

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM UMA FIBRA NATURAL DA AMAZÔNIA*

Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho¹
Roberto Tetsuo Fujiyama²
Alisson Clay Rios da Silva³
Verônica Scarpini Candido⁴
Sergio Neves Monteiro⁵

Resumo

A utilização de fibras naturais como reforço para compósitos poliméricos substituindo fibras sintéticas vem crescendo nas últimas décadas para diferentes setores industriais devido apresentarem propriedades únicas. Com isso, avaliou-se a produção de materiais compósitos reforçados com fibras vegetais em uma matriz polimérica constituída de resina poliéster insaturada tereftálica. O processo de fabricação realizado foi o manual (hand lay-up), utilizando molde de silicone, na presença da palha da costa (*Raphia vinifera*). A caracterização mecânica dos compósitos foi estudada por meio da realização de ensaios de tração. As fibras utilizadas no experimento estavam na condição *in natura*. Para a verificação da resistência e rigidez das amostras, foram utilizadas máquinas de ensaio universal AROTEC. Fez-se o ensaio de tração dos corpos-de-prova reforçados com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente, utilizando comprimentos de 5, 10, 15 mm, para frações mássicas variando conforme a capacidade volumétrica do molde. Além disso, foi realizada uma análise fractográfica no microscópio eletrônico de varredura (MEV), para analisar detalhadamente as superfícies de fratura das amostras ensaiadas e entender os mecanismos de falha de cada material. Observou-se uma adesão interfacial muito fraca e não apresentando uma fração mássica apropriada para maximizar as propriedades mecânicas dos mesmos. Os resultados também foram comparados com dados encontrados na literatura, correlacionando com outros trabalhos com fibras vegetais e sintéticas.

Palavras-chave: Materiais compósitos, Fibras naturais, Caracterização, Ensaio de tração, Fractografia, Sustentabilidade.

EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH NATURAL FIBERS OF THE AMAZON

Abstract

The use of natural fibers as reinforcement for polymeric composites replacing synthetic fibers has been growing in the last decades for different industrial sectors because they have unique properties. Thus, the production of composite materials reinforced with vegetable fibers was evaluated in a polymer matrix constituted of terephthalic unsaturated polyester resin. The manufacturing process was hand-up, using silicone mold, in the presence of Raffia (*Raphia vinifera*). The mechanical characterization of the composites was studied through tensile tests. The fibers used in the experiment were *in natura*. For the verification of the strength and stiffness of the samples, AROTEC universal test machines were used. The tensile test of specimens reinforced with discontinuous fibers and randomly oriented fibers was used, using lengths of 5, 10, 15 mm, for mass fractions varying according to the volumetric capacity of the mold. In addition, a fractographic analysis was performed in the scanning electron microscope (SEM), to analyze in detail the fracture surfaces of the samples tested, in order to understand the fault mechanisms of each material. Very poor interfacial adhesion was observed and did not exhibit an appropriate mass fraction to maximize the mechanical properties thereof. The results were also compared with data found in the literature, correlating with other works with vegetal and synthetic fibers.

Keywords: Composite materials, Natural fibers, Surface treatment, Characterization, Tensile test, Fractography, Sustainability.

¹ Doutorando, Pesquisador, Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

² Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

³ Doutor, Professor, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

⁴ Doutora, Professora, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA, Belém, Pará, Brasil.

⁵ Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, IME, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais renováveis e biodegradáveis são algumas das opções para melhorar a qualidade de vida em nosso planeta. Entre os diversos recursos naturais estão os materiais lignocelulósicos, dos quais cerca de 2,5 bilhões de toneladas estão disponíveis em nosso planeta, e têm sido usados desde 6000 a.C. [1]. As fibras lignocelulósicas estão disponíveis em muitos desses materiais, que são chamados também de fibras naturais ou fibras vegetais.

O Brasil é grande produtor dessas fibras, assumindo uma posição única entre países sul-americanos, tendo uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km², dos quais cerca de 6% são terras aráveis, 22% pastagens permanentes e 58% florestas e bosques [2]. O país também é privilegiado geograficamente por possuir condições climáticas excepcionais e solo fértil para o cultivo de uma grande variedade de espécies de plantas [2].

Diante disso, a utilização de fibras naturais, como reforço para compósitos poliméricos substituindo fibras sintéticas, especialmente fibras de vidro, vem crescendo nas últimas décadas para diferentes setores industriais, tais como embalagens, automóveis e até mesmo no setor da construção [3]. Isto acontece devido, principalmente, às suas características únicas, como abundância, biodegradabilidade, baixa densidade, natureza não tóxica, menos abrasividade aos equipamentos de transformação e propriedades mecânicas úteis, bem como baixo custo [4].

