

# ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS COM RELAÇÃO A UMIDADE DA FIBRA VEGETAL UTILIZADA PARA CONSTRUÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Igor kengi kamiya, ikenji7@hotmail.com<sup>1</sup>

Celso Carlino Maria Fornari Junior<sup>2</sup>

1 Universidade Estadual de Santa Cruz, Engenharia de Produção e Sistemas

2 LAPOS Laboratório de Polímeros e Sistemas, Universidade Estadual de Santa Cruz

**Resumo:** As fibras vegetais apresentam boa compatibilidade em compósitos poliméricos alcançando-se um bom desempenho mecânico. Além disto, as fibras vegetais surgem como uma alternativa econômica e natural, pois sua produção gera baixo impacto ambiental, e apresenta baixo custo, aliados a isto têm outros fatores como ser recicláveis e provenientes de fonte renovável. Avaliamos neste trabalho o comportamento mecânico através de ensaios de flexão a três pontos de compósitos a base de poliéster ortoftálico e fibras de coco com teor de umidade. As fibras foram micronizadas em um moinho de facas, selecionadas por meio de peneiras e ficaram expostas em ambiente atmosférico com considerável teor de umidade para posterior formação dos compósitos e avaliação. Os compósitos foram avaliados por meio de corpos de prova feitos e ensaiados segundo a normatização brasileira NBR 7447. Como resultado deste trabalho observa-se que a umidade influencia no processo de cura do compósito a base de poliéster ortoftálico e fibra micronizada de coco, interferindo nas propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** Compósito, fibra de coco, Poliéster, Umidade.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por novos materiais que viabilizem minimizar os problemas ambientais, tão discutidos nos últimos tempos, tem levado os cientistas a desenvolverem compósitos utilizando fibras naturais como cargas reforçantes (Wambua & Pothan, 2003). Estas estão sendo bastante estudadas para substituir parcialmente e até totalmente as fibras sintéticas em muitas aplicações, especialmente aquelas cujas condições de uso são menos severas (Lee et al, 1989; Silva et al, 1999).

Dentre as fibras naturais a fibra vegetal tem se destacado, por possuir propriedades características que contribuem para a compatibilidade entre a fibra e a matriz, sendo assim utilizada em vários compósitos de matrizes poliméricas (Souza & Souza, 2003). Estas fibras também têm sido estudadas por possuírem baixa densidade, ser proveniente de fonte renovável, ser biodegradáveis, além do fato de serem atóxicas e de apresentarem boas propriedades térmicas e alto módulo específico.

As fibras vegetais tem sido alvo de investigação desde alguns anos, onde particularmente o governo da Índia na década de 70 promoveu a construção de casas populares com compósitos à base de juta e poliéster (Bledzki & Gassan, 1999). As fibras são compostas de fibrilas, material celulósico, unidos pelo material ligante da planta, suas composições químicas são semelhantes, sendo compostas basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, associada a outros materiais em pequenas proporções (Mendes, 2002).

Durante a década de 90 inúmeras patentes americanas foram depositadas, demonstrando o interesse futuro no desenvolvimento e aplicação industrial nos compósitos poliméricos (Wollerdorfer & Bader, 2000; English, 1998). Fibras de sisal foram analisadas quanto a sua composição e comprimento crítico em matriz poliéster, e identificou-se o efeito da percentagem ponderal da fibra em função das propriedades mecânicas do compósito (Carvalho et al, 1999).

Estudos com fibra vegetais do coco na sua forma micronizada ou moída apresentam importância significativa pelo fato de produzirem compósitos poliméricos com maior homogeneidade do material (Correa et al, 2003). As fibras moídas apresentam uma maior área de contato em relação às fibras longas. Isto possibilita uma maior interação entre os constituintes do compósito, o que termina por favorecer uma melhor interação física entre eles. Além disto, as propriedades do compósito são mais isotrópicas favorecendo a sua aplicação e utilização em aplicações diversas.

Por outro lado, as fibras moídas possuem uma alta capacidade de reidratação ou mesmo absorção de umidade a partir do ar, o que pode ser um inconveniente para aplicações industriais, podendo inclusive inviabilizar a sua

utilização. As fibras vegetais de coco, rapidamente absorvem a umidade do ambiente aumentando consideravelmente a sua densidade e incorporando água a composição desta e conseqüentemente alterando as propriedades finais do compósito ou produto industrial.

