



## OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO SANDUÍCHE DE POLIAMIDA 11 E FIBRA DE JUTA

Anderson Moreno<sup>1</sup>, Frederico O. Keller<sup>2</sup>, Philippe Evon<sup>3</sup>, Laurent Labonne<sup>4</sup>, France Chabert<sup>5</sup>

**Resumo:** O objetivo desse estudo foi criar um material compósito sanduíche, de origem renovável aliando boas propriedades mecânicas e de isolamento térmica. Para isso, a poliamida 11 (PA 11) foi utilizada como matriz e a fibra de juta, como reforço. A PA 11 é um polímero termoplástico de origem renovável, fabricado a partir de óleo de mamona, conhecida por suas propriedades contra agentes químicos. A fibra de juta é a segunda fibra natural mais cultivada no mundo e é igualmente barata. O material compósito sanduíche foi criado a partir de uma termoprensa. A malha de juta foi utilizada pré-impregnada de PA 11 em alguns casos. Diversos compósitos foram criados, variando-se a pressão, tempo e temperatura. Após a caracterização, notou-se um aumento do módulo em flexão, tensão em flexão e módulo de Young de todos os compósitos em relação à uma referência, a pré-impregnação da juta também resultou em maior rigidez dos compósitos. O compósito sanduíche apresentou ganhos de no mínimo 3 vezes em tensão na flexão máxima em comparação à referência, e módulo em flexão teve também um aumento dessa proporção, mostrando que o compósito é promissor.

**Palavras-chave:** Compósito Sanduíche. Fibras de Juta. Poliamida 11. Propriedades Mecânicas. Pré-impregnação.

### 1 INTRODUÇÃO

Com os constantes impactos ambientais das atividades humanas em nosso meio, surgem e se desenvolvem os eco materiais, em que o termo desenvolvimento sustentável é cada vez mais utilizado (CARMA, 2006). Na última década, compósitos a base de polímeros reforçados com fibras naturais foram alvo de numerosos desenvolvimentos, tanto em indústria quando em laboratórios acadêmicos (DOAN, 2006).

Diversos materiais podem ser criados associando uma matriz e uma fibra de reforço. Nos termoplásticos, existem os de origem vegetal (amido de milho, ácido poli láctico – PLA, polihidroxialcanoatos – PHA) utilizáveis como matriz, e para reforço fibras vegetais (cânhamo, linho, juta, entre outros), que apresentam propriedades mecânicas específicas importantes e numerosas qualidades que se destacam quanto ao impacto ambiental. Tais recursos renováveis, são muitas vezes biodegradáveis, neutros quanto às emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera e demanda pouca energia para ser produzido. Essas fibras podem substituir as fibras de vidro em numerosos domínios, ou permite alcançar novos mercados (CARMA, 2006).

<sup>1</sup>Centro Universitário SOCIESC – UNISOCIESC – E-mail: andersonmoreno@outlook.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – E-mail: keller.frederico@gmail.com

<sup>3</sup>Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle – AGROMAT – INP – ENCIACET – E-mail: philippe.evon@ensiacet.fr

<sup>4</sup>Laboratoire de Chimie Agro-Industrielle – AGROMAT – INP – ENCIACET – E-mail: laurent.labonne@enciacet.fr



<sup>5</sup>Laboratoire de Génie de Production – École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes – E-mail: france.chabert@enit.fr

A partir desse princípio, criou-se um compósito sanduíche de poliamida 11 e fibra de juta. O trabalho consistiu em estudar diferentes parâmetros de termoprensagem entre a PA 11 e a fibra de juta. A pré-impregnação da malha de juta pela PA 11 foi igualmente estudada. Ao final, os compósitos criados terão suas características comparadas mecanicamente com as do polímero termoprensado sem reforço.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente os grãos de poliamida 11, cujo ponto de fusão é de aproximadamente 190°C, foram previamente secos em estufa durante 4 horas à 105°C, depois extrudados em uma Scamex 30-26D em filmes de diversas espessuras e moldados por injeção em uma Negri Bossi VE 160-720 em corpos de prova normalizados para ensaios de tração e flexão. O primeiro método visando realizar as termoprensagens, e o segundo obter as características mecânicas do polímero para fins de comparação.

