



ESTUDO DA INTERAÇÃO FIBRA-MATRIZ EM COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS

Gilberto García del Pino¹, Antonio Claudio Kieling¹, José Costa de Macêdo Neto², Jose Luis Valin Rivera³, Marcos Dantas dos Santos¹, Maria das Graças da Silva Valenzuela⁴, Francisco Rolando Valenzuela Díaz⁴

Resumo

Está aumentando a utilização de fibras vegetais como agentes de reforço em materiais compósitos poliméricos em substituição de fibras sintéticas como fibras de vidro ou fibras de carbono devido às boas propriedades mecânicas e baixa densidade entre outras propriedades. Neste trabalho é feita uma avaliação de compósitos de matriz de resina epóxi e fibras vegetais, cuja fibra é extraída das folhas de uma planta da região amazônica chamada curauá (*Ananas erectifolius*). O objetivo do trabalho foi estudar a interação entre a fibra de curauá e a resina visando uma maior colagem da fibra na matriz e com isso incrementar as propriedades mecânicas do compósito. Os tratamentos para melhorar a molhabilidade das fibras foram a base de hidróxido de sódio variando a concentração e o tempo de permanência das fibras nas dissoluções. As fibras depois de tratadas foram avaliadas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para comparar os resultados dos tratamentos em relação a separação das fibrilas e a rugosidade das superfícies das fibras, cujos resultados foram comparados depois com os resultados dos ensaios de tração e de micro-teste de tração. Para realizar o trabalho foi desenhado e construído um molde composto por varias cavidades fêmeas e machos com dimensões padronizadas segundo as normas para ensaios mecânicos de tração de compósitos em matriz polimérica, sendo usinadas ranhuras finas paralelas longitudinais e transversais para colocar as fibras com precisão. Como resultado do trabalho, foi determinado como melhor tratamento a dissolução de hidróxido de sódio de a 5 % durante 4 horas de imersão, cujos valores de resistência a tração foram altos constando que esta fibra poderá no futuro substituir a fibra de vidro.

Palavras chaves: Compósitos, Curauá, Resina Epóxi.

Study of Fiber-Matrix Interaction In Composites With Vegetable Fibers - The use of vegetable fibers as reinforcing agents in polymer composites is being increased to replace synthetic fibers such as glass fibers or carbon fibers because of good mechanical properties and low density among other properties. In this work an evaluation of epoxy resin composites and vegetal fibers, whose fiber is extracted from the leaves of a plant of the Amazonian region called curauá (*Ananas erectifolius*), is made. The objective of this work was to study the interaction between the curauá fiber and the resin aiming at a greater bonding of the fiber in the matrix and with that increase the mechanical properties of the composite. Treatments to improve the fiber's wettability were based on sodium hydroxide by varying the concentration and the residence time of the fibers in the dissolutions. After treated fibers were observed in the Scanning Electron Microscope (SEM) to compare the results of the treatments in relation to the separation of the fibrils and the roughness of the fiber surfaces, the results of which were then compared with the results of the tensile and micro-

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-AM/Brasil

² Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-AM/Brasil

³ Departamento de Engenharia Mecânica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile

⁴ Departamento de Engenharia de Materiais e Metalurgia, Universidade de São Paulo São Paulo, Brasil



traction test. In order to carry out the work, a mold composed of several male and female wells with standardized dimensions according to the norms for mechanical tensile tests of polymeric matrix composites was made and constructed, and parallel longitudinal and transverse thin grooves were machined in order to place the fibers with precision. As a result of the work, the 5% sodium hydroxide dissolution was determined as the best treatment during 4 hours of immersion, whose tensile strength values were high, stating that this fiber could in the future replace the glass fiber.

Key words: Composites, Curaua fiber, Epoxi Resin.

1. Introdução

As Resinas Epoxi são um sistema termoendurecível muito utilizado na indústria devido ao seu baixo custo e adaptabilidade a serem transformadas em grandes estruturas compostas. O mais frequentemente reforço utilizado neste sistema são as fibras de vidro fornecidas como tecidos de várias orientações, formas e densidades (BALEY et al., 2016). Mais recentemente, a possibilidade de utilização de fibras lignocelulósicas como reforço em compósitos tem sido considerada (SPINACÉ et al., 2009). A utilização de fibras lignocelulósicas como agentes de reforço em materiais compósitos poliméricos em substituição de fibras sintéticas, como fibras de vidro ou fibras de carbono, está aumentando. Isto está ocorrendo devido às propriedades favoráveis das fibras naturais, em comparação à fibra de vidro, tais como: boas propriedades mecânicas, mais amigáveis ao meio ambiente, baixo custo, baixa densidade, não-toxicidade, nenhuma abrasão durante o processamento e reciclabilidade.

