

LABORATÓRIO DE MATERIAIS COMPÓSITOS: APRESENTAÇÃO DE UM MÉTODO ARTESANAL NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS COM FIBRAS NATURAIS COMO RECURSO DIDÁTICO EM AULAS PRÁTICAS

José Rodrigo da Conceição Pantoja – rodrigaopantoja44@gmail.com
Igor dos Santos Gomes – igorgomes-@live.com
Jonatas de Sousa Andrade - centrintegradocaesjs@outlook.com
Thomaz Osmane dos Santos Rocha – thosmane@bol.com.br
Douglas Santos Silva – dougsantosilva@gmail.com
Francisco Xavier Lima da Silva – fxavirlima@gmail.com
Patrick Alves Honorato – honoratopatrick089@outlook.com
Ingrid Saraiva da Silva – ingridsaraiva28@hotmail.com
Edileia Pereira da Silva – edileiaengprod@gmail.com
Rodrigo da Silva Magalhães Dias – rodrigo.ma.galhaes@hotmail.com
Geisiane Freitas Miranda – geisiane.f.v.miranda@gmail.com
Roberto Tetsuo Fujiyama – fujiyama.ufpa@gmail.com
Instituto de Tecnologia - ITEC, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM Rua Augusto
Corrêa – n01 66075-110 – Belém – Pará

Resumo: *Este trabalho tem como objetivo propor metodologia de fabricação de material compósito em molde aberto de silicone, a qual foi desenvolvida por alunos de graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, de modo a não só a facilitar o aprendizado de disciplinas da grade curricular, mas também incentivar as práticas em laboratório e o contato dos alunos com a tecnologia de materiais compósitos e em específico com a possibilidade de desenvolver material a partir de fontes renováveis.*

Palavras-chave: *Fibras vegetais. Metodologia. Ensino. Aprendizagem. Fabricação de compósito.*

1 INTRODUÇÃO

As fibras naturais vêm sendo amplamente pesquisadas como reforço em matrizes poliméricas. A necessidade de utilização de fibras lignocelulósicas como sisal, coco, juta, bambu, malva, piaçava, dentre inúmeras outras, está relacionada ao conceito de sustentabilidade, pois, comparadas às fibras sintéticas, as fibras naturais apresentam bom comportamento mecânico, são provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis (JUNIOR, 2013).

Neste cenário, dentre as técnicas mais tradicionais de fabricação de compósitos, a laminação manual assistida por molde aberto mais em uso nos plásticos reforçados por fibras vegetais utilizam, em geral, baixa tecnologia e baixa escala produção, tendo custo acessível em relação à moldagem por infusão a vácuo, por exemplo (COSTA, 2012).

Assim, a fabricação dos compósitos reforçados por fibras naturais além de objetivar o desenvolvimento de materiais ecologicamente corretos, busca métodos de fabricação que possam ser eficientes e com custo/benefício relevantes, com contínua adequação e avaliação das etapas do processo, no sentido de que as propriedades dos materiais sejam estudadas e analisadas de modo satisfatório.

Portanto, este trabalho tem como objetivo propor metodologia de fabricação de material compósito em molde aberto de silicone, a qual foi desenvolvida por alunos de graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, de modo a não só a facilitar o aprendizado de disciplinas da grade curricular, mas também incentivar as práticas em laboratório e o contato dos alunos com a tecnologia de materiais compósitos e em específico com a possibilidade de desenvolver material a partir de fontes renováveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Materiais compósitos

Os compósitos são basicamente constituídos de duas fases: a fase contínua, representada pela matriz, cuja função é distribuir e transferir as tensões requisitadas para o reforço, ligá-los entre si, além de proteger a sua superfície; a fase dispersa, imiscuída na matriz, é representada pela próprio reforço. Esta fase é denominada componente estrutural e determina a natureza da estrutura interna do compósito e de modo geral atua como substância de reforço ou enchimento da matriz (LEVIN NETO e PARDINI, 2006).

