



RESISTÊNCIA MECÂNICA DA FIBRA VEGETAL MERCERIZADA DA CANA DE AÇÚCAR E BAMBU

R. Outa^{1*}, F. R. Chavarette², M. J. Q. Louzada³

¹ FATEC – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Biocombustíveis, , Araçatuba, SP, Brasil

² UNESP - Univ. Estadual Paulista, Departamento de Matemática, Ilha Solteira, SP, Brasil

³ UNESP – Univ. Estadual Paulista, Departamento de Veterinária, Araçatuba, SP, Brasil.

Article history: Received 26 July 2016; Received in revised form 28 August 2016; Accepted 30 August 2016; Available online 29 September 2016.

RESUMO

Atualmente a junção das fibras sintéticas e naturais tem sido aplicadas em diferentes áreas, e devido as questões ambientais, alguns pesquisadores tem direcionado seus estudos para aplicações com fibras naturais em indústria têxtil, construção, plásticos e até automotivo. Este interesse é reforçado ainda pela redução de custos, conseqüentemente os preços de venda ao consumidor. A motivação deste trabalho de pesquisa é advinda dos estudos anteriores deste autor, cujo material triturado do bagaço da cana foi utilizado para fabricação de um compósito com aglutinante oriundo do subprocesso de uma usina de açúcar e álcool. Assim, este trabalho de pesquisa tem como objetivo analisar as características de resistência mecânica a tração e o módulo de elasticidade das fibras de cana de açúcar e de bambu, o qual, ambas as fibras cortadas transversalmente a linha fibrosa com aproximadamente 150,0 mm, foram mercerizadas em NaOH a solução de 10%. Os resultados finais dos testes dos ensaios mecânicos, de ambas as fibras, mostram resultados similares a materiais de alto impacto e materiais de alta e baixa densidade, com a condição de que a fibra de bambu tem uma maior resistência a tração que a fibra de cana, podendo neste caso, esta diferença, ser devida a quantidade de xilema de função estrutural e até mesmo a concentração de lignina na região.

Palavras-chave: acústica; resistência mecânica; fibras vegetais

MECHANICAL STRENGTH OF FIBER VEGETABLE MERCERIZED OF SUGAR CANE AND BAMBOO

ABSTRACT

Currently the addition of synthetic and natural fibers has been applied in different areas, and due to environmental issues, some researchers have focused their studies for applications with natural fibers in the textile industry, construction, plastics and even automotive. This interest is further enhanced by reducing costs, hence the consumer selling prices. The motivation of this research is arising from previous studies of this author, whose crushed material from sugarcane bagasse was used to manufacture a composite binder originating from the sub-process of a sugar mill and alcohol. Thus, this research aims to analyze the mechanical strength characteristics of the traction and the elastic modulus of sugar cane and bamboo fibers, which, both transversely cut fibers fibrous line with about 150.0 mm, They were mercerized in a NaOH 10% solution. The final test results of mechanical tests of both fibers,

* roberto.outa@gmail.com

show similar results to high impact materials and high materials and low density, with the proviso that the bamboo fiber has a higher tensile strength than the cane fiber, in which case, this difference is due to the structural feature amount of xylem and even the concentration of lignin in the region.

Keywords: acoustic; mechanical resistance; vegetable fibers

INTRODUÇÃO

As fibras naturais são materiais de origem animal, mineral ou vegetal (ALBINANTE et al, 2013). As fibras de celulose são abundantes, ricas em celulose e fáceis de processar, cujas formação da fibra tem características de materiais vivos e mortos, dependendo da idade da planta e da localização da extração, (HODZIC, SHANKS, 2014). Elas contêm tubos microscópicos compostos por paredes de células ao redor do lumen central, que contribui para a absorção de água (RUDALL, 2007). A fibra vegetal elementar tem tipicamente uma única célula de comprimento de 1 a 50 mm, e diâmetro de 10 a 50 µm. A constituição da fibra vegetal é feita por várias paredes celulares formadas à partir do reforço de microfibras de celulose semi-cristalinas, justapostas em forma matricial de hemicelulose e lignina de diferentes composições, (KALIA et al, 2011; RUDALL, 2007). Albinante et al (2013) define que essas fibras são constituídas de células alongadas e entrelaçadas, compostas de celulose (40% a 90% em massa de fibra) responsável pela resistência das fibras; hemicelulose (1% a 30% em massa da fibra) que é uma variedade de moléculas complexas; pectina; lignina (1% a 35% em massa de fibra) que é uma macromolécula formada por um sistema aromático; e extrativos formado por gorduras, proteínas e sais inorgânicos. As fibras entrelaçadas têm características que estão ligadas as propriedades como densidade, tensão, modulo de alongamento de ruptura.