Conseqüentemente, há um aumento da motivação no uso dessas fibras por diferentes setores industriais, como o automotivo, para substituir as fibras de vidro.

Além destas propriedades físicas interessantes, as fibras vegetais são também um recurso natural renovável cultivável na maioria das áreas. Vale ressaltar que as condições de crescimento, a natureza do tratamento após a coleta, o tratamento químico posterior e até mesmo o tipo de fornecedores (cooperativas agrícolas, intermediários comerciais) são passos significativos na compra industrial de fibras vegetais. De acordo com a variabilidade natural das plantas, o controle da qualidade da fibra (geometria, defeitos) necessita ser realizado em numerosos lotes (BALEY et al., 2016).

Podem ser utilizadas várias fibras vegetais (linho, cânhamo, rami, kenaf, sisal, henequen, juta, curauá, coco, etc.) entre as quais as fibras de curauá são frequentemente utilizadas em materiais

compósitos reforçados (PINO et al., 2015, MOTHE e ARAÚJO, 2004). É bem conhecido que o desempenho mecânico de um material compósito depende fortemente da natureza e orientação das fibras e da natureza da matriz e também da qualidade da adesão entre os dois componentes.

As fibras lignocelulósicas são constituídas por três componentes principais: a celulose (40-75% em peso) a hemicelulose (10-25% em peso), e a lignina (5-15% em peso), que são conhecidas por apresentarem estruturas muito complexas (YANG et al., 2007). A celulose, que é a fração principal das fibras, é um polissacarídeo semicristalino constituído por ligações D-glucosídicas. Uma grande quantidade de grupos hidroxilo em celulose (três em cada unidade repetitiva) dá propriedades hidrofílicas às fibras naturais. A hemicelulose está fortemente ligada às fibrilas de celulose, presumivelmente por ligações de hidrogênio. Os polímeros de hemicelulose são ramificados, totalmente amorfos e têm uma massa molar significativamente menor do que a celulose. Devido à sua estrutura aberta contendo muitos grupos hidroxilo e acetilo, a hemicelulose é parcialmente solúvel em água e é higroscópica. As ligninas são polímeros amorfos, altamente complexos, principalmente aromáticos com unidades de fenilpropano, mas têm a menor sorção de água dos componentes de fibras naturais (LI et al., 2007).

O desempenho de materiais ecologicamente corretos reforçados com fibras depende de uma união interfacial coerente entre as fibras e a matriz. A literatura mostra algumas tentativas de melhorar a qualidade da ligação interfacial, no entanto, embora o tratamento químico seja conduzido para melhorar a separação de fibrilas individuais e a adesão com a matriz do compósito, podem ocorrer efeitos indesejáveis tais como perda de desempenhos mecânicos, destruição através de forte inchaço ou degradação da superfície (BISANDA e ANSELL, 1991). O tratamento químico é, portanto, um passo essencial

para o uso de fibras vegetais em materiais industriais, mas deve ser bem estudada a dosagem e o método correto para não comprometer a resistência do compósito, uma vez que a própria estrutura das fibras vegetais é complexa podendo ser comparada com um material compósito em si, formado por fibrilas de celulose embutidas em uma matriz de hemicelulose (BALEY et al., 2016).

As fibras naturais apresentam uma compatibilidade pobre com a matriz polimérica não polar e sorção relativamente elevada de humidade. Estes fatores afetam as propriedades mecânicas dos compósitos. A fim de melhorar a adesão da fibra polimérica e reduzir a absorção de água, a superfície da fibra pode ser modificada por métodos físicos ou químicos (LI et al, 2007).

Tentou-se melhorar a qualidade da ligação interfacial ao tratar-se as fibras vegetais com moléculas de silano ou isocianato sem qualquer melhoria do desempenho final dos compósitos, ao contrário do tratamento das fibras sintéticas (BALEY et al., 2016). Estes resultados demonstram que o problema da adesão fibra natural / polímero não pode ser resolvido usando as mesmas técnicas de dimensionamento que as envolvidas em fibras sintéticas.