A exemplo de matriz polimérica, há o poliéster insaturado, que inicialmente se encontra no estado líquido e após a adição de promotores, como o peróxido de metil-etil-cetona (MEKP), transforma-se no estado sólido, caracterizando uma estrutura termorrígida, irreversível.

2.2 Compósitos reforçados por fibras

As fibras de vidro, carbono e aramidas são as mais utilizadas como componente importante do reforço de compósitos. Devido ao elevado custo de produção e fabricação das fibras de carbono e aramida, são apenas utilizadas em aplicações que exigem elevada segurança na indústria aeronáutica e espacial (MOURA et al., 2005).

A preocupação mundial com o meio ambiente e a sobrevivência das indústrias nacionais em um mercado competitivo vêm incentivando a utilização de materiais naturais, tendo as fibras vegetais despertado interesse de utilização como reforço de matrizes termofixas e termoplásticas (JOSEPH, 1999).

*Fibras de Piaçava (*Attalea funifera*)*

No Brasil existem seis palmeiras que produzem piaçava, sendo quatro na Região Norte e duas na Região Nordeste. A extração das fibras é feita manualmente e não requer o corte das folhas. Dependendo da altura, o coletor tem que subir na palmeira até a altura das folhas. Para isso, ele usa uma escada rudimentar feita no local com troncos de pequenas árvores encontradas nas proximidades. A seleção das plantas a serem coletadas é feita visualmente e o coletor leva em consideração a quantidade de folhas em cada planta e a quantidade de fibras em cada folha (IBGE, 2007).

A Figura 2 mostra a extração da fibra da palmeira de piaçava, conhecida como Piaçaveira pelos caboclos que moram nas proximidades da bacia do rio Negro.

Figura 2 - Extração das fibras de Piaçava na floresta tropical amazônica.



Fonte: Bentes, 2006.

Fibras de Juta (Corchorus capsularis)

A juta é o nome dado à fibra extraída do caule das plantas pertencentes ao gênero *Corchorus*, da família *Tiliaceae*. Cerca de quarenta espécies desse gênero são conhecidas em todo o mundo, mas apenas as espécies *C. capsularis* (juta branca) e *C. olitorius* (juta tossa) são cultivadas (RAHMAN, 2010).

A fibra de juta é amplamente utilizada, além de embalagem em todo o mundo, como revestimento de pavimentos, material de isolamento, proteção do solo, artesanato, entre outros. Tem potencial para ser utilizada como geotêxtil para aplicação em estabilização de solos e controle de erosão (GRAUPNER e MÜSSIG, 2010).

A Figura 3 mostra a planta de onde é extraída a fibra de juta e o aspecto da fibra após a extração.

Figura 3. (a) Planta de onde é extraída a fibra de juta e (b) Fibra após a extração.



(a)



(b)

Fonte: Alila et al., 2013.

2.3 Desenvolvimento de metodologia de fabricação de material compósito reforçado por fibras curtas

Levando em conta a linha de estudo e a produção científica em contínua evolução, tanto no aperfeiçoando de técnicas e metodologia de manipulação dos materiais, quanto pela variedade de matérias-primas que se adequem a realidade do local aonde são produzidas e adquiridas, busca-se com o aprimoramento da didática ambiental o desenvolvimento sustentável quando da utilização racional dos recursos naturais, reaproveitamento dos já consolidados e potencialização de alternativas para o uso desses como reforços em materiais compósitos.

Assim, o ensino e pesquisa, têm como intuito não apenas de despertar o interesse dos discentes a essa linha de ensino da graduação, sob a ótica de recurso renovável, como também possibilitar e incentivar o acolhimento desses estudantes no laboratório, de modo a possibilitar o processo de aprendizado das metodologias já consolidadas ou a possibilidade de criar soluções para melhorar as etapas de produção já existentes.

Para tanto é necessário considerar que, segundo Costa (2012), o desenvolvimento e a maneira com que os diferentes componentes dos compósitos são combinados estão

intimamente relacionados com seus métodos e processos de fabricação. O processo de fabricação a ser utilizado na fabricação de um compósito depende do que se quer obter como produto final (formato da peça, dimensão, e acabamento) e a escala de produção necessária na fabricação.

