada pela Tabela 7, abaixo:

Tabela 7 - Proporção Corpo de prova para teste de tração

Proporção	193,4 ml de resina + 19,34 ml de endurecedor	25 g de fibra
CP 1	304,9 ml de resina + 20,4 ml de endurecedor	39,4 g de fibra

FONTE: Autores

O mesmo processo de confecção de corpo de prova para realização dos testes de compressão e tração foi realizado novamente respeitando-se as mesmas proporções e quantidades variando a fibra. Para esta leva de corpos elaborados foi utilizada a fibra oriunda do processo de análise granulométrica de N°10 (fibra mais espessa). Após secar e serem desenformados os corpos de prova epóxi, foram realizados sobre os mesmos o teste de compressão e tração, a serem apresentados os resultados posteriormente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos-de-prova das amostras foram produzidos em formatos cilíndricos para o teste de compressão, após estarem completamente secos e desmoldados, passaram pelo

processo de faceamento em suas extremidades para que a planicidade fosse garantida. Foi utilizada a máquina de ensaios universais da marca EMIC, modelo DL30T, do Laboratório do curso de Engenharia Mecânica da UFMG. A carga máxima é de 300 kN e a velocidade da célula de carga foi ajustada em 1 mm/min.

A resistência foi obtida através da divisão da carga de ruptura pela área bruta, sendo expressa em MPa. A área bruta da seção dos corpos de prova foi determinada através do cálculo do valor médio do diâmetro em cada extremidade e no meio.

Obteve-se como resultado do teste os seguintes dados:

Bagaço mais fino: 2,97 N/mm² com desvio de $\pm 0,05$

Bagaço mais grosso: 2,25 N/mm² com desvio de $\pm 0,04$.

Os dados foram tratados e os valores encontrados nos ensaios mecânicos foram comparados estatisticamente entre si. Foi aplicado o Experimento Fatorial em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para cada combinação com a análise de variância e teste Scott-knott a 5% de significância, usando-se o Software Sisvar versão 5.7, resultando nas médias de cada tratamento. A Análise de Variância (ANOVA) foi usada para estabelecer a significância de quaisquer diferenças observadas.

Os corpos de prova foram confeccionados tendo como principal variante a ser observada a granulometria do reforço (bagaço da cana-de-açúcar) cuja finalidade era verificar a influência do grão da fibra quando aplicado em conjunto com a resina.

Através dos testes de compressão foi possível observar que a diferença entre ambos os corpos de prova deve-se à aderência da fibra à matriz. Para os corpos de prova com compostos fibrosos mais espessos denota-se a formação de espaços vazios, o que os torna menos resistentes do que aqueles compostos por fibras mais finas, as quais aderem mais à resina e preenchem melhor os espaços vazios.

5 CONCLUSÃO

A proposta de obtenção de um novo material compósito através de uma fonte abundante e reciclável foi realizada com sucesso, diante de um contexto anterior estudado e realizado com a troca de matrizes epóxi e de polimérica no qual obteve-se reações químicas exotérmicas, limitando desta forma a análise mais profunda do material, que seria o comportamento da fibra em diferentes resinas. Para este estudo optou-se por variar a dimensão do grão da fibra em apenas um tipo de resina. Através da elaboração do estudo e comprovação por meio de testes e estudos realizados anteriormente é possível concluir

que a resina epóxi reforçada com a fibra da cana-de-açúcar em grãos finos trouxe um compósito com boas propriedades mecânicas.

Através do teste de compressão percebeu-se que o material compósito possui uma ótima propriedade plástica pois quando comprimida não se rompeu e nem apresentou defeitos externos visíveis a olho nu, apenas teve seu volume reduzido. Essa característica, aliada à boa resistência química típica dos compósitos com resina Epóxi, abre possibilidades para estudos de aplicação da fibra do bagaço da cana de açúcar em componentes que necessitem de resistência à compressão, com a vantagem do baixo peso e com o aproveitamento de um material sem nenhum valor comercial, o que reforça o aspecto da sustentabilidade da proposta.

REFERÊNCIAS

AGEITEC BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia*. Brasília, DF, 2007. 140 p.