As fibras vegetais, de um modo geral, têm grande importância econômica, pois podem ser aplicadas em diferentes setores como as indústrias

automobilísticas, aeroespacial, alimentos, construção civil, entre outras. Cada setor industrial processa as fibras de maneira mais adequada para a fabricação do seu produto, tornando-as de fácil uso e aplicação. Diferentes pesquisas são desenvolvidas com o objetivo de melhorar o aproveitamento das fibras vegetais para a utilização em escala industrial, no caso da fibra da cana, as cinzas e fibras do bagaço da cana são utilizados como agregado em concretos e argamassas (ROMEL et al, 2014), e na indústria sucroalcooleira é utilizado como combustível para caldeiras, considerado um subproduto; já a fibra de bambu tem aplicações diversas como fonte de alimento, matéria-prima renovável e energia regenerativa, (LIESE, KOHL, 2015).

A região de São Paulo é favorecida pelo plantio de cana de açúcar e também compõe a maior quantidade de usinas sucroalcooleiras espalhadas por regiões. Já o bambu tem como principal característica a fácil adaptação e crescimento rápido em um habitat florestal, sendo considerado como a planta de maior crescimento rápido no mundo, (LIESE, KOHL, 2015).

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento e características da resistência mecânica e obter o módulo de elasticidade das fibras mercerizadas de cana de açúcar e bambu.

Mercerização das Fibras Vegetais

Albinante et al. (2013), explica que a compreensão das características dos diferentes tipos de fibras e da sua composição química auxiliam na escolha do tipo de tratamento superficial que a fibra deverá ser processada, cujo tratamento e preparação da superfície de

um material tem grande relevância no aspecto da adesão e adesividade dos materiais de fibras naturais e compósitos.

A adição de tratamentos químicos, como o tratamento alcalino de NaOH tem sido aplicado na superfície da fibra da cana, a princípio para remoção de impurezas superficiais, como também para a extração do álcool de segunda geração, e até mesmo na melhora para ração animal, explica (EBNESAJJAD, 2014, CAMPOS et al, 2010, PIRES et al, 2006).

Ebnesajjad (2014) cita alguns métodos de limpeza de superfície como método de desengraxamento, por abrasão, e tratamento químico. O método do desengraxamento remove traços de óleo e graxas contidos na superfície da fibra, que pode ser feito através da imersão da fibra em um solvente de tricloroetileno, percloroetileno vaporoso, ou hidrocarbonetos. Pode-se até utilizar um detergente simples dissolvido em água. O método por abrasão consiste em diminuir a rugosidade de uma superfície, polindo-a com um material abrasivo, cujo objetivo é o aumento da área de contato entre as partes. O método por tratamento químico obtém a máxima resistência da fibra, e a resistência a deterioração, considerando que a quantidade devida da solução, o tempo de exposição da fibra nas soluções químicas estejam de acordo com os procedimentos padrões.

“A mercerização, tratamento alcalino, é, provavelmente, o mais popular processo de modificação de fibras naturais”, (ALBINANTE et al, 2013). Este processo pode ser entendido como o tratamento da fibra de celulose imersa em uma solução fria, de concentração alcalina caústica, e posteriormente lavada em água corrente. As fibras vegetais têm um aumento na resistência a tensão e na rugosidade da superfície da fibra, melhorando a aderência mecânica, (PATEL, VASHI, 2015; ALBINANTE et al, 2013).

No processo de mercerização, dependendo da solução alcalina, quando processada, deve ter parâmetros a serem

controlados, como a temperatura e o tempo de duração do tratamento, e para que tenhamos uma melhor interação adesiva-física entre dois materiais, pode ser inserida uma matriz polimérica, cuja função é a de ancoragem mecânica na fibra. Neste tratamento alcalino a quantidade de celulose amorfa aumenta, em presença da água, a estrutura celulósica sofre inchamento alterando a sua cristalinidade, (ALBINANTE et al, 2013).

Propriedades Mecânicas em Materiais

O conceito das propriedades mecânicas dos materiais geralmente são: o conceito do módulo de elasticidade, conceitos de fratura, fadiga do material, e também informações da análise de flexão de vigas, entre outros. As forças físicas atuantes sobre a superfície de uma figura, o paralelepípedo, serão as forças de tração e/ou compressão, cisalhamento, forças tangenciais (momento torsor), e clivagem, (POCIUS, 2012). As forças incidentes na superfície do material, principalmente a força de cisalhamento tem grande importância nos testes de performance dos materiais com adesivos aglutinantes, sendo que a maioria dos adesivos aglutinantes são especificamente desenvolvidos para aplicações específicas das forças envolvidas. A força de clivagem tem relação direta com materiais anisotrópicos, o qual tem relação direta com a cristalinidade do material e dos possíveis nós na direção do alongamento da fibra, (POCIUS, 2012). A força de tensão pode ser calculada como,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

sendo σ a tensão resultante da força aplicada no material, F a força aplicada no material, e A a área da secção transversal do material. O alongamento também pode ser calculado, assim,

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2)$$

e ε é a deformação elástica, l o comprimento alongado, e l_0 é o comprimento original. Através deste equacionamento é possível parametrizar informações de diferentes materiais e mostrá-las em um gráfico tensão-deformação. A tensão de cisalhamento pode ser calculada como,

$$\tau = \frac{E}{2.(1+\nu)} \quad (3)$$

onde τ é a tensão de cisalhamento, E é o módulo de Young, ν é o coeficiente de Poisson de um material homogêneo e isotrópico. Pocius (2012) comenta ainda que na adesividade os materiais têm comportamento físico similar ao conceito de deformação de vigas, portanto, qualquer modelo físico que possa se enquadrar nesta condição, pode ser calculado matematicamente utilizando diferentes conceitos, como o conceito de resistência de materiais por Timoshenko.