Contudo, as fibras naturais não são uma alternativa livre de desafios. Na prática, existem deficiências que estão relacionadas ao seu elevado grau de absorção de umidade e sua baixa estabilidade dimensional [5]. Por isso, um conhecimento cada vez mais aprofundado sobre todas as características das fibras naturais, tem possibilitado o desenvolvimento de técnicas de tratamentos que permitem solucionar as principais limitações do uso de fibras naturais em materiais compósitos [6]. O tratamento superficial da fibra, por exemplo, visa melhorar as propriedades da interface fibra/matriz de modo a garantir a efetividade desta no desempenho mecânico do compósito.

Para esses materiais, a adesão adequada da interface reforço/matriz é muito importante, já que o reforço irá receber as tensões que irão atuar na sua estrutura. Devido isso, muitos processamentos físico-químicos podem ser utilizados para modificar a superfície do reforço e melhorar sua interface com a fase contínua [7]. Logo, a principal meta dos tratamentos superficiais sobre as fibras naturais é superestimar a força de adesão, para obter uma boa molhabilidade e melhorar a delegação de forças no compósito [8].

As fibras utilizadas neste experimento foram as da **Palha da Costa** (*Raphia vinifera*). Apenas recentemente essas fibras, também conhecida como fibra de Jupati, passaram a ser considerada para a produção de compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais, com alguns trabalhos produzidos e publicados, principalmente utilizando matrizes termorrígidas. COSTA *et al.* [9] produziram por moldagem sem pressão compósitos de matriz poliéster insaturada reforçada com fibras curtas de orientação aleatória de palha da costa nas dimensões de 5, 10 e 15 mm de comprimento. Os autores obtiveram limites de resistência à tração de 10,01, 12,95 e 16,48 MPa, respectivamente, para os três comprimentos testados.

SANTOS [10] fabricou tecidos de palha da costa com gramatura de 281,52 g/m² e produziu com estes, compósitos de matriz poliéster por laminação manual seguida de compressão. O autor obteve, para um compósito com 56,4% de fração

[A1] Comentário: Inserir aqui o nome científico da fibra.

volumétrica de fibra, um limite de resistência à tração de 36,81 MPa, com alongamento na ruptura médio de 6,41 mm. Neste trabalho, foi ainda desenvolvido um compósito híbrido tecido de palha da costa / fibras curtas de sisal de 15 mm, tendo sido alcançado o limite de 44,56 MPa nos testes em tração.

CHUKWUDI [11] produziu por moldagem sem pressão, compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras curtas de palha da costa aleatoriamente dispostas, estudando o efeito sobre as propriedades mecânicas do compósito do tratamento das fibras com solução alcalina a 10% de concentração e por acetilação, ambos os tratamentos conduzidos por uma hora a 30° C. Os resultados mostraram que para uma fração volumétrica de 20% de fibras, o tratamento alcalino reduziu a resistência à tração dos compósitos em 25% enquanto que a acetilação elevou o desempenho em tração do compósito em 27,4%, ambos medidos em relação ao compósito com fibras não tratadas e mesma fração volumétrica de fibras.

OBASI [12] usou uma extrusora para produzir compósitos de PEAD reforçados com fibras de Raphia, estudando o efeito da adição de um compatibilizante (maleic anhydride-graft-polyethylene / MA-g-PE) sobre as propriedades mecânicas do compósito produzido e a biodegradabilidade dos materiais produzidos. Os resultados mostraram que as propriedades em tração do PEAD reforçado com as fibras naturais foram moderadamente elevadas, com ganhos ambientais principalmente na elevação da biodegradabilidade do compósito em relação ao PEAD puro, quando submetidos ao ambiente natural. O limite de resistência à tração e o módulo de elasticidade encontrados para os compósitos com fibras de palha da costa alinhadas fabricados sob vácuo de 101,3 kPa (22,97 MPa e 1,303 GPa, respectivamente).

RODRIGUES [14] pesquisou compósitos poliméricos reforçados por fibras alinhadas e para tecidos planos de palha da costa para níveis de vácuo 53,3 e 101,3 kPa. O limite de resistência à tração e o módulo de elasticidade encontrados para os compósitos com fibras de palha da costa alinhadas fabricados sob vácuo de 101,3 kPa, foram de 22,97 MPa e 1,303 GPa, respectivamente. Analisadas ao microscópio eletrônico de varredura, a superfície das fibras expostas na fratura mostrou quase que total ausência de vestígios de matriz, o que evidencia uma baixa adesão interfacial.