AGUIAR, C.M. (2010). Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos utilizando celulases produzidas pelo fungo *Aspergillus Niger*. 106p. Dissertação (Mestrado) – Centro de engenharias e ciências exatas, universidade estadual do oeste do Paraná, Toledo, 2010.

ASTM D695-15, Método de Teste Padrão para Propriedades Compressivas de Plásticos Rígidos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

ASTM D2240-15e1, Método de Teste Padrão para Propriedade de Borracha - Dureza Durômetro, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

BACCI, M.S.; SANTOS, A. M.; Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade graus de compactação. Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2008.

CALLISTER, W.D. (2002) Ciência e engenharia de materiais : uma introdução / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch ; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2016.

CIB -CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Guia da Cana-de-açúcar – Avanço Científico Beneficia o País. Setembro, 2009.

CONCEITOS BÁSICOS DE RESINAS EPÓXI APLICADAS A TECNOLOGIA DE COMPÓSITOS Marcos Pini França Diretor Associado de P&D Lin Corporation, 2017. ASTM Subcommittee ASTM D3039 / D3039M - 17 on Mechanical Properties. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials." American Society for Testing Materials, 1997.

DEMEC - http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM336/durezabrinell.pdf

ESTEVEZ, A. G.; Gálvez, L. & De La Osa, O. - "Sugar Cane Bagasse. Utilization for Production of Composites. The State of the Art in Cuba", in: Lignocellulosic - Plastics Composites, Leão, A. L.; Carvalho, F. X. & Frollini, E. (ed.), UNESP, São Paulo, Brasil (1997).

GAMBARATO, B.C. (2010). Estabelecimento e validação de modelos de oxidação de ligninas. 100p. Dissertação (mestrado) – Escola de engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

GONCALVES 2006; Luz, S., Gonçalves, A. R., & Del'Arco, A. P. Jr (2006). Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana. Revista Matéria, 11(2), 101-110. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762006000200004>.

GOUVEIA, Ester Ribeiro et al. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. Química Nova [online]. 2009, v. 32, n. 6 [Acessado 8 Setembro 2021], pp. 1500-1503. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100->

40422009000600026>. Epub 22 Set 2009. ISSN 1678-7064.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600026>.

GUTMAIS, G. (2008). Modulação do gene *ugp* e análise das alterações na composição dos carboidratos da parede celular primária e secundária de *Nicotiana glauca* e *Eucalyptus grandis*. 142p. Tese (Doutorado) – Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

HOFER, K. E., and Rao, P. N., “A New Static Compression Fixture for Advanced Composite Materials,” *Journal of Testing and Evaluation*, 1977.

MACHADO, G.O. Preparação e caracterização de CMC e CMC grafitizada 2000, 101 p (Dissertação de mestrado) Instituto de química de São Carlos, 101p. 2000. MANRICH, Manrich, Sati. Identificação de Polímeros: Uma Ferramenta para a Reciclagem. EDUFSCAR, São Carlos, 1997.

MAMEDE et al., José, Nadia Mamede e Prado, Luís Antônio Sanchez de Almeida. Materiais híbridos orgânico-inorgânicos: preparação e algumas aplicações. *Química Nova* [online]. 2005, v. 28, n. 2 [Acessado 15 Setembro 2021], pp. 281-288. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200020>>. Epub 04 Maio 2005. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200020>.

MARABEZZI, K. (2009) Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar. 142p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de química de São Carlos, universidade de São Carlos, São Carlos, 2009.

MAZUMDAR, Sanjay K.. *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. Florida: Crc Press Llc, 2002.

MENDES, R.F. Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB. 2010. 216p. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) – Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, 2011.

MURPHY 1998, Murphy, John. *The Reinforced Plastics Handbook*. 2nd. Ed. Elsevier Advanced Technology. Oxford. Inglaterra. 1998.

ODIAN, George G. *Principles of Polymerization*. 3rd. Ed. John Wiley. Nova York, EUA, 1991.

STICKLEN, M. (2008). Plant genetic engineering for biofuel production: toward affordable cellulosic ethanol. *Nature reviews genetics*. v.9, p. 4