Ensaio Mecânico

Souza (2011) define que os ensaios mecânicos dos materiais são considerados procedimentos padronizados que compreendem testes, cálculos, gráficos e até consultas a tabelas, em conformidade com normas técnicas específicas para este fim. O procedimento é realizado pela aplicação, em um material específico, considerando a aplicação de esforços como

tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento, entre outros. Estes ensaios podem ser realizados em protótipos, em produto final, e/ou em corpos de prova específicos, cujo resultado é a determinação da propriedade mecânica do objeto em estudo. A maioria dos ensaios mecânicos são destrutivos, caracterizados pelos procedimentos de tração, dobramento, flexão, torção fadiga, impacto, compressão entre outros, cuja condição final do corpo de prova é ruptura ou inutilização do material. Enquanto que no ensaio mecânico não destrutivo são determinadas as propriedades físicas e falhas internas de um determinado material, especificamente o metal.

Em específico neste trabalho será utilizado a norma ASTM C1557-14 como referência principal e normativas para os testes de ensaios mecânicos na fibra de cana e bambu. A norma C1557 – 14, *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*, é um método trabalha a fibra individual a temperatura ambiente, obtidas à partir de um feixe de fibras, considerando a preparação, montagem e testes destas fibras, determinando a resistência a tração e o módulo de Young. Podendo ainda ser utilizada em materiais de cerâmica avançada, vidro, carbono e outras fibras abrangidas por este padrão de teste.

MATERIAIS E MÉTODO

As fibras naturais de cana e bambu, foram cortadas transversalmente a linha fibrosa, com aproximadamente 150,0 mm, e imersas por 36 horas na solução de NaOH com concentração a 10%, e após, foram separadas considerando um diâmetro aproximado de 2,00 mm. Posteriormente a este processo, com a fibra seca, foram feitos os testes de ensaio mecânico para obtenção dos resultados de resistência mecânica e o módulo de elasticidade, e também a superfície de

ambas as fibras foram observadas em um microscópio ótico de aproximação de 200 μm . Na sequência, as fibras foram submetidas a uma análise qualitativa por meio de fotografias, cuja máquina Skycon 1272-Bruker, executa a microtomografia computadorizada de alta resolução. Os testes de ensaio mecânico e a microtomografia computadorizada foram feitas no laboratório de materiais da UNESP Faculdade de Odontologia – FOA, campus Araçatuba.

Processo de Mercerização da Fibra Vegetal – Cana de Açúcar e Bambu

A princípio foi feito um experimento com diferentes tipos de concentrações de solução de $NaOH$ para se obter a melhor condição de desfibramento mecânico, e assim, as soluções de concentração de $NaOH$ foram de 10%, 15%, 20% e 25%, cujo melhor resultado para o desfibramento foi o de 10%. Portanto todos os desenvolvimentos experimentais seguintes que utilizaram o processo de mercerização foram feitos baseando-se na

solução a 10% com o tempo de imersão de 36 horas. A figura 1 representa a experimentação das diferentes soluções de concentrações de $NaOH$, no lado esquerdo e direito, as fibras de cana e bambu, estão inseridas na solução de $NaOH$ respectivamente. As soluções têm a mesma quantidade de fibras vegetais, com a massa aproximada de 20g em cada solução, e justapostas da esquerda para a direita, com 25%, 20%, 15%, e 10%, tanto para as fibras de cana e bambu.



Figura 1. Fibra de cana do lado esquerdo e fibra de bambu do lado direito

Observa-se que a solução que contém a fibra da cana é mais escura que a solução que contém a fibra de bambu. O processo de mercerização da fibra de cana e de bambu inicia-se depositando as amostras das fibras vegetais de cana e

bambu com tamanho aproximado de 150,0 mm na solução de $NaOH$ com concentração a 10%, em invólucros separados, por 36 h. A figura 2 mostra a solução de $NaOH$ após as fibras imersas por 36 h.