O processamento de materiais compósitos poliméricos e fibras vegetais apresentam particularidades importantes no que se refere às condições de cura e as propriedades mecânicas. No processo químico de reticulação do poliéster insaturado ortoftálico utilizando iniciador peróxido de metil etil cetona e acelerador a base de cobalto, a água pode interferir na velocidade de cura do polímero.

Neste trabalho avaliaram-se cinco amostras de corpos de prova de material compósitos a base de poliéster insaturado ortoftálico e fibras de coco com 100 mesh de granulometria, onde foi variado o teor de umidade na fibra. Observou-se a propriedade mecânica de flexão destes corpos de prova, por meio de ensaio bi-apoiado com aplicação de carga em um ponto central segundo norma técnica ABNT 7447.

## 2. METODOLOGIA

As frutas de coco verde foram colhidas no momento do seu processamento, sendo descascadas de forma a extrair do mesocarpo as fibras a serem utilizadas. Estas cortadas mediam aproximadamente 10 x 10 mm e tinham um comprimento aleatório. Imediatamente após o corte as fibras foram acondicionadas em recipiente contendo água limpa, de forma a evitar a oxidação da fibra em presença do ar atmosférico. As fibras foram então colocadas em estufa com circulação de ar marca Biopar modelo: S2550AT e secas durante 8 horas a temperatura de 120 °C. Após a secagem apresentaram espessura média de 2,5 x 10 mm e comprimento aleatório. Foram moídas em moinho de facas marca TECNAL modelo WILLYE TE-648 e separadas por peneiras conforme norma técnica NBR 10439 método A.

As fibras de granulometria de 100 mesh foram então novamente secas, desta vez em forno microondas na potência de 90W até a estabilização do seu peso, para só então ficarem exposta em condições ambiente e atingirem as umidades controladas de 12,5, 25 e 50% em peso, necessárias para este experimento. No compósito a carga lignocelulósica foi adicionada na fração mássica de 5% em relação ao polímero.

O poliéster insaturado ortoftálico pré-acelerado com sal de cobalto foi obtido da empresa Cromitec sendo reticulado com 1% de iniciador peróxido de metil etil cetona em solução de estireno. Para a pesagem dos materiais utilizou-se balança de cinco casas decimais da marca Bioprecisa modelo FA 2104 N.

A mistura do compósito foi feito num agitador mecânico da marca SERVITECH modelo CT-054 a uma velocidade de 200RPM. Os corpos de prova foram feitos utilizando-se matrizes siliconadas, e curadas por 60 minutos em temperatura ambiente em pós-curadas em estufa à 85°C por mais 60 minutos.

Avaliamos a resistência mecânica à flexão dos corpos de prova de fibras contendo umidade e comparamos com compósitos formados com a fibra seca. Os ensaios foram conduzidos em equipamento de ensaio universal com deslocamento negativo e obedecendo as condições da norma ABNT NBR 7447.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram confeccionados corpos de prova visando analisar a influência da umidade na reticulação. Avaliou-se a propriedade mecânica de deformação sob tensão e resistência à flexão. As fibras completamente secas foram pesadas na proporção de 5% em relação ao polímero e posteriormente mantidas em ambiente úmido até atingirem umidade à fibra. As frações volumétricas dos constituintes do compósito com 5% em massa de fibra, isto é, da fibra isenta de umidade ( $V_f$ ) e da resina poliéster ( $V_m$ ) foram obtidas a partir das densidades desses materiais conforme indicado na Eq. (1), onde  $m_f$  e  $m_m$  corresponde á massa da fibra e do polímero respectivamente e  $\rho_f$  e  $\rho_m$  as densidades da fibra e do polímero respectivamente.

$$V_f = \frac{\frac{m_f}{\rho_f}}{\frac{m_f}{\rho_f} + \frac{m_m}{\rho_m}}$$

A fração volumétrica da fibra de coco no compósito polimérica é um dado importante a ser considerado para a propriedade de densidade do material (Vianna et al, 2008). Os compósitos foram confeccionados com 5% em massa de fibras de coco, no entanto a fração volumétrica das fibras atinge a proporção de 25%. Devido à baixa densidade das fibras moídas conforme apresentado na Tab. (1), observa-se que a densidade destas diminui à medida que o tamanho de partícula também diminui. Isto indica que quanto menor o tamanho de partícula maior deve ser o espaçamento entre elas.