A pré-impregnação da malha de juta, visada em adquirir uma massa de 100% de polímero em relação à sua massa inicial, foi obtida a partir da dissolução dos grãos de PA 11 em uma mistura solvente de ácido fórmico e diclorometano, em uma razão volumétrica de solvente de 1/3 respectivamente (BEHLER, 2007). Para a fibra adquirir essa massa, ensaios e interpolações foram realizados afim de chegar à uma concentração de PA 11 no solvente de 0,167 g/ml em um bquer fechado sob aquecimento de 60°C, no qual a fibra foi mergulhada na solução, ainda sob aquecimento e posteriormente foram deixadas secar sob uma grelha, de modo a deixar os solventes evaporarem de ambas as faces da fibra.

As fibras e os filmes de PA 11 foram cortados de modo que coubessem em um molde 15x15 cm, e ambos foram secos em estufa durante 4 horas à 105°C, logo em seguida foram colocados no molde e levados à termoprensa. Foram termoprensados diversos compósitos, com a fibra de juta normal e a pré-impregnada avaliando a influência da pressão, temperatura e tempo de prensagem no material compósito utilizando uma prensa hidráulica de placas aquecidas de 400 toneladas, com uma pressão máxima de 275 bar no circuito hidráulico.

Depois de termoprensados, os corpos de prova foram cortados de modo a serem lavados à ensaios de flexão em uma Instron 33R4204. O ensaio de flexão seguiu a norma NF EN ISO 178 (2011), à temperatura ambiente, onde foram submetidos à uma velocidade de alongamento de 10 mm/min sem extensômetro com uma célula de carga de 50 KN. Os ensaios retornaram valores de força aplicada e deslocamento, que posteriormente de acordo com a norma, foram calculadas suas propriedades em tensão.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após diversas termoprensagens, encontraram-se os melhores parâmetros como tempo, pressão e temperatura para que o compósito fosse testado, a temperatura que melhor se adequou aos testes foi de  $156 \pm 2$  °C ( $429 \pm 2$  K) para o molde, diversas pressões (configuradas na termoprensa) de 0,9 a 1,9 MPa foram aplicadas, e com tempos que variaram de 10 a 240 segundos. Os melhores resultados



para essa série de ensaios, que a fibra utilizada era a não impregnada, que foram os nomeados de A à F foram testados mecanicamente quanto em flexão, e os dois resultados que aparentaram serem os mais promissores, o C e E, foram refeitos com os mesmos parâmetros, porém com a fibra de juta pré-impregnada, agora nomeados Ci e Ei, e foram organizados conforme a Tabela 1, separando-os em baixa pressão e alta pressão aplicada. Nota-se ainda a presença de um compósito de referência R, termoprensado com as mesmas características do compósito C, porém, sem malha de juta entre as placas.