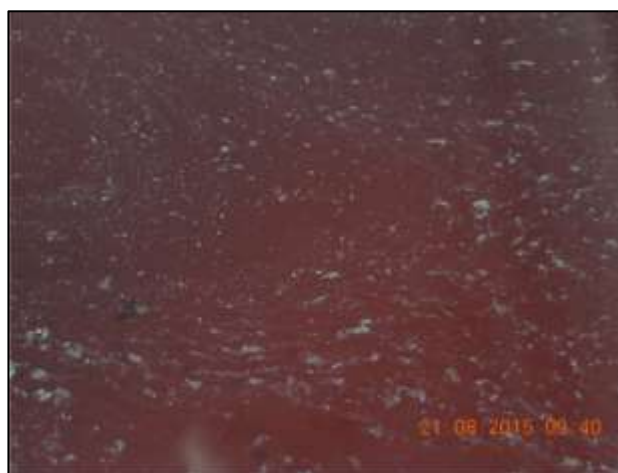


Figura 2. Solução de $NaOH$ após imersão das fibras.

Nota-se que a solução, após a imersão das fibras vegetais podem ser

compostas por diferentes compostos ou componentes químicos e biológicos, o

qual, chamaremos de resíduo da solução. Na superfície deste resíduo é possível observar pequenas manchas cinzas, consideradas as impurezas oriundas da limpeza superficial da fibra. As fibras, após a mercerização, foram retiradas da

solução e lavadas repetidamente em água corrente até eliminar todo o excesso da solução de NaOH. A figura 3 mostra as fibras de cana no lado esquerdo, e a de bambu no lado direito após a mercerização.



Figura 3. Lado esquerdo é a fibra de cana, lado direito a fibra de bambu

No trabalho de Outa (2014) as fibras de cana utilizadas foram as do próprio bagaço triturado no processo de fabricação

de etanol. A figura 4 mostra o resultado da fibra triturada, do lado esquerdo a fibra de cana, e do lado direito a de bambu.



Figura 4. Fibra triturada do lado esquerdo a fibra da cana, do lado direito a de bambu.

Ensaio Mecânico Destrutivo da Fibra Mercerizada da Cana e do Bambu

O experimento de ensaio mecânico destrutivo se baseou na norma ASTM C1557 – 14 *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*. A máquina de ensaio mecânico

utilizada é de marca EMIC DL-3000 com capacidade de carga de 30 KN, para tração e compressão, composta ainda do conjunto de fixadores, célula de carga, e software específico para testes. A figura 5 mostra a máquina utilizada com a célula de carga acoplada em seu conjunto original.



Figura 5. Máquina de Ensaio Mecânico Destrutivo

As amostras das fibras vegetais de bambu e de cana de açúcar, por terem sido submetidas ao processo de mercerização, e após, terem sido desfibradas manualmente, tem formas irregulares, assim, na separação das amostras para o teste de ensaio mecânico, foram separadas as que continham as formas próximas as regulares e também com diâmetros próximos. Portanto, as fibras separadas de bambu e de cana de açúcar tem um diâmetro aproximado de 2,0 mm e um comprimento também aproximado de 150,0 mm.

O teste experimental de ensaio mecânico destrutivo consiste em fixar e posicionar a fibra vegetal em pinças específicas, sendo que, as mesas fixadoras com as pinças têm a parte inferior fixa e a parte superior móvel. Com isso, a parte móvel é deslocada verticalmente no sentido para cima, tensionando a fibra vegetal, com o deslocamento a cada 1,0 mm, seguindo até o seu rompimento. A figura 6 mostra a pinça utilizada neste experimento.



Figura 6. Dispositivo de Fixação da fibra vegetal

Observa-se que a fixação da fibra será feita utilizando um mandril, o qual é preso longitudinalmente, aumentando a superfície de contato do dispositivo fixador com a fibra, e não esmagando a fibra em um único ponto qualquer. A utilização de outras pinças especificadas na norma e do fornecedor do equipamento, causaram o rompimento da fibra vegetal seca no ajuste

da fixação. Assim que posicionado a fibra no interior das castanhas, que compõem ao total de 3 pinças, são calibrados os parâmetros do experimento, e zerados os dados de força (N) e deslocamento (mm), no próprio software, e assim, iniciado os testes, capta-se as informações de força (N), deslocamento (mm), e tempo (s). A figura 7(a) e 7(b), mostram as fibras de

bambu e cana após o teste de tração, o qual segundo a norma ASTM C1557-14, item 4.3, determina a validade do teste, quando o rompimento da fibra não ocorre na região de aperto. Observa-se que, na figura

7(a) e 7(b), a região que ocorreu o rompimento da fibra de bambu e de cana é distante da região de aperto ou fixação nas pinças.



Figura 7(a). Rompimento da Fibra de Bambu



Figura 7(b). Rompimento da Fibra de Cana

Na fixação da fibra com as castanhas da pinça, foram tomados cuidados específicos para não prejudicar a fibra vegetal, considerando o alinhamento entre centros dos dispositivos de fixação, e evitando a ação de qualquer tipo de forças coaxiais, no sentido da tensão da fibra.