O tratamento químico das fibras vegetais tem apresentado bons resultados na maioria dos trabalhos, melhorando a adesão da fibra à matriz e a separação das fibras entre si como pode ser observado no trabalho de (BALEY et al., 2016).., que observou que as fibras de linho elementares são, no estado natural, montadas em feixes de 10-40 fibrilas mantidas juntas por polissacarídeos (principalmente compostos de pectina) como apresentado na micrografia da Figura 1 (a). Para aplicações como reforço de compósitos, as fibrilas necessitam ser separadas individualmente para serem distribuídas homogêneas. As fibrilas de linho separadas por tratamento químico são mostradas na micrografia da Figura. 1 (b).

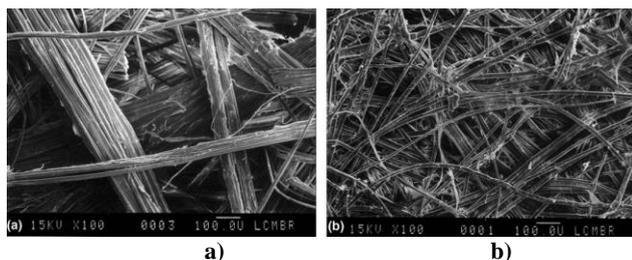


Figura 1. Micrografias MEV de fibras de linho: a) Fibrilas unidas em feixes; b) Fibrilas separadas após tratamento químico com NaOH (BALEY et al., 2016)..

O principal problema nas ligações adesivas é uma boa molhabilidade necessária para alcançar um contato interfacial extenso e adequado entre as fases adjacentes (RAMANATHAN et al., 2001). Uma boa molhagem pode melhorar a resistência adesiva aumentando o trabalho termodinâmico de adesão

No trabalho de Spinacé et al. (2009) com fibras de curauá foram feitos vários tratamentos: lavagem da fibra com água da torneira fria, uma outra parte tratada com uma solução aquosa de hipoclorito de sódio durante 5 h por imersão sem agitação (utilizando uma proporção em massa de solução de hipoclorito de sódio 15: 1: fibra) e um terceiro tratamento foi tratar as fibras de curauá durante 15 minutos com plasma de oxigênio frio num reator de quartzo (13,56 MHz, 30 W, 0,53 Pa). Ainda neste trabalho foi realizado um estudo morfológico das fibras de curauá utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliar as superfícies das fibras. As alterações na morfologia são importantes para prever a interação das fibras com a matriz polimérica em compósitos. Para a fibra de curauá natural sem tratamento (Figura 2a) observou-se uma superfície lisa e compacta, sem fibrilação. Para as fibras de curauá tratadas (Figura 2b), observou-se um aumento da rugosidade superficial e fibrilas na superfície. Conseqüentemente, ocorre um aumento da área superficial que pode resultar num aumento da aderência numa interface de matriz de fibra-polímero na produção de compósitos. Além disso, a densidade das fibras não foi afetada pelo tratamento, mantendo-se a densidade igual a 1100 Kg/m³, sendo inferior a densidade de outras fibras vegetais e inferior a fibra de vidro que é de 2500 Kg/m³.

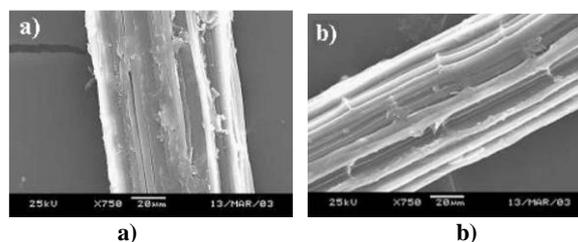


Figura 2: Micrografia das superfícies da fibra de curauá: a) Sem tratamento químico, b) Tratada com solução aquosa de hipoclorito de sódio (SPINACÉ, 2009).

Os tipos de tratamentos de fibra estudados neste trabalho não produziram alterações significativas na absorção de água. Estes tratamentos aumentaram a rugosidade da superfície

da fibra separando as fibrilas, o que deveria aumentar a adesão das fibras à matriz e aumentar a resistência mecânica, embora, também não foi encontrada melhoria na resistência a tração resultando um valor estável das fibras tratadas em relação as não tratadas.