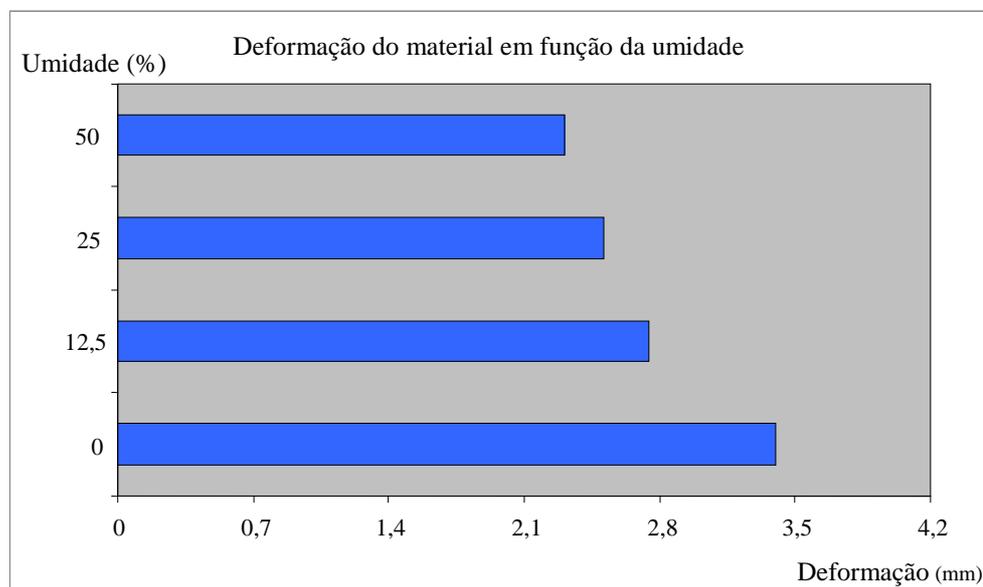
**Tabela 1. Densidade das fibras moídas em moinho de facas e separadas conforme tamanho de partícula**

Granulometria (mesh)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
100	0,18
80	0,20
50	0,23
40	0,24

Devido às características altamente higroscópicas das fibras vegetais, o seu armazenamento e mesmo a utilização no momento do processamento torna um fator importante e que exige cuidados especiais. A presença de umidade altera a velocidade de reticulação das fibras ao mesmo tempo em que influencia nas propriedades mecânicas do compósito com poliéster ortoftálico, estireno e peróxido de metil etil cetona

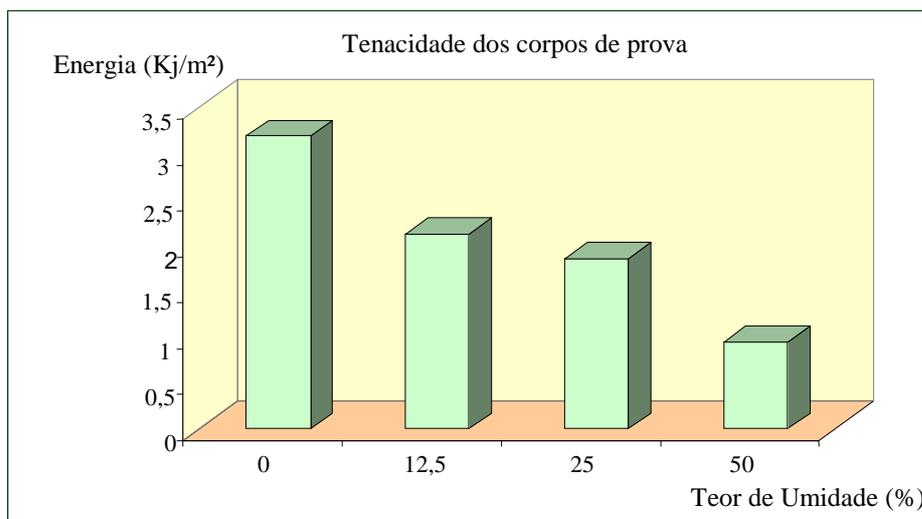
Além disto, a umidade altera diretamente a processabilidade do compósito, diante do qual a sua viscosidade também é alterada. A viscosidade do compósito tende a aumentar de maneira mais ou menos proporcional a quantidade volumétrica da fibra. Outro dado importante relacionado à fibra é que a sua presença é a principal responsável pela absorção de umidade do compósito. Algumas outras causas também contribuem para absorção de água como a absorção pela própria massa polimérica a partir da umidade do ar, umidade absorvida na parede da matriz e umidade presente no peróxido.