O erro amostral foi feito utilizando o teorema de cálculo amostral finito, considerando que foram medidos 732 pontos, e que seriam necessários 566 pontos de medições, para garantir 95% de

confiança, cujo erro é de 2%. Assim, sabendo-se que ocorre o comportamento da variação da força pelo deslocamento durante o experimento, foi possível considerar que o tamanho da amostra tem um erro de 2%. A tabela 1 mostra o desvio padrão e variância dos dados do experimento, sendo A os pontos medidos de deslocamento; B a média dos valores medidos do deslocamento; C a variância; D o desvio padrão.

Tabela 1. Variância e desvio padrão

Variança e Desvio Padrão					
Fibras	Caract.	A	B	C	D
Bambu	Fibra seca	732	4,873	0,385	0,620
Cana	Fibra seca	732	1,269	1,096	1,047

Abordagem Qualitativa dos Testes com a Microtomografia da Fibra Vegetal

As fibras de cana e de bambu utilizadas nos testes, foram colocadas em um equipamento de nome Skycon 1272-Bruker que é um sistema de microtomografia computadorizada de alta resolução, cujo objetivo desta atividade fotográfica, é mostrar a parte interna das fibras de cana e bambu após os testes de ensaio mecânico, sendo que, as amostras têm diâmetro aproximado de 2,0 mm com

comprimento entre 40,0 mm a 50,0 mm na região de rompimento. Cada amostra é fixada em uma massa específica no interior do equipamento, para que se inicie a microtomografia. A figura 8(a) mostra uma das amostras inseridas no dispositivo do equipamento para o início da captação da imagem, o qual desta maneira, realizou-se a microtomografia para ambas as fibras de cana e bambu, e a figura 8(b) mostra o detalhe da fixação da fibra.



Figura 8(a). Fixação da fibra no Skycon 1272-Bruker



Figura 8(b). Detalhe da fixação da fibra no Skycon 1272-Bruker

Cada amostra da fibra mercerizada, na microtomografia computadorizada, teve a composição microtomográfica diferente, sendo de $10,0 \mu\text{m}$ e $8,0 \mu\text{m}$, para a fibra da cana e de bambu respectivamente. Ambas

foram trabalhadas com rotação de $0,5^\circ$ com três frames. Esta diferença ocorreu para a melhora da qualidade na imagem, que pode ser entendida como uma adequação de resolução da imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da Superfície das fibras de Cana e Bambu com microscópio ótico de $200 \mu\text{m}$

As figuras 9(a) e (b) são as fibras de cana e bambu, respectivamente, sem

tratamento superficial, e as figuras 9(c) e (d) são as fibras de cana e bambu, respectivamente, com tratamento superficial ou mercerizadas com *NaOH*.



Figura 9(a). Fibra da cana



Figura 9(b). Fibra de bambu



Figura 9(c). Fibra de cana mercerizada



Figura 9(d). Fibra bambu mercerizada

Observa-se que as fibras sem o tratamento químico de *NaOH*, de uma forma geral, tem uma superfície fibrosa sólida e rígida, enquanto que, após o tratamento químico, as fibras mostram-se mais transparentes e nota-se que as junções das fibras da cana são diferentes das de bambu. As fibras da cana têm junções combinadas, de formatos irregulares, justapostas uma ao lado das outras, escamadas, tornando-se assim uma continuidade longitudinal, enquanto que, a fibra de bambu tem aparência de um único filamento contínuo formando uma fibra longitudinal.

Análise dos Testes de Ensaio Mecânico das Fibras de Cana e Bambu

Através do teste de ensaio mecânico foi possível observar o comportamento das fibras amostradas nos testes de ensaio mecânico. A figura 10 mostra o comportamento da força aplicada em Newtons, pelo deslocamento em milímetros, sendo que FBambu significa a fibra de bambu, e FBambu1, 2 e 3, as respectivas amostras utilizadas nos testes de ensaio mecânico. Já FCana1, 2 e 3, são as fibras de cana, e correspondentes as respectivas amostras utilizadas nos testes.

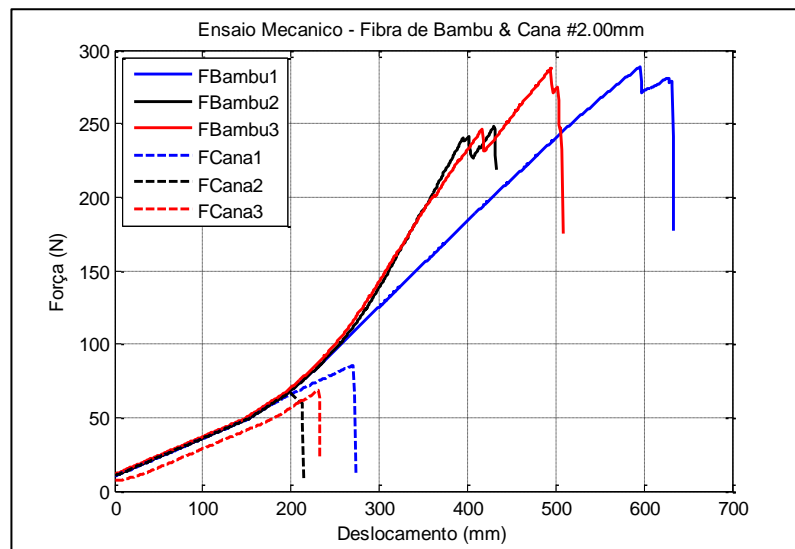


Figura 10. Comportamento das fibra de bambu e cana

Analisando o comportamento das fibras de cana, foi possível notar que a força aplicada está entre 50,0 N e 100,0 N, e o deslocamento entre 200,0 mm e 300,0 mm. Convertendo o milímetro para metro, o resultado da unidade é Newton metro (Nm) ou joule (J), o trabalho realizado está entre 10 J e 30 J. Já na análise do comportamento da fibra de bambu, a força