Um dos processos de fabricação em molde aberto mais em uso nos plásticos reforçados por fibras vegetais curtas e que utiliza, em geral, baixa tecnologia e baixa escala produção, é a laminação manual (*hand lay up*). Neste processo, as fibras são colocadas sobre o molde após sua mistura com a resina, de modo uniforme, com o objetivo de eliminar bolhas de ar (descontinuidades). O moldado é curado sem calor nem pressão.

3 MATERIAIS E ROTA DE APRENDIZAGEM

3.1 Materiais

Resina poliéster e agente de cura

Para a realização deste estudo foi utilizada a matriz de poliéster tereftálico insaturado, (tipo CRISTAL), fabricada pela CENTERGLASS RESINAS & FIBRAS DE VIDRO. O agente de cura trata-se do peróxido de metil-etil-cetona (MEKP). Estes foram adquiridos no comércio da Região Metropolitana de Belém - PA e são mostrados na Figura 4.

Figura 4 - (a) Resina poliéster e (b) catalizador.



(a)



(b)

Fibras de piaçava e de juta

As fibras utilizadas no desenvolvimento do ensino para os alunos, foram a fibra de Piaçava e a fibra de juta, encontradas em pequenas fábricas da região metropolitana de Belém em condições ambientes, sem excesso de umidade e sem nenhum tipo de tratamento químico. A Figura 5 ilustra as fibras de Piaçava e Juta.

Figura 5 - (a) Fibras de piaçava; (b) Fibras de Juta.



(a)



(b)

Balança de precisão

Foi utilizada balança digital de precisão de duas casas decimais, modelo MK-DC-06, mostrada na Figura 6, para a aferição das amostras de fibras de piaçava e juta a serem usadas no ensino da fabricação dos corpos de prova.

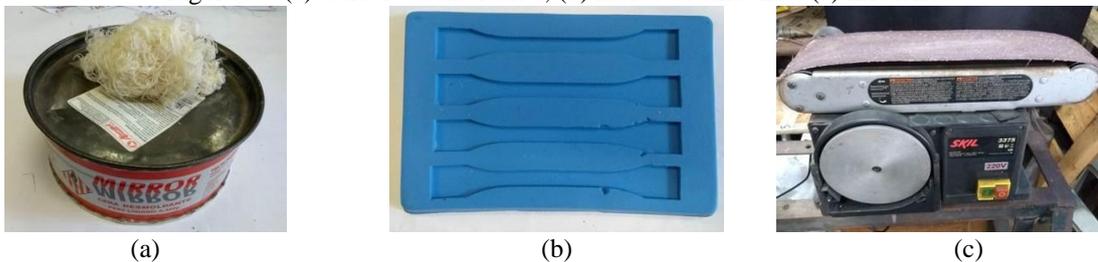
Figura 6 - Balança de precisão de duas casas decimais.



Molde de silicone e máquina de lixar

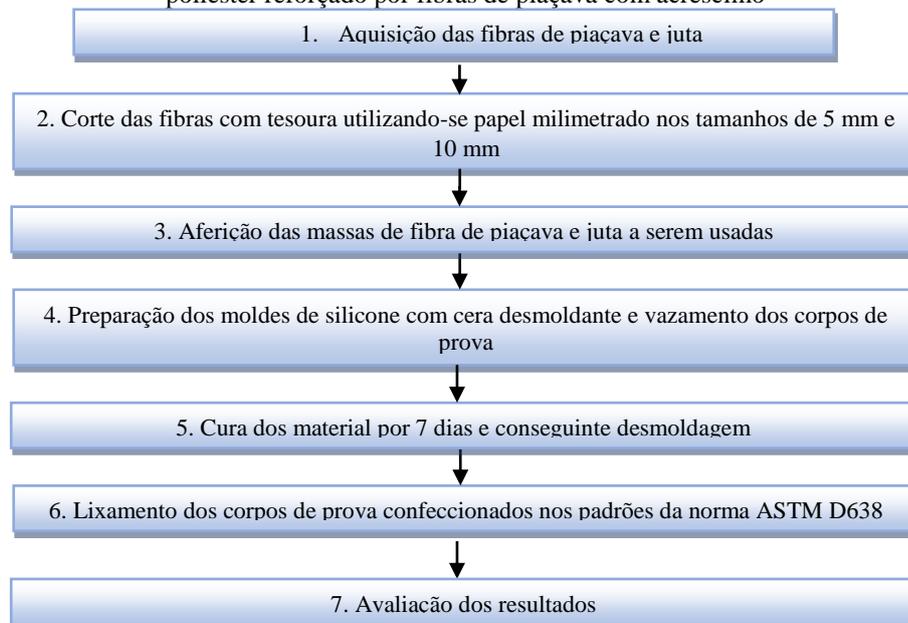
Utilizou-se molde de silicone, o qual proporciona excelente consistência mecânica, sendo necessário cera desmoldante para retirada dos corpos de prova depois da cura, de modo que não haja interação da resina poliéster com o molde. A cera desmoldante e o molde são mostrados na Figura 7, na qual também é mostrada lixadeira industrial SKIL 3375, utilizada para conferir o acabamento superficial nos corpos de prova.