**Tabela 1** - Parâmetros de Desenvolvimento dos Compósitos Sanduíches em Termoprensa

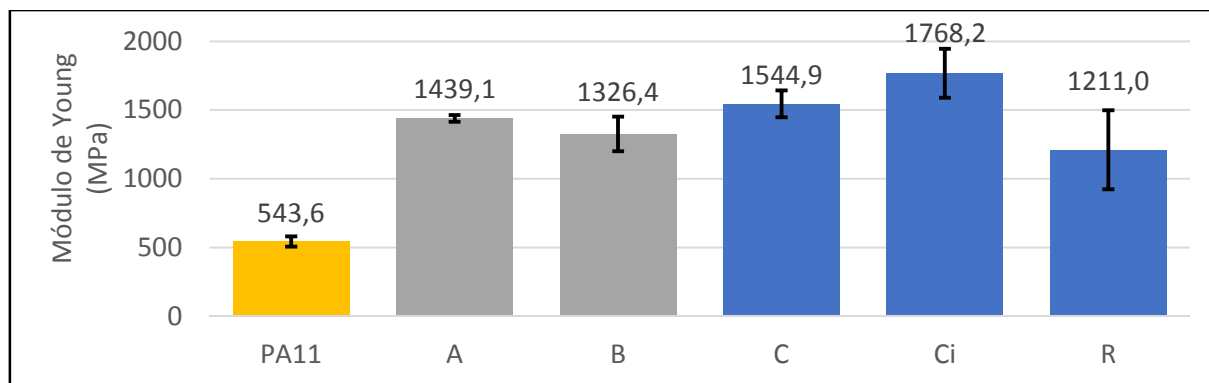
| Corpo de Prova | Característica | Temp. do Molde (K) | Pressão (MPa) | Tempo (s) |
|----------------|----------------|--------------------|---------------|-----------|
| A              | Baixa Pressão  | 429                | 0,9           | 90        |
| B              |                | 429                | 0,9           | 120       |
| C              |                | 431                | 1,2           | 60        |
| Ci             |                | 429                | 1,2           | 60        |
| D              | Alta Pressão   | 428                | 1,9           | 60        |
| E              |                | 430                | 1,9           | 120       |
| F              |                | 431                | 1,9           | 180       |
| Ei             |                | 431                | 1,9           | 120       |
| R              |                | 429                | 1,2           | 60        |

Fonte: O Autor (2014)

Após termoprensadas, as placas de compósitos foram cortadas em corpos de prova característicos de ensaios de flexão, onde consequentemente realizaram-se esses ensaios com 3 a 7 corpos de prova para a mesma amostra de cada termoprensagem.

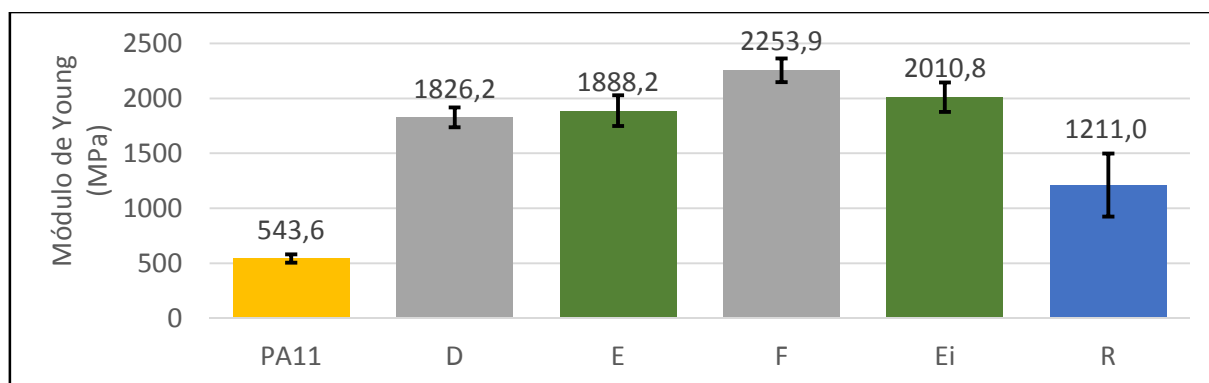
Nas figuras abaixo, confrontam-se características dos compósitos termoprensados com malha de juta impregnada e não impregnada, junto da referência R e as características da PA 11 injetada. A Figura 1 apresenta os Módulos de Young dos compósitos obtidos em baixa pressão na termoprensa e a Figura 2 apresenta as mesmas propriedades para os corpos de prova feitos a alta pressão, mostrando-se na cor azul para características de termoprensagem iguais às do C, verde para características do E, laranja para a PA 11 injetada, e cinza para as demais.