Assim neste trabalho buscou-se encontrar a dissolução correta no tratamento das fibras com Hidróxido de Sódio para aumentar a rugosidade superficial da fibra, conseguir a separação das fibrilas que compõem a fibra e diminuir a umidade, visando uma melhor adesão fibra e matriz e assim obter melhores propriedades mecânicas.

2- Materiais e métodos

Este trabalho foi realizado utilizando-se matriz de resina epóxi Sikadur® 32, que é um adesivo estrutural à base de resina epóxi de media viscosidade (fluido) e fibras de curauá que são extraídas das folhas de uma planta da região amazônica chamada *Ananas erectifolius* da família das bromeliáceas, que está atraindo muita atenção, particularmente a partir de 1993 quando esta fibra foi reconhecida comercialmente através do seu uso na indústria automotiva. O objetivo do trabalho foi realizar um estudo dos tipos de tratamento da fibra para conseguir a separação das fibrilas que a compõem, permitindo uma melhor adesão entre a fibra e matriz para obter melhores propriedades mecânicas. As fibras de curauá utilizadas nesta pesquisa são oriundas da Cidade de Santarém, Estado do Pará, Brasil, e foram recebidas do SENAI de Santarém na forma *in natura*.

As fibras de curauá tem uma composição química de 73,6% de celulose, 9,9% de hemicelulose, 7,5 de lignina e 0,9% de cinzas (CARASCHI e LEÃO, 1999). Suas folhas de 1,5-1,7 m de comprimento e 4 cm de largura são duras, eretas e apresentam superfícies planas. Estudos anteriores indicaram que a fibra de curauá é um material promissor para reforçar termofixos e termoplásticos (CARASCHI et al., 2007, PINO et al, 2015). As propriedades mecânicas específicas das fibras de curauá são muito importantes porque as boas propriedades mecânicas são combinadas com uma baixa densidade (LI et al, 2007).

2.1- Parte de modelagem

Em uma primeira aproximação realizou-se um estudo utilizando-se o código de Elementos Finitos ABAQUS com licença da Escola de Ciências da Saúde da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), onde foram desenhados no Pré-

Processador do ABAQUS dois corpos diferentes. O primeiro simulando as fibras que foram repetidas oito vezes e o segundo simulando a matriz de resina com oitos furos, onde foram colocadas as fibras de forma longitudinal e equidistantes umas das outras como pode-se observar na figura 3. As dimensões do modelo correspondem com as dimensões do corpo de prova definido para o ensaio de tração segundo a norma ASTM D3039, que são de 150 x 25 x 3 mm.

Este modelo permitiu diferenciar as propriedades do material das fibras e do material da matriz, bem como estabelecer diferentes condições de contato entre as fibras e a matriz estabelecendo-se diferentes coeficientes de atrito para simular um descolamento da fibra ou simular uma forte adesão entre fibra e matriz sem descolamento das fibras. As propriedades do material da resina Epóxi foram obtidas do trabalho de Boeri (2006), cujo módulo de elasticidade E é igual a 4.8 Gpa e o Coeficiente de Poisson é 0,35. Para o material da fibra de curauá as propriedades mecânicas foram obtidas do trabalho de Angrizani (2011), cujo módulo de elasticidade E é igual a 36 Gpa e o Coeficiente de Poisson é 0,33.

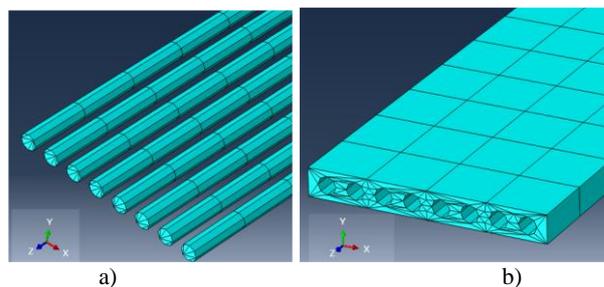


Figura 3: Modelo virtual com malha de Elementos Finitos. a) da fibra, b) matriz segundo a norma ASTM D3039.

Aplicou-se uma carga axial uniformemente distribuída na superfície extrema conforme Figura 4a de 5 kN, e foram eliminados todos os graus de liberdade na superfície oposta conforme figura 4b, simulando-se um ensaio de tração.