Figura 7 – (a) Cera de desmoldante, (b) molde de silicone e (c) lixadeira.



3.2 Rota de aprendizagem

Figura 8 – Fluxograma de ensino-aprendizagem sobre a fabricação de compósito de poliéster reforçado por fibras de piaçava com acréscimo



Para o ensino das práticas de fabricação de compósitos, explicou-se primeiramente aos alunos a importância da utilização de materiais regionais, como alternativas viáveis e

sustentáveis a serem aplicados como substituição de materiais não renováveis, sendo um importante passo para a sustentabilidade em âmbito acadêmico e industrial.

Durante o ensino-aprendizagem dos alunos no laboratório, ensinou-se o processo manual e artesanal de fabricação dos compósitos, instigando-os a desenvolver metodologia de fabricação dos corpos de provas nos padrões da norma ASTM D638, desde a forma bruta da fibra até a forma final de utilização para ensaios mecânicos. Os passos de tal metodologia são mostrados no fluxograma da Figura 8.

Diante disso, foram utilizados como parâmetro de ensino-aprendizagem a fabricação dos materiais compósitos de fibras de piaçava, seccionados em comprimentos de 5 mm e 10 mm, com acréscimo de 1% da fração mássica de fibra de juta de 5 mm.

Corte das fibras de piaçava e juta

De acordo com as explicações iniciais, mostrou-se aos alunos a maneira de secção manual das fibras, utilizando como materiais tesoura e papel milimetrado nos tamanhos 5 mm e 10 mm. Este procedimento pode ser representado na Figura 9, sendo observado o contato do aluno com a forma prática de seccionamento manual das fibras de piaçava e juta.

Figura 9 – Corte das fibras de (a) piaçava e (b) juta em papel milimetrado.

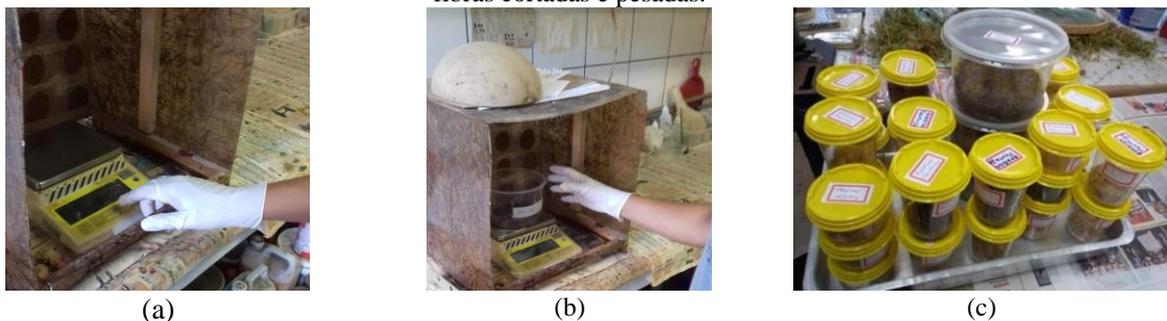


Fabricação dos corpos de prova

Houve orientação aos alunos a procederem a aferição das massas na balança, onde puderam ter contato com a balança e sua respectiva manipulação, ensinando os comandos, como ligar, tarar, voltagem da balança, entre outros comandos, podendo se observar este ensino na Figura 10 (a).