Neste trabalho, para a verificação da resistência a tração das amostras, foram utilizadas máquinas de ensaio universal AROTEC. Fez-se o ensaio de tração das amostras reforçadas com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente, utilizando comprimentos de 5, 10, 15 mm. Além disso, foi realizada uma análise fractográfica no microscópio eletrônico de varredura (MEV), para analisar detalhadamente as superfícies de fratura das amostras ensaiadas. Os resultados também foram comparados com dados encontrados na literatura, correlacionando com outros trabalhos com fibras vegetais e sintéticas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Resina Poliéster

O polímero utilizado no desenvolvimento do trabalho foi a resina poliéster tereftálica insaturada fabricada pela Ara Química S.A. sob a denominação comercial de Arazyn AZ 1.0 # 34. O agente de cura utilizado foi o peróxido de MEK (PERMEC D-45), nas proporções de 1% (v/v).

2.1.2 Fibras Naturais

As fibras vegetais da palha da costa foram obtidas no comércio da cidade de Belém-PA. Inicialmente, as fibras naturais foram utilizadas na forma como foram adquiridas, na condição *in natura*, sem tratamento químico. Foram cortadas em três comprimentos diferentes: 5 mm, 10 mm e 15 mm. Os comprimentos desejados foram obtidos através do corte manual (com tesoura) a partir dos feixes de fibra.

2.2 Procedimento experimental

2.2.1 Tratamento químico das fibras naturais

Utilizou-se para o tratamento de mercerização em solução em água destilada de 10% de hidróxido de sódio (NaOH), inserida numa cuba ultrassônica, durante um período de 1h, à temperatura ambiente. Após os tratamentos, as fibras foram neutralizadas com sucessivas lavagens em água destilada e secas a temperatura ambiente (25,8°C) e umidade de 50% por 48 horas. Nessas condições, a secagem aconteceu naturalmente e a estufa não foi necessária devido à pequena quantidade de fibras tratadas. Durante o tratamento, a razão entre massa de fibras (g) por volume de solução (mL) foi em média de 0,1 à 0,075 g/mL.

2.2.2 Fabricação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados por moldagem manual utilizando-se moldes de silicone e sem pressão. O processo se iniciou pelo tratamento da superfície do molde pela aplicação de um produto desmoldante, para remoção da peça após o processo de cura. A fração mássica de cada tipo de reforço utilizado na fabricação dos corpos de prova desta pesquisa foi definida pela capacidade volumétrica do molde em acomodar o reforço sem pressão ou compactação e na ausência da matriz. Para cada tipo de reforço, com comprimento de fibra de 5, 10 e 15 mm, os moldes de tração foram cheios com o reforço até o limite de sua capacidade volumétrica, sem pressão ou vibração mecânica.

Em seguida, cada quantidade de reforço foi devidamente pesada e o valor da massa obtida, convertida em fração mássica, estabeleceu-se como sendo a referência de incorporação e trabalhabilidade para a fabricação de compósitos sem pressão. A partir deste valor de referência, foram prescritas as proporções a serem utilizadas nos compósitos. Determinados os valores de referência para a fração mássica, os corpos de prova foram fabricados para a avaliação da trabalhabilidade da mistura no estado líquido, estimando sua moldabilidade e a molhabilidade da matriz sobre os reforços envolvidos (Figura 1).

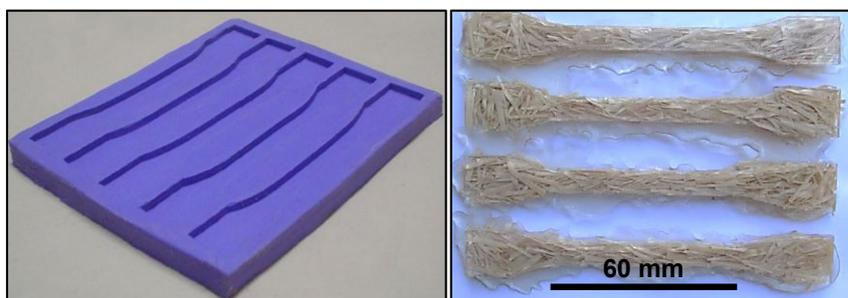


Figura 1. (a) Molde de silicone para moldagem dos corpos de prova de tração; (b) corpos de prova confeccionados.

A partir deste procedimento, foram estabelecidas as proporções do compósito de reforço das fibras com as frações mássicas apresentadas na Tabela 1. Para quatro corpos de prova (capacidade máxima de cada molde), foi utilizado 63,905 g de matriz (resina poliéster e 1% de MEK).

Tabela 1. Frações mássicas das fibras naturais utilizadas nas confecções dos corpos de prova.

Comprimento de fibras (mm)	5	10	15
Tipos de fibras naturais	Fração mássica (%)		
Palha da Costa	9,93	8,85	6,65

2.2.3 Caracterização Mecânica

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638 [14] e seguiram as medidas como pode ser observado no desenho na Figura 2. Os corpos de prova foram fabricados a partir de moldes de silicone para os ensaios com matriz pura e matriz reforçada com fibras curtas. Foram produzidos 8 corpos de prova para cada comprimento e condição da fibra.