está entre 200,0 N e 300,0 N, e o deslocamento está entre 400,0 mm e 650,0 mm, equivalente a 80 J e 195 J. Assim, a tabela 2 mostra o resultado do módulo de elasticidade, tensão de resistência a tração, e a deformação elástica das fibras de cana e bambu, obtidas no teste de ensaio mecânico.

Tabela 2. Módulo de Elasticidade

Fibras	Caract.	F (N)	τ (MPa)	E (Gpa)
Bambu	Fibra seca	288,08	91,68	3,1
Cana	Fibra seca	85,60	27,24	1,0

Na tabela 2, F é a força de tração (N), τ é a tensão de cisalhamento (MPa), E é o módulo de elasticidade (GPa). A deformação elástica da fibra de bambu ϵ_b é 0,02970, e a da fibra de cana ϵ_c é 0,02609.

Observa-se ainda, na figura 10, que a energia dispendida nas fibras de cana e bambu, tem o mesmo comportamento para ambas, referenciadas do início do teste até aproximadamente 11 J.

Abordagem Quantitativa dos Testes com Outros Materiais

Com o ensaio mecânico, foi possível obter os dados do módulo de elasticidade das fibras de cana e de bambu, e a tensão de resistência a tração, sendo que ambas as

informações, são importantes para a produção de compósitos. Ainda, através dos resultados gráficos foi possível estabelecer uma condição do comportamento de energia aplicada para cada tipo de fibra, e quando comparadas as fibras de cana e de bambu, observou-se que, dada uma certa região, de 10,0 N a 100,0 N, ambas as fibras têm comportamento similar quanto ao ângulo formado da tensão x deslocamento. Esta condição difere para cada fibra, na condição de que cada fibra tem uma tensão específica até o seu rompimento.

Também foi possível observar que a força de rompimento da fibra da cana é inferior ao de bambu, o qual nos mostra

antecipadamente que, para o material de fibra de cana e de bambu, ambas podem ter aplicações distintas e direcionadas para cada necessidade, possibilitando a montagem de materiais compósitos fibrosos combinados entre eles, e até com materiais que promovem a adesão.

A tabela 3 mostra um comparativo dos resultados do módulo de elasticidade e resistência a tensão obtidos neste trabalho e dos autores Stokke et al. (*), Chung (**), e por fim Benini (***).

Tabela 3. Análise Qualitativa do Ensaio Mecânico em outros materiais

Material	Referência	τ (MPa)	E (Gpa)
Fibra Bambu	Fibra seca	91,7	3,1
Fibra Cana	Fibra seca	27,2	1,0
Algodão	(*)	287-597	5,5-12,6
Juta	(*)	393-773	27,6
P_{bd}	(**)	-	0,2
P_{ad}	(**)	-	1,3
HIPS/10FBM	Matriz de Polietileno de alto impacto – fibra de bagaço mercerizada FBM (***)	25,1	3,5
HIPS/10FCM	Matriz de Polietileno de alto impacto – fibra de côco mercerizada FCM (***)	24,5	3,2

Na tabela 3, o P_{bd} é o polietileno de baixa densidade, e P_{ad} é o polietileno de alta densidade, HIPS/10FBM é a código para matriz de polietileno de alto impacto da fibra da cana mercerizada, e HIPS/10FCM é a matriz de polietileno de alto impacto da fibra de côco mercerizada.

Observa-se que a tabela 3 mostra os resultados encontrados do módulo de elasticidade da fibra de cana e bambu, de uma forma geral, está abaixo dos itens 3 e 4, referente ao trabalho de Stokke et al. Porém, se analisarmos somente o módulo de elasticidade da fibra de bambu, este é

muito próximo ao item 7 e 8, referente ao trabalho de Benini. Já na análise do módulo de elasticidade da fibra de cana de açúcar este é próximo ao resultado do item 6 e superior ao item 5, referente ao trabalho de Chung.

Abordagem Qualitativa dos Testes com a Microtomografia da Fibra Vegetal

O resultado da microtomografia das fibras de cana e bambu mercerizadas, após o teste de ensaio mecânico, pode ser mostrada nas figuras 11 (a), (b), (c), e (d).