Para cada ensaio foram confeccionados 6 corpos de prova de cada amostra sendo que estas possuíam as mesmas dimensões. Ao ensaiar este material com umidade em sua composição, obtiveram-se diferentes respostas mecânicas. Fazendo uma análise comparativa da deformação em função do teor da umidade pode-se perceber que a fibra isenta de umidade apresenta deformação maior do que a fibra úmida. Através da Fig. (1) podemos perceber que há uma diminuição quase linear da deformação destes corpos de prova quando solicitado a flexão.

**Figura 1. Deformação dos corpos de prova com variação do teor de umidade a partir de ensaio de flexão.**

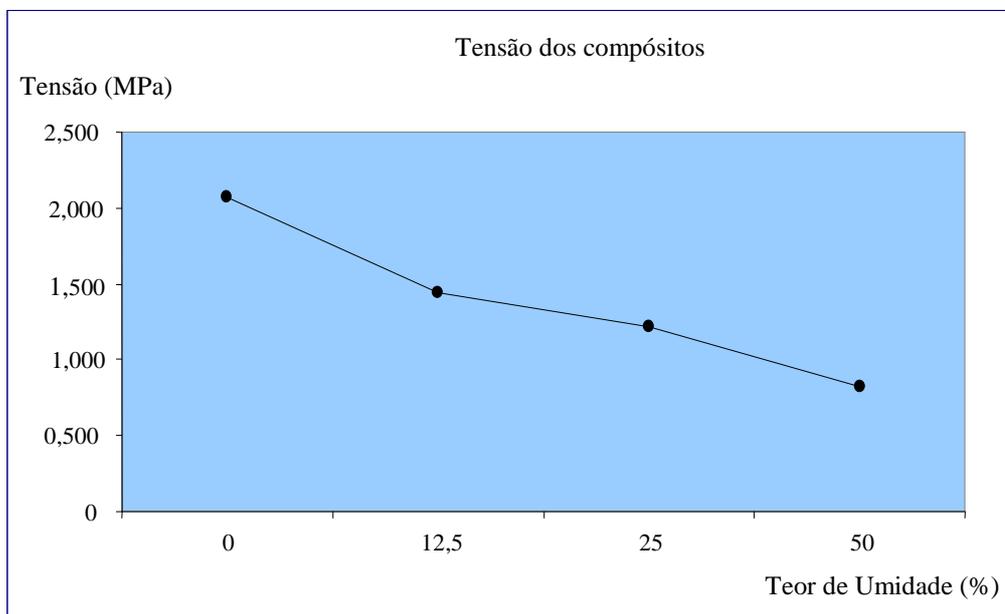
Nota-se também que compósitos formados com menor teor de umidade têm maior tenacidade, indicando que ocorre nestes casos uma maior absorção de energia por parte dos corpos de prova. Possivelmente a umidade que interferiu no processo da formação do compósito, servindo como um empecilho para a mais completa reticulação das cadeias poliméricas, dificultou a maior tenacidade ou absorção de energia no momento da solicitação mecânica. Esta interferência está centrada na capacidade que o arranjo molecular tem em se recomodar no momento da flexão imposta ao material, absorvendo assim mais energia mecânica quanto maior a capacidade que o material tem redistribuir entre suas moléculas esta energia.

O gráfico da Fig. (2) apresenta os resultados do teste de flexão na fibra seca e com diferentes proporções de umidade.