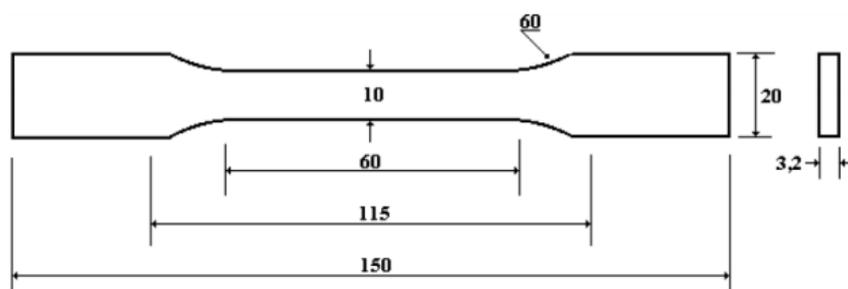


Figura 2. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaio de tração (sem escala) segundo a norma ASTM D638.

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal IAROTEC com célula de carga de 5kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min.

2.2.4 Análise fractográfica

Após a realização dos ensaios mecânicos, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram metalizadas e analisadas de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição fabricada. A morfologia da superfície de fratura foi feita por microscopia eletrônica de varredura (MEV) modelo VEJA 3 SBU da TESCAN.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Corpos de prova de matriz plena

Pode-se observar com os resultados de ensaios de tração das amostras de poliéster sem reforço, que as variações dos percentuais dos agentes de cura influenciaram nas propriedades mecânicas dos mesmos. Os percentuais de 1,0% (v/v) de agente de cura (recomendação do fabricante) apresentou maior rigidez comparado com os de 0,7% (v/v). Contudo, os valores de resistência a tração e deformação foram maiores das amostras com percentuais de MEK de 0,7%. As

curvas apresentadas na Figura 3 mostram que a matriz de poliéster apresenta um comportamento relativamente dúctil quando ensaiada em tração, porém com fratura brusca, sem capacidade de absorção de energia após a fissura da matriz.

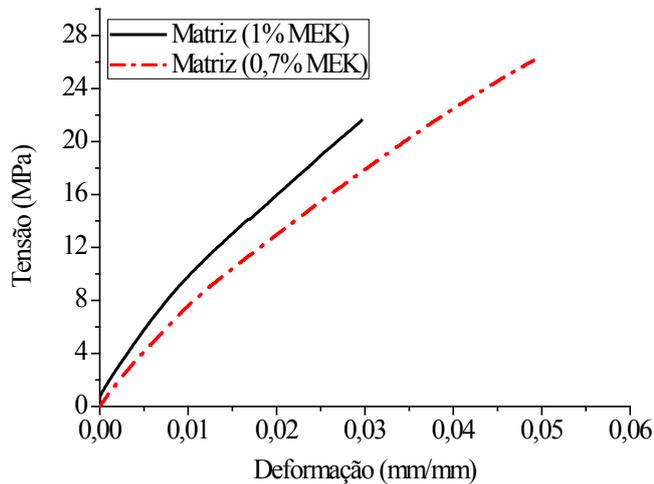


Figura 3.1 Gráfico comparativo das amostras M1%16 e M0,7%10 (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico da matriz de poliéster insaturada teraftálica com agente de cura (MEK) nas proporções de 1% e 0,7% (v/v).

3.2 Compósitos de poliéster reforçados com fibras de palha da costa

Com os resultados dos ensaios dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de Palha da Costa, observados na Figura 4, ficou muito evidente que esta fibra atuou com carga, apresentando uma adesão interfacial muito fraca e não apresentando uma fração mássica apropriada para maximizar as propriedades mecânicas dos mesmos. Mesmo assim, na Figura 5, o maior módulo de elasticidade foi do compósito reforçado com palha da costa (tratada) de comprimento de 10 mm, superando em 19,5% a rigidez da matriz pura (Figura 6). A maior resistência a tração e deformação foram dos compósitos de palha da costa (in natura) com comprimento de 15 mm, apresentando 8,50 MPa e 1,79%, respectivamente (Figura 7 e 8). Na Tabela 2 podemos ver os valores dos resultados, correlacionando com o de outros autores.