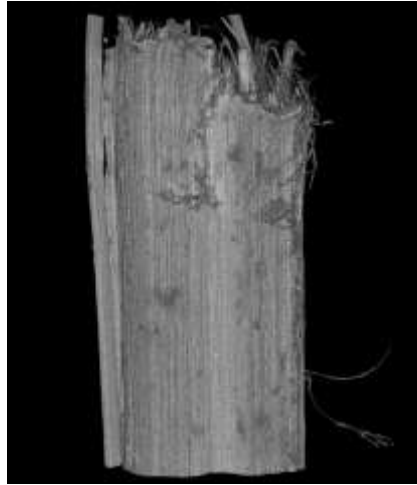


Figura 11 (a). Fibra de Bambu com vista lateral

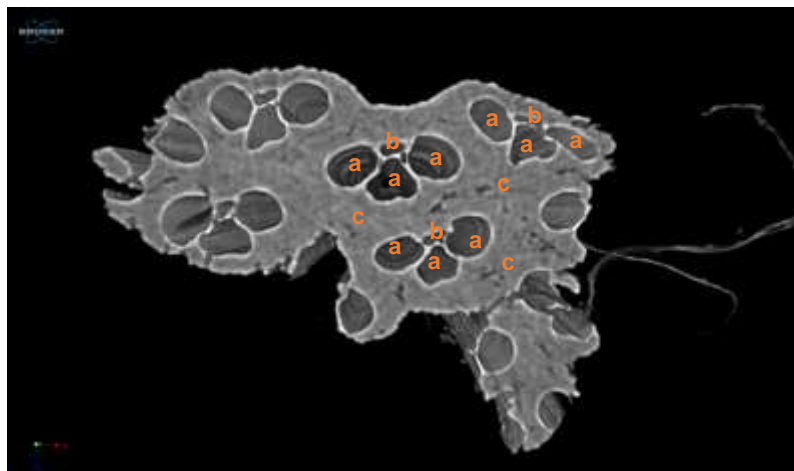


Figura 11 (b). Fibra de Bambu com corte transversal

Observa-se na figura 11 (b) que a letra *a* representa o xilema, cuja função principal é a condução de água e é formada pelo protoxilema e metaxilema; *b* representa a tilose, cuja função, de uma forma geral, pode ser entendida como uma barreira que neutraliza a propagação de fungos e outros patógenos no crescimento

vertical; *c* é a região que representa o parênquima que compõe a maior parte das partes moles da planta. No trabalho de Ito et al (2015) é possível observar com clareza os detalhes do colmo em corte representando os xilemas, tilose e parênquima, como os encontrados neste trabalho.



Figura 11 (c). Fibra da cana com vista lateral

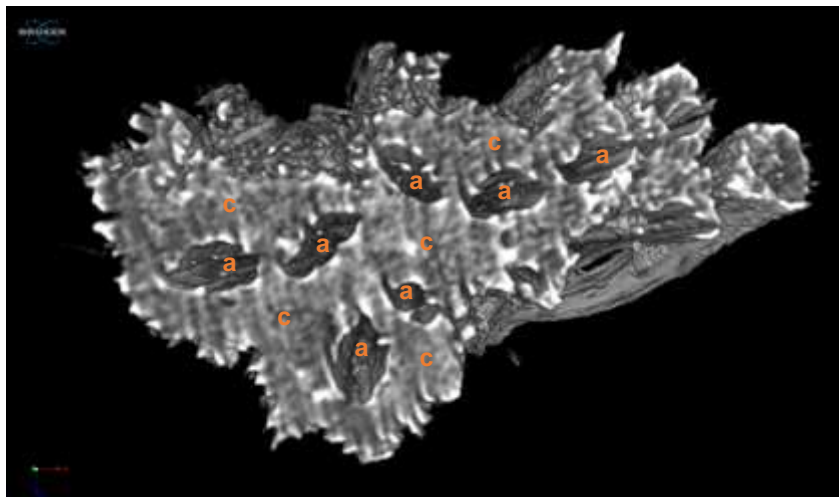


Figura 11 (d). Fibra da cana com corte transversal

Já na figura 11 (d) observa-se que a quantidade de xilema é menor que na fibra de bambu, tendo a região do parênquima de maior abrangência. No trabalho de Isaaca (2013) é possível observar o detalhamento das fibras de cana de açúcar e sua similaridade com figura encontrada neste trabalho.

Portanto, de uma forma geral, os resultados encontrados do módulo de elasticidade da fibra de cana e bambu mercerizadas tem representatividade quando comparados a um material de alto impacto, como o apresentado por Benini (2011), e também, é representativo quando comparado ao material de alta e baixa

densidade apresentado por Chung (2010). Já quando o módulo de elasticidade da fibra da cana e bambu é comparado ao do algodão e juta, nota-se que é inferior aos encontrados por Stokke (2014).

Um dos motivos da resistência a tração da fibra de bambu ser maior que a da cana pode ser entendido utilizando os conhecimentos de Rudall (2007), pois através dos resultados da microtomografia da fibra de bambu, nota-se que a quantidade de xilema, que tem função estrutural, é maior que a da fibra da cana, e que, assim também, a concentração de lignina nesta região possa ser maior que em outras áreas da planta.

CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que o objetivo deste trabalho de pesquisa foi atingido, quando se observa que os resultados encontrados do módulo de elasticidade das fibras de cana e bambu mercerizadas, podem ser utilizadas em aplicações diversas como utensílios domésticos, brinquedos, entre outros. Este material também pode ter um direcionamento específico, como na engenharia acústica, o qual, as fibras de cana e bambu são transformadas em um painel absorvedor sonoro, cujas propriedades mecânicas do módulo de elasticidade tem a finalidade de servir como parâmetros, e assim, pode ser confeccionado um material de tamanho específico, que resista a fadiga, e também, que atue na dissipação da energia acústica por meio de vibração.

REFERÊNCIAS

- ALBINANTE, S.R. et al, Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. Química Nova, Vol. 36, No. 1, 114-122, 2013.
- BAKKER, H., Sugar cane cultivation and management, Springer Science+Business Media, New York. 1999. 691 p.
- BENINI, K. C. C. C., Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: hips/fibra da casca de côco verde e bagaço de cana de açúcar, Guaratinguetá, 2011, 125 p. Dissertação (Dissertação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, 2011.
- CAMPOS, A. et al, Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico, policaprolactona, sisal. Polímeros, v. 21, n.3, São Carlos, 2011.
- CHUNG, D.D.L., Composite Materials: Science and Applications, 2nd Edition, Springer-Verlag, London, 2010. 358 p.
- EBNESAJJAD, S., Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding, Elsevier, Waltham, USA, 2014. 337 p.
- HODZIC, A., SHANKS, R, Natural Fibers Composites Materials, processes and properties, Woodhead Publishing, Philadelphia, USA, 2014. 401 p.
- ISAACA, A., SKETC,F., DRIEMEIERB, C., ROCHAB, G.J.M., 3D imaging of sugarcane bagasse using X-ray microtomography, Industrial Crops and Products - Elsevier, v. 49, n.1, p. 790-793, 2013.
- ITO, R., MIYAFUJI, H., KASUYA, N., Rhizome and root anatomy of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) observed with scanning electron microscopy, Journal of Wood Science, v.61, r.4, p. 431-437, 2015.
- JWEEG, M.J. et al, Experimental and Theoretical Studies of Mechanical Properties for Reinforcement Fiber Types of Composite Materials. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, IJMME-IJENS v.12 n.04, Aug 2012.
- KALIA, S., et al, Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites Green Chemistry and Technology, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011. 758 p.
- KOIZUMI, T. et al, A. The development of sound absorbing materials using atural bamboo fibers. In: BREBBIA, C. A.; WILDE, W. P. de. (Eds.). High performance structures and composites. Southampton: WIT Press, 2002. 10 p.
- LIESE, W., MICHAEL KOHL, M., Bamboo - The Plant and its Uses, Springer International, Switzerland, 2015. 362 p.
- MARINHO, N.P., et al, ANÁLISE QUÍMICA DO BAMBU-GIGANTE, Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 413-418, abr. 2012.

MULINARI, D.R., Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar, Guaratinguetá, 2009, 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, 2009.

OUTA, R., Estudo e Análise do Coeficiente de Absorção Acústico do Compósito da Fibra da Cana, Ilha Solteira, 2014, 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, 2014.

PASQUINI, D., et al, Surface esterification of cellulose fibres: Processing and characterisation of low-density polyethylene/cellulose fibres composites. *Composites Science and Technology*, *Composites Science and Technology* 68 193–201, Feb 2007.

PATEL, H., VASHI, R.T., *Characterization And Treatment Of Textile Wastewater*, Butterworth Heinemann is an imprint of Elsevier, Waltham, USA, 2015. 174 p.

PEREIRA, P.H.F., et al, Sugarcane bagasse pulping and bleaching: thermal and chemical characterization, *BioResources*, v. 6, n. 3, p. 2471-2482. 2011.

PIRES, A.J.V. et al, Bagaço de cana-de-açúcar tratado com hidróxido de sódio, *Revista Brasileira Zootecnia*, v.35, n.3, p.953-957, 2006.

POCIUS, A.V., *Adhesion and Adhesives Technology An Introduction*, Hanser Publications, Ohio, USA, 2012. 388 p.

ROMEL, D.V. et al. Cinza do bagaço da cana de açúcar como agregado em concretos e argamassas. *Revista Eletrônica em Engenharia Civil*, Goiânia, v. 8, n. 1, 2014.

RUDALL, P.J., *Anatomy of Flowering Plants*, Cambridge University Press, New York, 2007. 159 p.

STOKKE, D.D., WU, Q., HAN, G., *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites*, John Wiley & Sons, 1^a Edition, United Kingdom. 2014. 315 p.

SOUZA, S.A., *Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos*, 11^a. Edição, Edgar Blucher, São Paulo, Brasil, 2012. 286 p.