**Figura 2. Tenacidade dos corpos de prova de material polimérico e fibra vegetal com diferente teor de umidade.**

Sabendo-se que a absorção de umidade é determinada pela área de contato entre os constituintes, assume-se que a maior parte desta umidade foi acomodada nas partículas que estão em contato com o ar atmosférico. As fibras que foram mantidas a atmosfera ambiente com umidade relativa do ar entre 80 e 90% e incorporaram água na sua estrutura, apresentaram propriedade diferente com relação à resistência mecânica nos corpos de prova quando submetidos à flexão. O teor de umidade na composição do corpo de prova refletiu de forma substancial em sua propriedade, pois os compósitos gerados a partir de fibras secas suportaram uma tensão significativamente maior quando comparado aos que estavam úmidas. A Fig. (3), demonstra a tensão dos corpos de prova de acordo a umidade presente na composição da fibra.



**Figura 3. Gráfico da tensão dos corpos de prova em função da umidade.**

A morfologia da fibra e a sua composição química são fatores que influenciam no processo de absorção de umidade. Devido à alta porosidade que as fibras apresentam, e que estão relacionadas com a sua baixa densidade além da sua composição química, estas podem hospedar quantidades significativas de água entre o arranjo celulósico. Segundo trabalhos de Frollini (2002), a composição química constituída de lignina é uma das responsáveis pela absorção de água na fibra vegetal, entretanto a parede celular da fibra parece ser a causa principal. Os estudos de Mitra et al (2000), afirmam que a água encontra lugar entre os espaços livres dos feixes adjacentes de fibra, os quais alojam água até a sua completa saturação.

A água na superfície da fibra age como um agente de separação na interface fibra-matriz devido aos vazios que aparecem na matriz por conta da vaporização da água durante o processo de secagem do compósito. Esses vazios acabam por diminuir as propriedades mecânicas do compósito.

No desenvolvimento dos trabalhos de formação de compósitos, observamos que a fibra adquire muito rapidamente a umidade a partir do ar atmosférico quando em contato direto com este. A absorção de umidade das fibras influencia em dois fatores importantes no material compósito, o que se reflete na alteração das propriedades mecânicas do material. A variação do peso absoluto e conseqüentemente a fração volumétrica da fibra é distorcida se não for considerada a umidade presente. Isto permite que na formação do compósito uma menor quantidade de fibra seja incorporada em troca da qual uma quantidade de umidade é adicionada ao polímero.

Outro fator importante o qual é o objetivo principal deste trabalho está relacionado com a influência da umidade na velocidade de reticulação do poliéster do tipo ortoftálico. Na reticulação de poliéster utilizando sais de cobalto como acelerador, a umidade contida na fibra é suficiente para reagir com o sal de cobalto e formar um complexo menos ativo, o que retarda a velocidade de reticulação aumentando o tempo de gel.

Visando estudar a influência do processo de cura no compósito foram confeccionados corpos de prova que contendo 12,5% de umidade variando o período de permanência na estufa de 60 e 180 minutos à 85°C. As Fig. (4) e (5) são os resultados do ensaio de flexão seguindo norma ABNT 7447.

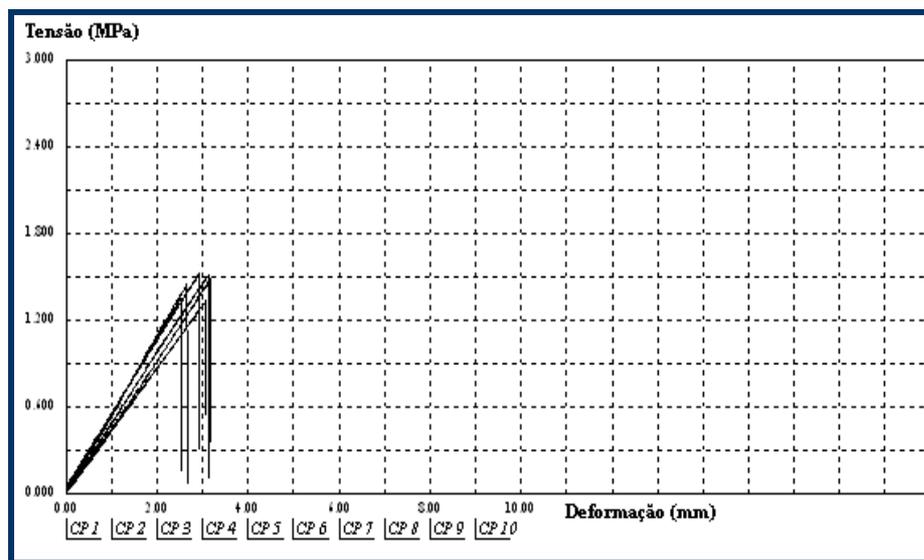


Figura 4: Tensão x deformação de compósitos a base de poliéster e 5% p/p de fibra á 100mesh com 12,5% e acondicionadas por 60 minutos á 85 °C.