**Figura 1** - Módulo de Young nos Compósitos de Baixa Pressão



Fonte: O Autor (2014)

**Figura 21** - Módulo de Young nos Compósitos de Alta Pressão



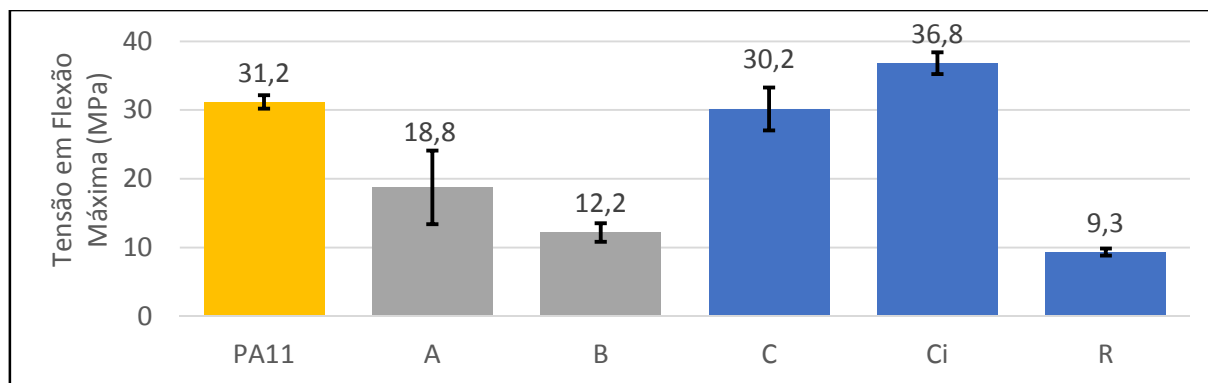
Fonte: O Autor (2014)

Os compósitos termoprensados são todos mais rígidos que a PA 11 sozinha, se explicando pela presença das fibras no interior dessas junções, mostrado pelo aumento do módulo de Young (Elasticidade), que aumenta claramente em relação à PA 11 injetada (mais de quatro vezes superior que para o ensaio F).

Para os ensaios em flexão, as termoprensagens A e B sofreram uma delaminação no curso do ensaio, o mesmo fenômeno foi observado para a referência R. Isso é então traduzido por uma notável baixa da tensão máxima em flexão em relação ao valor obtido para a PA 11 injetada, Figuras 3 e 4. Em geral, todas as tensões máximas em flexão foram claramente maiores que a da referência R. Mas, são os compósitos de malha impregnada (Ci e Ei) que revelaram os valores mais altos dessa tensão, esse último aumentando em 22 e 19% em relação aos valores obtidos com a malha não impregnada.

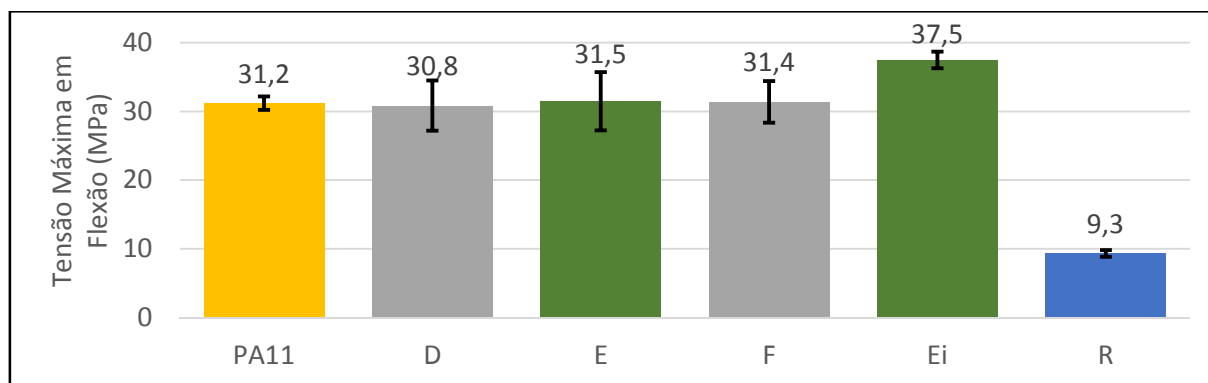


**Figura 3 - Tensão em Flexão Máxima nos Compósitos de Baixa Pressão**



Fonte: O Autor (2014)