Depois de rodar o processador do código ABAQUS e retornar os modelos deformados foram obtidos os modelos das figuras 5 e 6. O modelo da figura 5 mostra os esforços de Von Mises considerando-se uma união rígida entre a fibra e a matriz. Assim a área é maior e para a mesma força a tensão é menor. No caso da figura 6 foi considerada a fibra descolada da matriz colocando-se como condição de contato um atrito fibra matriz

de 0,3. Neste caso a área resulta menor e a tensão aumenta, podendo provocar a falha do compósito.

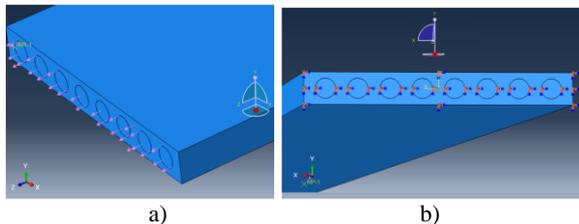


Figura 4: Condições de fronteira: a) Carga axial de 5kN distribuída uniformemente em uma das extremidades do corpo de prova e b) Restrições de todos os graus de liberdade na outra extremidade do corpo de prova engastado.

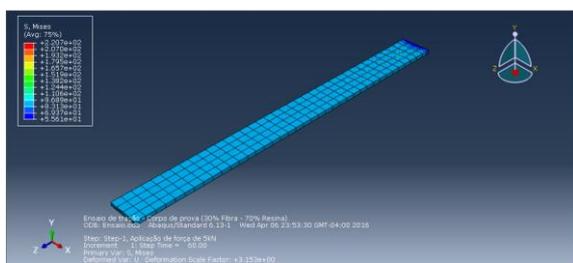


Figura 5: Tensão de Von Mises do corpo de prova deformado de fibra de Curauá e resina Epóxi, considerando as fibras de curauá fortemente unidas a matriz de resina.

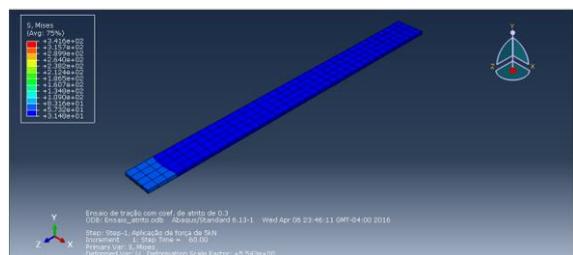


Figura 6: Tensão de Von Mises do corpo de prova deformado de fibra de Curauá e resina Epóxi, considerando condições de contato com coeficiente de atrito de 0,3 entre as fibras e a matriz de resina.

2.2- Parte experimental

As fibras de curauá utilizadas nesta pesquisa são oriundas da cidade de Santarém, Estado do Pará, Brasil, e foram recebidas do SENAI de Santarém *in natura* como é possível ver na figura 7.

Inicialmente as fibras foram penteadas eliminando-se a sujeira e alguns restos de folhas como é possível observar na Figura 8.

Para se estudar a influência do tratamento químico da fibra de curauá na resistência a tração dos compósitos, as fibras foram imersas em diferentes dissoluções de hidróxido de sódio

considerando-se diferentes períodos de tempo como pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 9.



Figura 7: Fibra de curauá fornecida.



Figura 8: Fibra de curauá penteada.



Figura 9: Tratamento químico das fibras com hidróxido de sódio.

O planejamento experimental para este estudo pode ser observado na Tabela 1. Foram retirados grupos de fibras de cada dissolução segundo os tempos de imersão planejados (após 1 hora, 2 horas e 4 horas).

Todos os grupos de fibras foram lavados com água da torneira e bem enxugados, sendo posteriormente colocados para secar em temperatura ambiente por 48 horas em local fechado e protegidas do sol e chuva. Posteriormente estas foram secas numa estufa a 60 °C por 24 horas e finalmente numa estufa a 100 °C por 50 minutos, para a eliminação completa da umidade, como pode ser observado na figura 10.

Tabela 1: Influência do tratamento químico da fibra de curauá na resistência a tração dos compósitos.