Tabela 2. Resultado dos ensaios de tração das amostras de compósitos de poliéster reforçados com fibras de palha da costa

Matriz	Temp. de fabricação (°C) / Condição	Fração mássica (%)	Comp. da fibra (mm)	Resistência a tração (MPa)	Fonte
Poliéster		9,93	5	10,01	COSTA et al. [9]
		8,85	10	12,95	
		6,51	15	16,48	
Poliéster / híbrido tecido de palha da costa / fibras de sisal		56,4 (Fração volumétrica)	-	36,81	SANTOS [10]
		-	15	44,56	
Poliéster	25	20 (Fração volumétrica)	-	Tratamento alcalino reduziu a resistência à tração dos compósitos em 25%	CHUKWUDI [11]
		25 (Fração volumétrica)	-	Acetilação elevou o desempenho em tração do compósito em 27,4%	
PEAD	Fabricados sob vácuo de 101,3 kPa	-	-	22,97	OBASI [12]
Poliéster / fibras alinhadas	Fabricados sob vácuo de 53,3 kPa	-	-	23,59 ± 5,52	RODRIGUES [13]
	Fabricados sob vácuo de 101,3 kPa	-	-	22,97 ± 1,58	
Poliéster / Tecidos planos	Fabricados sob vácuo de 53,3 kPa	-	-	14,42 ± 0,90	
	Fabricados sob vácuo de 101,3 kPa	-	-	20,27 ± 1,88	
Poliéster	In natura	9,93	5	5,12 ± 1,14	Autor
	Tratada			4,36 ± 1,02	
	In natura	8,85	10	6,67 ± 0,54	
	Tratada			6,54 ± 1,42	
	In natura	6,51	15	8,50 ± 1,40	
	Tratada			4,46 ± 0,47	

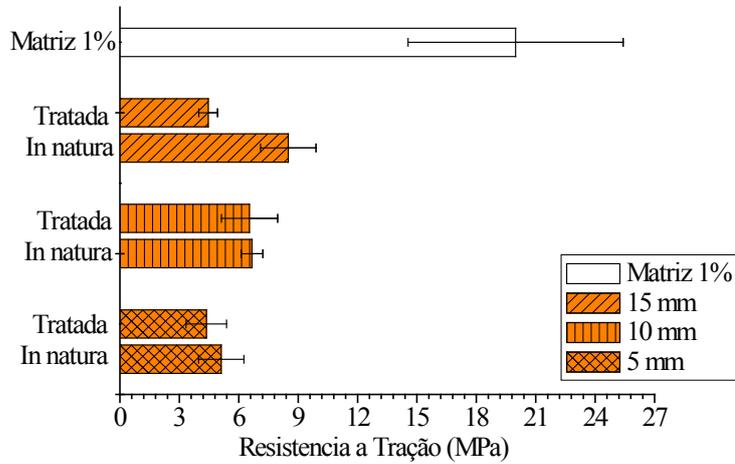


Figura 4. Gráfico comparativo que ilustra o comportamento mecânico da matriz e dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de palha da costa nas condições in natura e tratadas quimicamente, com comprimento 5 mm, 10 mm e 15 mm.

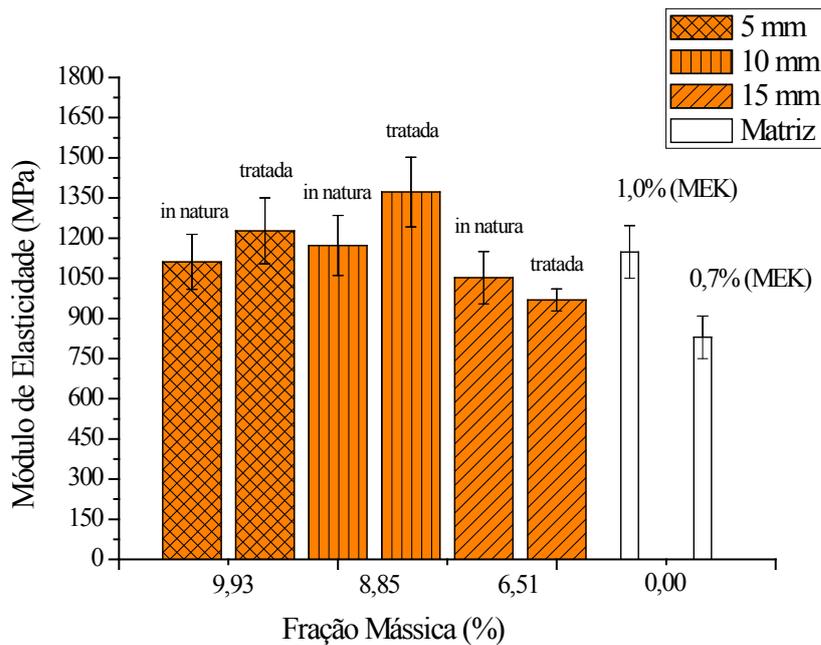


Figura 5. Gráfico comparativo que ilustra a relação módulo de elasticidade (MPa) versus fração mássica (%) dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de palha da costa nas condições in natura e tratadas quimicamente, com comprimento 5 mm, 10 mm e 15 mm.