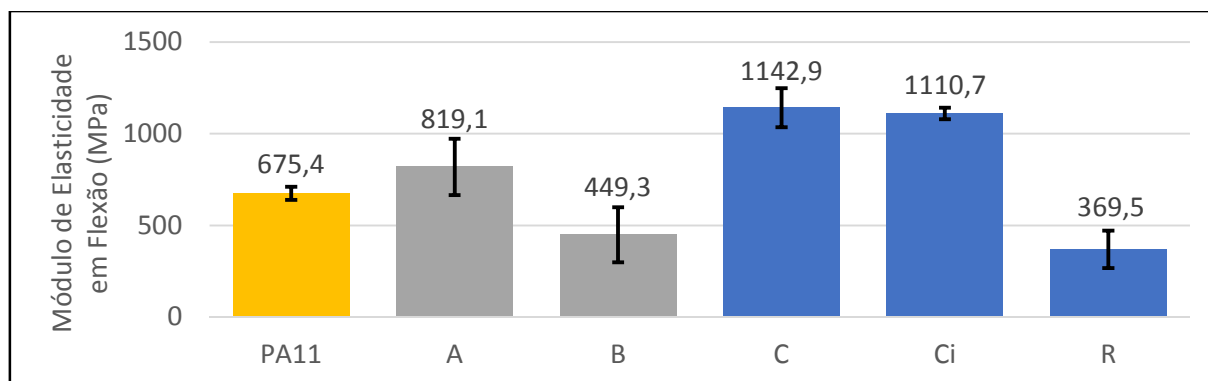
**Figura 4 - Tensão em Flexão Máxima nos Compósitos de Alta Pressão**



Fonte: O Autor (2014)

O módulo de elasticidade em flexão de todas as termoprensagens foi mais elevado que aquelas das referências, Figuras 5 e 6.

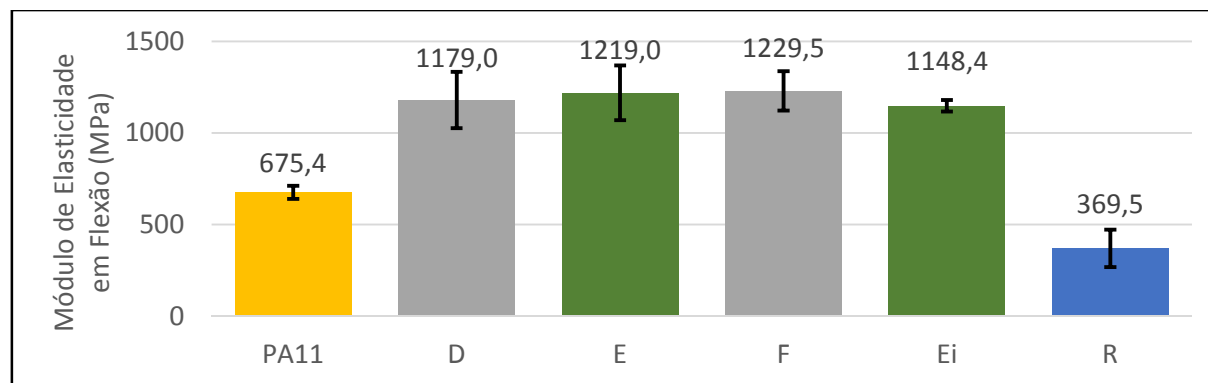
**Figura 5 - Módulo de Elasticidade em Flexão dos Compósitos de Baixa Pressão**



Fonte: O Autor (2014)



**Figura 62** - Módulo de Elasticidade em Flexão dos Compósitos de Alta Pressão



Fonte: O Autor (2014)

Um aumento do módulo de elasticidade foi observado com o aumento do tempo de prensagem e da pressão aplicada na termoprensagem. O ensaio F é aquele associado à amostra mais rígida, quer dizer que é o qual o módulo de elasticidade em flexão é o mais elevado. Uma ligeira diminuição do módulo elástico foi observada quando a termoprensagem é efetuada a partir de uma fibra de juta impregnada.