No. do corpo de prova	Fibra de Curauá (%)	Tratamento da Fibra
1	30	Não
2	30	2,5% NaOH - 1h
3	30	2,5% NaOH - 2h
4	30	2,5% NaOH - 4h
5	30	5% NaOH - 1h
6	30	5% NaOH - 2h
7	30	5% NaOH - 4h
8	30 <td 10% NaOH - 1h	
9	30	10% NaOH - 2h
10	30	10% NaOH - 4h
11	0	0



Figura 10: Secagem das fibras.

Para o uso em compósitos é importante o conhecimento da degradação térmica destas fibras. Como as fibras vegetais são compostas de diferentes componentes como celulose, hemicelulose, lignina, etc., a sua decomposição térmica resulta em reações complexas.

Quatro estágios de decomposição são vistos na análise termogravimétrica da fibra de curauá em estudos anteriores como Silva e Aquino (2008). Assim tem-se: 1) evaporação de água a 100 °C com aproximadamente 3% de perda de peso, o que indica a necessidade de secagem das fibras no caso de moldagem de materiais compostos, sendo que a umidade da fibra diminui a adesão à matriz, 2) decomposição da hemiceluloses a 268 °C, 3) degradação de celulose a 335 °C e 4) degradação de lignina, que ocorre lentamente, com uma taxa de decomposição máxima a 439 °C. Desta análise termogravimétrica sabe-se que é necessário secar a fibra a 100 °C durante 50 minutos como último processo de secagem. Como o processo de cura da resina é inferior a 200 °C, não irá degradar a fibra.

Antes da fabricação dos corpos-de-prova dos compósitos para se conhecer a efetividade dos tratamentos realizados, avaliou-se amostras de cada grupo de fibras em Microscópio Eletrônico de

Varredura (MEV) da empresa TESCAN de São Paulo.

Na figura 11a pode-se observar uma micrografia da parte lateral de uma fibra de curauá sem tratamento e na figura 11b a ponta da fibra. Nesta figura pode-se observar as fibrilas componentes da fibra todas unidas entre si formando um só feixe de fibra.

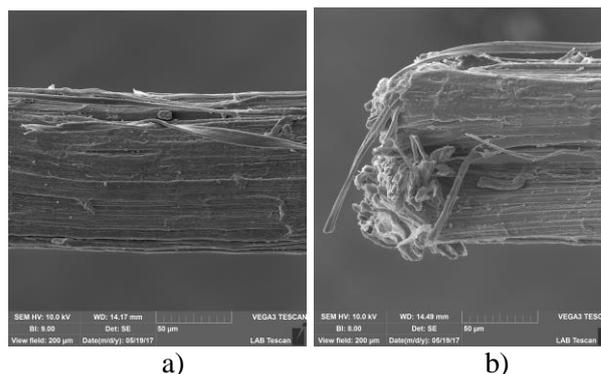


Figura 11: Micrografia de uma amostra de fibra sem tratamento, a) Parte lateral da fibra, b) Ponta da fibra.

Na figura 12a pode-se observar uma micrografia da parte lateral de uma fibra de curauá com tratamento químico em dissolução de hidróxido de sódio de 5 % com quatro horas de exposição a este tratamento e na figura 12b a ponta da fibra com esse mesmo tratamento. Nesta figura podem-se observar as fibrilas componentes da fibra que estão bem mais separadas devido ao efeito do tratamento.

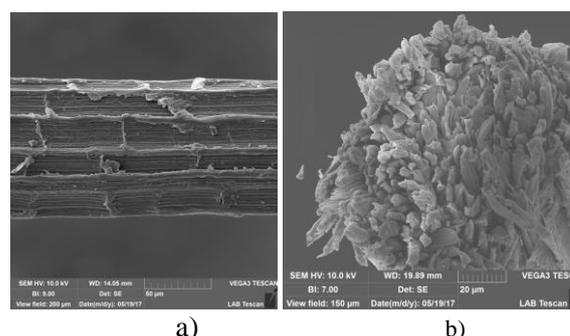


Figura 12: Micrografia de uma amostra de fibra com tratamento químico numa dissolução de hidróxido de sódio de 5 % e quatro horas de exposição, a) Parte lateral da fibra, b) Ponta da fibra.