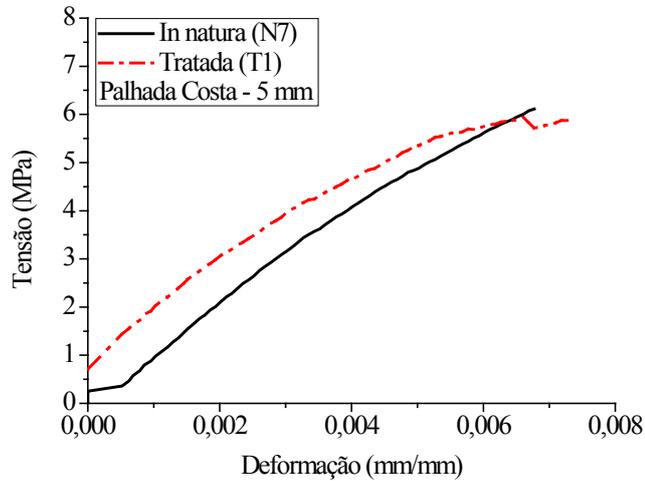


Figura6. Gráfico comparativo das amostras N7 e T1 (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de palhada costa nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 5 mm.

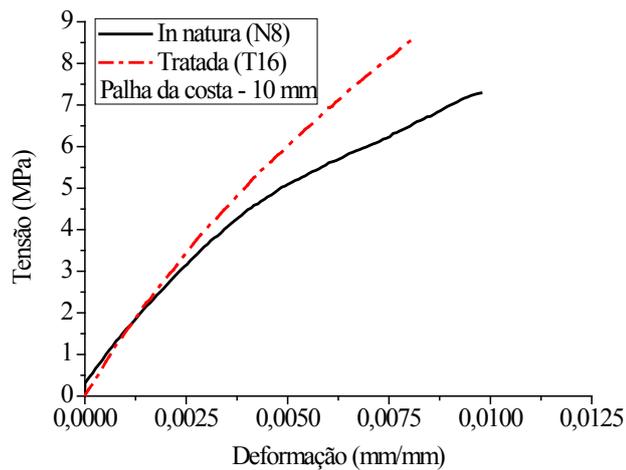


Figura7. Gráfico comparativo das amostras N8 e T16 (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de palhada costa nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 10 mm.

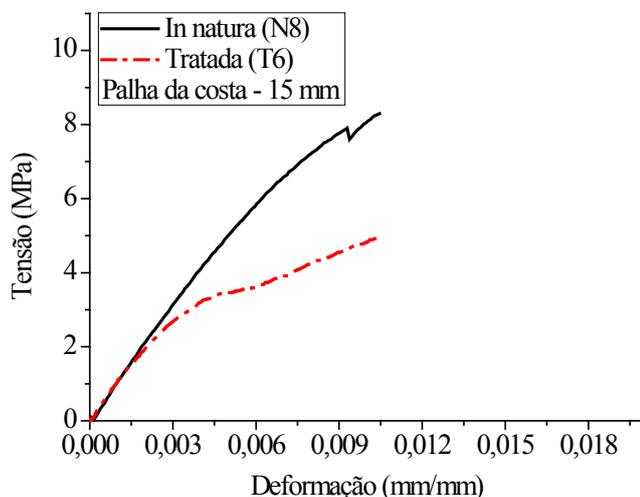


Figura8. Gráfico comparativo das amostras N8 e T6 (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de palha da costa nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 15 mm.

Relacionando com a literatura, COSTA *et al.* [9] pesquisaram sobre compósitos de poliéster reforçado com fibras de palha da costa nas dimensões de 5, 10 e 15 mm de comprimento. Os autores obtiveram limites de resistência à tração 48% maiores em todos os comprimentos em comparação as amostras trabalhadas nesse experimento. SANTOS [10] fabricou tecidos de palha da costa e produziu compósitos de matriz poliéster por laminação manual, obtendo 56,4% de frações volumétricas de fibras e resistências a tração de 36,81 MPa, isto é, valor muito maior que COSTA *et al.* [9] e desse experimento.

Outros autores que trabalharam com moldagem por infusão obtiveram valores de resistência a tração superiores aos resultados encontrados. OBASI [12] produziu compósitos de PEAD reforçados com fibras de *Raphia* e encontrou para os compósitos alinhados e fabricados sob vácuo de 101,3 kPa, um limite de resistência à tração e o módulo de elasticidade de 22,97 MPa e 1,303 GPa, respectivamente. Da mesma forma, RODRIGUES [13] pesquisou compósitos poliméricos reforçados por fibras alinhadas e para tecidos planos de palha da costa para níveis de vácuo 53,3 e 101,3 kPa. Para ambos os casos, foram obtidos valores de tensão máxima entre 14,42 e 23,59 MPa, módulo de elasticidade entre 0,913 e 2,325 GPa deformação total maiores entre 1,30 e 2,90%.