Enfim, após comparar os resultados, o compósito sanduíche proveniente do ensaio C que pareceu ser o mais promissor em termos mecânicos. Ele é mais resistente que a PA 11 injetada em flexão, mas apresenta igualmente uma melhor resistência mecânica em uma solicitação em flexão que a referência R. Tais resultados merecem ser confirmados afim de melhor identificar o tipo de aplicação prevista para esse compósito.

Com os procedimentos realizados, notou-se diversos fatores que influenciavam diretamente o sucesso da realização do compósito, os principais entre eles é a notável necessidade de secar o polímero sempre antes da sua transformação (moldagem por injeção, extrusão, termoprensagem) e a fibra que sofre deformação quando em contato com o ácido fórmico.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados alcançados mostraram que a PA 11 deve ser sempre seca antes de qualquer transformação, que também apresentou temperaturas de manipulação entre fases rígidas e flexíveis bastante estreitas. A fibra de juta foi um tecido fácil de manipular e fácil de encontrar à baixo custo.

A impregnação das fibras de juta resultou em melhores adesões entre as placas e fibra no compósito, mostrado pelos resultados mecânicos, onde a resistência à flexão máxima foi maior nos compósitos impregnados em relação ao não impregnado. Os ganhos, porém, não são grandes o bastante para justificar a utilização de fibras impregnadas.

Quanto aos ensaios mecânicos, claramente os compósitos apresentaram ganhos em relação à referência. Para o Módulo de Young, se esperava que aumentasse, pois, a adição de fibra no polímero aumentou sua rigidez. Para a tensão em flexão máxima, o compósito apresentou aumentos de no mínimo três vezes o valor da referência, e o módulo em flexão também teve um aumento dessa magnitude. O projeto é promissor à perspectiva dos resultados mecânicos obtidos.



### REFERÊNCIAS

BEHLER, Kris ; HAVEL, Mickael ; GOGOTSI, Yuri. **New Solvent for Polyamides and its Application to Electrospinning of Polyamides 11 and 12**. Drexel University. Philadelphia, 2007.

CARMA – Centre d'Animation Régional en Matériaux Avancés. **Glossaire des Matériaux Composites Renforcés de Fibres d'Origine Renouvelable**. dez. 2006.

DOAN, Thi Thu Loan. **Investigation on Jute Fibers and their Composites Based On Polypropylene and Epoxy Matrices**. Technischen Universität Dresden. Tese (Doutorado). Dresde, 2006.

Norme Française. **Plastiques – Détermination des Propriétés en Flexion**. NF EN ISO 178. La Plaine Saint-Denis: AFNOR, 2011.

### OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF SANDWICH COMPOSITE OF POLYAMIDE 11 AND JUTE FIBER

**Abstract:** *The aim of this project was to create a sandwich composite material from renewable sources combining good mechanical and thermal insulation properties. To this end, polyamide 11 (PA 11) was used as matrix and jute fiber as reinforcement. The PA 11 is a thermoplastic polymer from renewable sources, made from castor oil, known for its properties against chemical agents. The jute fiber is the second most cultivated natural fiber in the world and is also inexpensive. The sandwich composite created from a thermopressing. The jute mesh was used impregnated of PA 11 in some cases. Several composites were created, varying the pressure, temperature and time. After the characterization, it was noted an increase on the bending modulus, bending stress and Young's modulus of all composites in relation to a reference. The jute prepreg also resulted in increased stiffness of the composites. The sandwich composite showed gains of at least 3 times the maximum bending stress compared to the reference, and modulus in bending was also an increase in this ratio, showing that the composite is promising for constructions applications.*

**Keywords:** *Composite Sandwich. Jute Fibers. Polyamide 11. Mechanical Properties. Prepreg.*