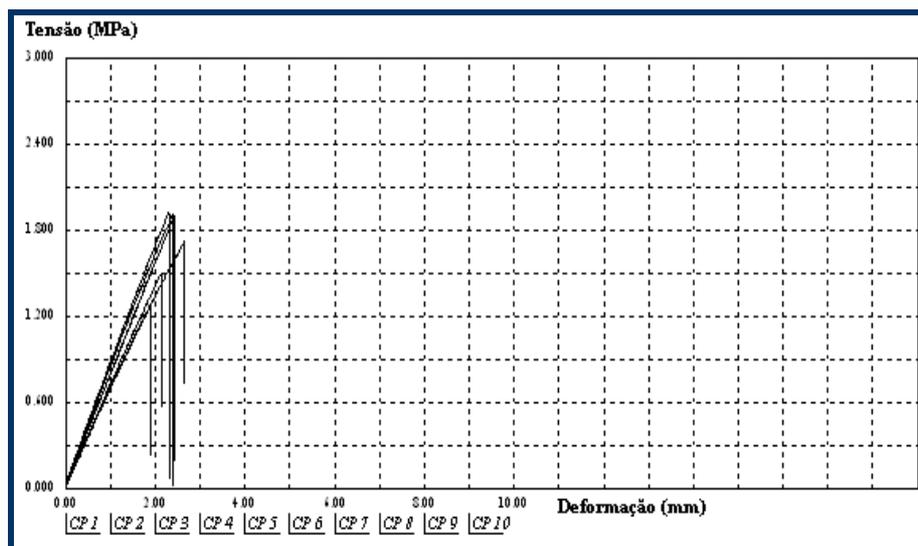
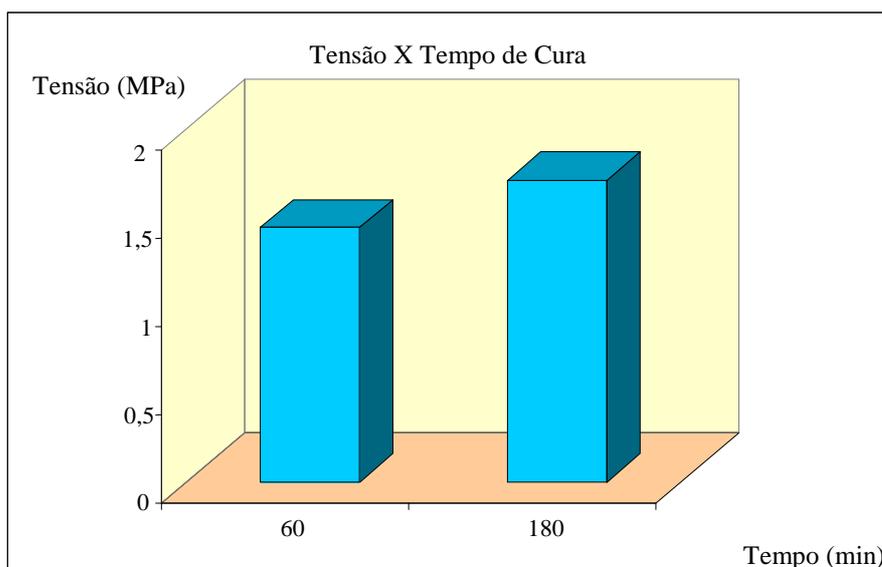


Figura 5. Tensão x deformação de compósitos a base de poliéster e 5% p/p de fibra á 100mesh com 12,5% e acondicionadas por 180 minutos á 85 °C.

O gráfico da Fig. (6) apresenta os resultados do teste de flexão em material compósito em função do tempo de cura na fibra seca e com diferentes proporções de umidade.