Analisadas ao microscópio eletrônico de varredura, Figuras 9 e 10, semelhante as conclusões de RODRIGUES *et al.* [13], as superfícies das fibras expostas na fratura mostram quase que total ausência de vestígios de matriz, o que evidencia uma baixa adesão interfacial em ambos os casos (in natura e tratado).

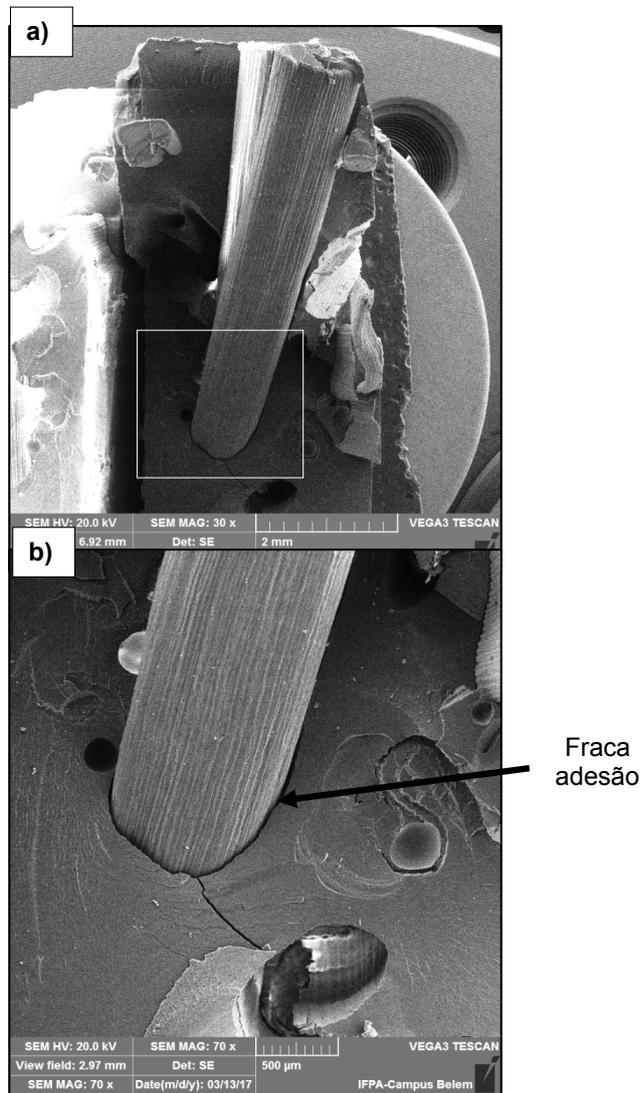


Figura 9. Micrografias das superfícies de fratura das amostras de compósitos poliméricos reforçados com fibras da Palha da Costa (in natura) orientados aleatoriamente com comprimento de 15 mm: (a) ampliação de 20x, (b) ampliação de 70x.