Posteriormente produziu-se os corpos de prova em um molde projetado e fabricado para ensaios de tração segundo a norma ASTM D636 (I). Na Figura 13 pode-se observar o molde com as dimensões da norma ASTM D636 (I). Este tipo de molde permite aplicar pressão diretamente no

compósito eliminando-se a formação de bolhas contribuindo no processo de cura da resina. Também permitiu posicionar as fibras bem direcionadas e fixas de forma tal que mantenham a posição sem movimento durante o processo de cura da resina.

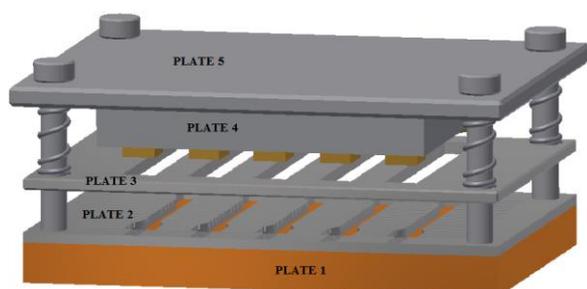


Figura 13: Molde para fabricar os corpos de prova segundo a norma ASTM D636 (I).

Cada grupo de corpos de prova foi deixado no molde por 24 horas numa prensa com 4 toneladas de pressão para eliminar as bolhas de ar e obter-se maior compactação do material. Depois de extraídos do molde, realizou-se o processo de cura final numa estufa a 80 °C num período de 8 horas e posteriormente a 125 °C pelo mesmo tempo, seguindo-se as recomendações do fabricante. Na figura 16 pode-se observar os corpos de prova depois do processo de cura.

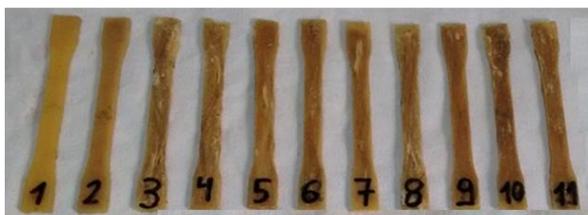


Figura 14: Corpos de prova depois do processo de cura.

Depois do processo de cura, todos os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração para determinar a resistência mecânica de cada compósito e estudar a influência do tratamento da fibra na resistência a tração.

Os ensaios de tração foram realizados numa Máquina Eletromecânica de Ensaio Universal Marca INSTRON, modelo 5984, com célula de carga de 150 KN. Os ensaios foram realizados a uma velocidade de tração de 5mm/min.

Na figura 19 podem ser vistos os gráficos de tração gerados pela máquina de tração.

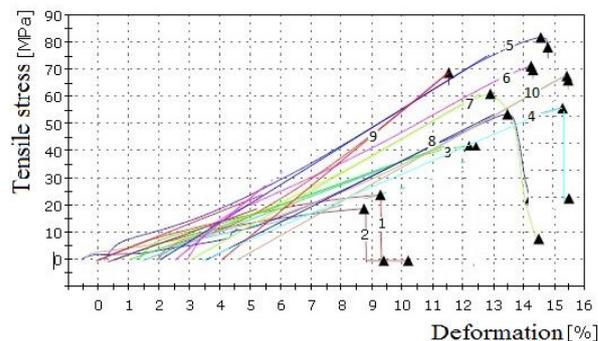


Figura 15: Gráfico de tração gerado pela máquina de tração.

3- Resultados e discussão

A morfologia das fibras posterior ao tratamento mostrou-se como se pode observar nas figuras 11 e 12. O tratamento com hidróxido de sódio conseguiu abrir as fibrilas de celulose e incrementar substancialmente a rugosidade superficial, proporcionando assim uma maior aderência entre a fibra e a matriz incrementando a resistência a tração do compósito.

Na tabela 2 podem ser observados os resultados da resistência a tração de cada corpo de prova. Pode-se constatar destes resultados que o tratamento com hidróxido de sódio melhorou a resistência do compósito, o que corresponde com o estudo morfológico da fibra tratada. De todos os tratamentos como observados na parte morfológica e na Tabela 2, o tratamento com hidróxido de sódio de maior efetividade é o realizado com uma dissolução de 5% e um tempo de exposição de 4 horas.

Tratamentos com hidróxido de sódio com concentração inferior a 5% e tempos de exposição menores de 4 horas não separaram bem as fibrilas de celulose e, por conseguinte não se obteve maior aderência.