**Figura 6. Resultado da tensão em corpos de prova com 12,5% de umidade na fibra em função do tempo de cura.**

Os valores de tensão dos compósitos com tempos de permanência de 60 e 180 minutos em estufa a 85°C demonstraram uma variação das propriedades mecânicas. Os corpos de prova que ficaram mais tempo acondicionados na estufa apresentaram uma resistência mecânica significativamente maior

O fato de impormos uma maior quantidade de energia térmica ao material favorece dois fatores fundamentais para a reticulação do polímero. O primeiro fator está relacionado com a velocidade de reação de reticulação do poliéster. Quanto maior energia térmica é adicionada ao sistema, maior será a velocidade de reação e conseqüentemente a sua reticulação.

O segundo fator está baseado na evaporação da água presente no compósito, diminui na medida em que o material é aquecido. Conseqüentemente a menor quantidade de umidade favorece a maior velocidade de reticulação ou cura do polímero.

#### 4. CONCLUSÃO:

Os resultados deste trabalho demonstraram que a umidade interfere nas propriedades mecânicas do material compósito (polímero e fibra de coco). A deformação dos compósitos com 12,5, 25 e 50% de teor umidade na fibra foi menor para aquelas que tinham mais água na sua composição. Os corpos de prova que tinham menos umidade demonstraram possuir maior resistência a tensão, comportamento este igual para a tenacidade. Ao condicionar os compósitos com 12,5% de umidade na estufa variando o tempo de permanência destes de 60 minutos para 180 minutos, foi constatado um aumento da resistência em função da exposição à temperatura.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Bledzki, A.K, Reihmane, S., Gassan J., 1999, "Composites reinforced with cellulose based fibres". Progress in Polymer Science. Vol. 24, pp. 221.
- Correa, C. A., Fonseca, C. N. P., Neves, S., Razzino, C. A., Hage Jr., E., 2003, Polímeros Vol. 13, pp. 154.
- Das, S., Saha, A. K., Choudhury, P. K., Basak, R. K., Mitra, B. C., Todd, T., Lang, S., 2000, J. Appl. Polym. Sci. Vol. 76, pp. 1652.
- English, B., 2000, Proceedings of the Wood-plastic conference. 60.
- Joseph, K., Medeiros, E. S., Carvalho, L. H., 1999, Polímeros: Ciência e Tecnologia. Vol. 9, pp. 136.
- Lee, S. M., 1989, Natural fiber composites. In: International encyclopedia of composites. Vol. 4, pp. 8-16.
- Mendes, J., 2002, "Desenvolvimento de um composto biodegradável para isolamento térmico". Dissertação de Doutorado. PDCEM/UFRRN.
- Silva, R. R. F., Obeltrão, N. E. M., 1999, "O agronegócio do sisal no Brasil". Brasília: EMBRAPASPI.
- Souza, A., Souza D. A., 2003, "Estrutura e Propriedades da Fibra de Coco e do Compósito Fibra de Coco/Poliuretana", artigo em impressão.
- Tita, S. P. S., Paiva, J. M. F., Frollini, E., 2002, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Vol. 12, pp. 228.
- Vianna, W. L., Correa, C. A., Razzino, C. A., 2008, Polímeros, Vol. 4, pp. 339.
- Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, 2003, I. Composites Science and Technology. Vol. 63, pp.1259.
- Wollerdorfer, M., Bader, H., 1998, Ind. Crops and Prod., Vol. 8, pp. 105.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES IN RELATION TO MOISTURE FIBER PLANT USED FOR CONSTRUCTION OF COMPOSITE POLYMERIC**

**Abstract:** *The vegetable fibers have good compatibility in polymer composites is achieving a good mechanical performance. In addition, vegetable fibers emerge as an alternative economic and natural, its production generates a low environmental impact, and presents a low cost, coupled with other factors that have to be from recyclable and renewable resource. Evaluated in this study the mechanical behavior by testing a three-point bending of composite polyester base orthophthalic and coconut-fiber moisture content. The fibers were micronized in a grinder of knives, selected through sieves and were exposed to atmospheric environment with considerable moisture content for further training and evaluation of composites. The composites were evaluated using specimens made and tested according to standards Brazilian NBR 7447. As a result of this work is observed that the moisture influence on the healing process of the composite polyester base orthophthalic and micronized coconut fiber, interfering in the mechanical properties by.*

**Keywords:** *Composite, coconut fiber, polyester, Moisture.*