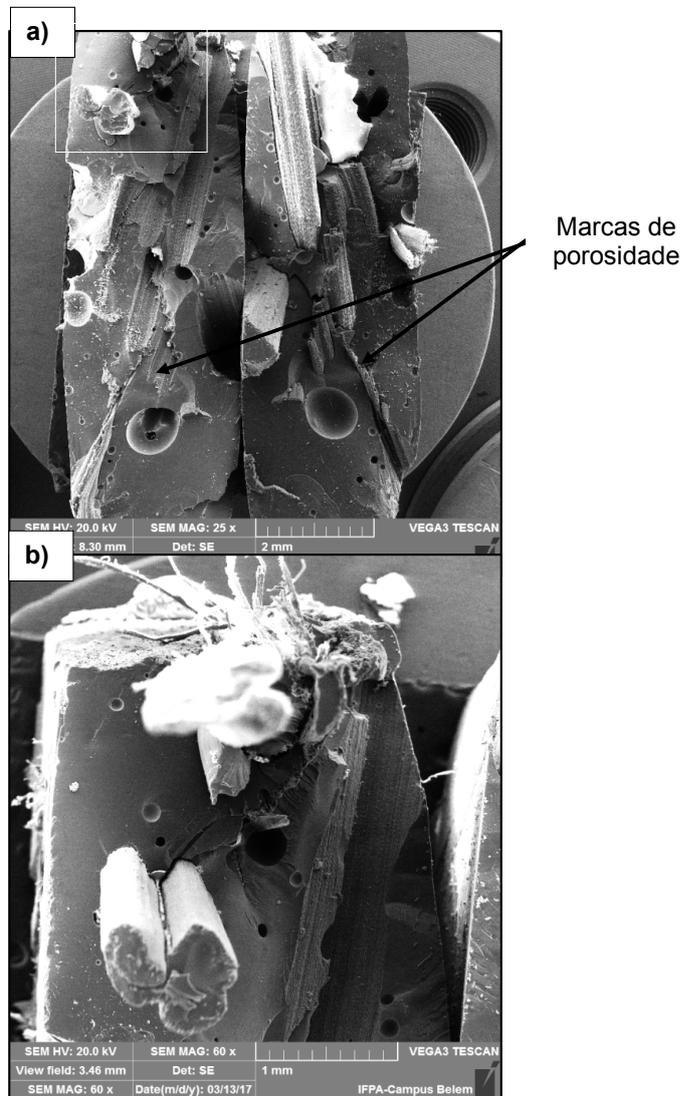


Figura 12. Micrografias das superfícies de fratura das amostras de compósitos poliméricos reforçados com fibras da Palha da Costa (tratamento alcalino) orientados aleatoriamente com comprimento de 15 mm: (a) ampliação de 20x, (b) ampliação de 70x.

3 CONCLUSÃO

Em relação aos compósitos poliméricos reforçados com fibras de palha da costa, com os resultados dos ensaios, observou-se uma adesão interfacial muito fraca e não apresentando uma fração mássica apropriada para maximizar as propriedades mecânicas dos mesmos. O maior módulo de elasticidade foi do compósito reforçado com palha da costa (tratada) de comprimento de 10 mm, superando em 19,5% a rigidez da matriz pura.

A maior resistência a tração e deformação foram dos compósitos de palha da costa (in natura) com comprimento de 15 mm, apresentando 8,50 MPa e 1,79%, respectivamente. Analisadas ao microscópio eletrônico de varredura, as superfícies das fibras expostas na fratura mostram quase que total ausência de vestígios de matriz, o que evidencia uma baixa adesão interfacial em ambos os casos (in natura e tratado).

Agradecimentos

A CAPES(Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo auxílio financeiro e ao Instituto Federal do Pará (IFPA) por permitir a utilização dos laboratórios.

REFERÊNCIAS

- 1 KOZLOWSKI, R.; RAWLUK, M.; BARRIGA, J.; State of the art-production, processing and applications of fibrous plants. In: Sivam RL, Araújo RC, editors. 2nd international conference on textile engineering (SINTEX-2004) Proceedings, September 7–11; Natal, in CD-ROM, Paper No.TIP-1-007. 2004.
- 2 SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on Lignocellulosic fibers of Brazil.Part I: Source, producton, morphology, properties and applications. Composites. Part A: applied science and manufacturing. 38, 1694-1709, 2007.
- 3 WAMBUA, P.; VANGRIMDE,B.; LOMOV, S.; & VERPOEST, I. The response of natural fibre composites to ballistic by fragment simulating projectiles. Composite structures. 77, 232-240, (2007).
- 4 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M. Tenacidade ao entalhe por impacto Charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. Matéria vol.11 no. 3. Rio de Janeiro – RJ. July / Sept. 2006.
- 5 LEVI NETO, F. PARDINI, L. C. Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.1. Ed. São Paulo: Blucher, 2006.
- 6 CASTRO, B. F. M. Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de engenharia do Porto. Porto - Portugal. 2013.
- 7 D'ALMEIDA, A.L.F.; D'ALMEIDA, S, J. R. M.; D. W. BARRETO; V. CALADO. Effect of surface treatments on the thermal behavior and tensile strength of piassava fibers. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 120, 2508–2515. 2011.
- 8 KABIR, M., WANG, H., LAU, K., & CARDONA, F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. Composites Part B: Engineering, 43, 2883–2892, 2012.
- 9 COSTA, D. S.; BANNA, W. R.; ALMEIDA, D. F.; SANTOS, E. J. S.; LOPES, C. E. P.; FUJIYAMA, R. T. Características de compósitos de fibras de palha da costa (raphia vinifera) com resina poliéster. In: 68º ABM International Annual Congress, 2013, Anais. Belo Horizonte - MG, 2013a.
- 10 SANTOS, R. M. C. Materiais compósitos de matriz poliéster reforçados por tecido de palha da costa (raphia taedigera mart.) e pelo híbrido tecido de palha da costa e fibras curtas de sisal. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- 11 CHUKWUDI, A. D. Effect of two pretreated raffia palm (raphia) fibres on polyester composite. 92 p. Dissertação (Master of Science in Pure and Industrial Chemistry) - Faculty of Physical Sciences, Nnamdi Azikiwe University, Awka, 2012.
- 12 OBASI, H. C. Properties of Raphia palm interspersed fibre filled high density polyethylene. Advances in Materials Science and Engineering, v. 2014, 5 p., 2013.

- 13 RODRIGUES, J.; FUJIYAMA, R.; SOUZA, J. A. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. Revista Matéria, v.20, n.4, pp. 946– 960, 2015.
- 14 ASTM D 638 – 89.“Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric).”Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.