Tratamentos com hidróxido de sódio com concentração superior a 5% comprometeram a resistência da fibra e, por conseguinte, não se verificou uma maior aderência.

4- Conclusões

Através dos resultados deste trabalho é possível se constatar que o tratamento com hidróxido de sódio melhorou a resistência do compósito, o que se alinha com o estudo morfológico da fibra tratada. De todos os tratamentos o tratamento com hidróxido de sódio com melhor resultado é o realizado com uma dissolução de 5% com tempo de exposição de 4 horas.



Os resultados mostram que o compósito estudado com a fibra amazônica curauá pode substituir os compósitos de fibras sintéticas, proporcionando uma melhoria ao meio ambiente, ajudando na sustentabilidade e permitindo que novas fontes de emprego para as populações mais pobres da Amazônia sejam desenvolvidas.

Tabela 2: Resultados da resistência a tração de cada corpo de prova

No. do corpo de prova	Fibra de Curauá (%)	Tratamento da Fibra	Resistência a tração (Mpa)
1	30	Não	44,72
2	30	2,5% NaOH for 1h	32,8
3	30	2,5% NaOH for 2h	71,67
4	30	2,5% NaOH for 4h	73,36
5	30	5% NaOH for 1h	45,44
6	30	5% NaOH for 2h	49,36
7	30	5% NaOH for 4h	78,37
8	30	10% NaOH for 1h	75,58
9	30	10% NaOH for 2h	65,95
10	30	10% NaOH for 4h	61,08
11	0	0	23,87

5- Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade do Estado de Amazonas (UEA) e Universidade de São Paulo (USP) na realização deste trabalho.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- BALEY, C., BUSNEL, F., GROHENS, Y., SIRE, O., Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre–polyester resin. **Science Direct Composites**, 2016, Part A 37 1626–1637.
- SPINACÉ, M. A. S., LAMBERT, C. S., FERMOSELLI, K. K.G., DE PAOLI, M.A. Characterization of lignocellulosic curaua fibers. *Carbohydrate Polymers*, 2009, v. 77, p. 47–53.
- PINO, G. G., DIAZ, F. R. V., RIVERA, J. L., KIELING, A. C., TORRES, A. R., Evaluation of

composite materials with fiber of curauá pineapple (*Ananas Erectifolius*). **Review of Research**. 2015, v.4, p.1-7.

MOTHÉ, C. G., ARAÚJO, C. R. Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá. **Polímeros**, 2004, v. 14, n 4, 274-278.

YANG, H., YAN, R., CHEN, H., LEE, D. F., ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, 2007, v. 86, p. 1781–1788.

LI, X., TABIL, L. G., PANIGRAHI, S. C. Chemical treatments of natural fibre for use in natural fibre-reinforced composites: A review. **Journal of Polymers and the Environment**, 2007, v. 15, p. 25–33.

BISANDA, E. T. N., ANSELL, M. P. Effect of silane treatment on the mechanical and physical properties of sisal-epoxy composites. **Composites Science and Technology**, 1991, v. 41, n. 2, p 165–78.

RAMANATHAN, T., BISMARCK, A., SCHULTZ, E., SUBRAMANIAN, K. Investigation of the influence of acidic and basic surface groups on carbon fibres on the interfacial shear strength in an epoxy matrix by means of single-fibre pull-out test. **Composites Science and Technology**, 2001, v. 61, n. 4, p. 599–605.

CARASCHI, J. C., LEÃO, A. L. Chemical and Thermal Characterization of Curauá fiber. *International Conference on Frontiers of Polymers and Advanced Materials*, 5. Pozna, 1999. Proceedings. Poznan, s. ed. (1999)

SANTOS, P. A., SPINACÉ, M. A. S., FERMOSELLI, K. K. G., DE PAOLI, M. A. Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion and injection molding. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 2007, v. 38, p. 2404-2409.

BOERI, V. D. Caracterização de Materiais Compostos por Ultra-som. Dissertação de Mestrado. EPUSP. São Paulo 2006.

ANGRIZANI, C. C. Compostos Laminados híbridos de curauá/vidro: Análise Mecânica, Experimental e Teórica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. (2011)

Silva RV, Aquino EMF. Curaua Fiber: A New Alternative to Polymeric Composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 2008, v. 27, n. 1, 103-112.