Após seccionadas as fibras nos parâmetros supracitados, foi repassado aos alunos a maneira adequada para aferição das massas, mostrada na Figura 10 (b), das fibras a serem utilizadas na fabricação dos compósitos. Para a juta foi repassado as porcentagens de 1%, com o comprimento de 5 mm, da massa total do compósito, para cada tamanho das fibras de piaçava de 5 mm e 10 mm. As fibras foram armazenadas em recipientes de plástico, tal como mostra a Figura 10 (c).

Figura 10 – (a) Manipulação da balança de precisão, (b) aferição das massas das fibras e (b) armazenamento das fibras cortadas e pesadas.



Foi utilizado como parâmetro de ensino a pesagem de 63,5 g de resina poliéster para cada molde utilizado. Mostrou-se posteriormente aos alunos que deve haver a adição de catalizador, para poder haver interação da resina com as fibras, sendo a quantidade de 0,4 g de catalizador, o qual foi misturado durante 30 segundos. Estes procedimentos nas Figuras 11.

Figura 11. (a) Aferição da massa da resina e (b) adição de catalizador.



Houve a disposição do molde para posterior vazamento, sendo recomendado o uso de níveis, como mostrado na Figura 12, para a perfeita distribuição da mistura resina/reforço no molde. Para melhores fins didáticos e metodológicos, preferiu-se utilizar o molde de silicone, pelo fato de o mesmo manter uma excelente consistência mecânica e facilidade de retirada dos corpos de prova depois da cura, o que proporcionaria um ganho de tempo em relação a outros moldes, bem como o ensino seria mais simplificado, haja vista não utilizar agente desmoldante para retirar os corpos de prova do molde posteriormente.

Figura 12 – Molde de silicone perfeitamente nivelado para o vazamento do compósito.



Com o molde nivelado e nele passado a cera desmoldante, foi possível adicionar as fibras de piaçava e juta, respectivamente, pesadas anteriormente à resina e catalisador, misturando todos os elementos, como ilustrado na Figura 13, até conseguirem obter boa homogeneidade para, então, realizar o vazamento em molde.

Figura 13. (a) Fibras de piaçava e juta misturadas à resina e ao catalisador, (b) vazamento da mistura resina poliéster/fibras no molde de silicone e (c) compósito reforçado por fibras de piaçava e juta em processo de cura.



Lixamento dos corpos de prova

Por fim, após o tempo de cura de 7 dias, foi feito o lixamento do material, a fim de obter uma estrutura mais plana para eventuais ensaios mecânicos. Neste processo, foi ensinado aos

alunos a maneira correta de lixamento do material, utilizando a lixadeira industrial SKIL 3375.

4 RESULTADOS

De modo geral, os alunos interagiram diretamente com os materiais utilizados na fabricação de compósitos reforçados por fibras curtas de piaçava e juta, havendo o aprendizado de forma prática e didática desde o corte da secção das fibras com tesoura, a aferição das massas destas e da resina poliéster, bem como a junção híbrida das fibras com a matriz.

Como resultados da rota de aprendizagem, verificou-se no andamento dos procedimentos de ensino, que os alunos mantiveram-se satisfeitos com a metodologia de fabricação dos compósitos, uma vez que esta se mostrou viável na fabricação dos corpos de provas de acordo com a norma ASTM D638. Os corpos de prova dos materiais compósitos reforçados por fibras de piaçava de 5 mm com acréscimo de 1% de juta e reforços por fibras de piaçava de 10 mm com acréscimo de 1% de fibra de juta são mostrados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14. Compósito reforçado por fibra de piaçava de 5 mm com acréscimo de 1% de fibra de juta, (a) após a cura, (b) após ser lixado e (c) detalhe do corpo de prova.

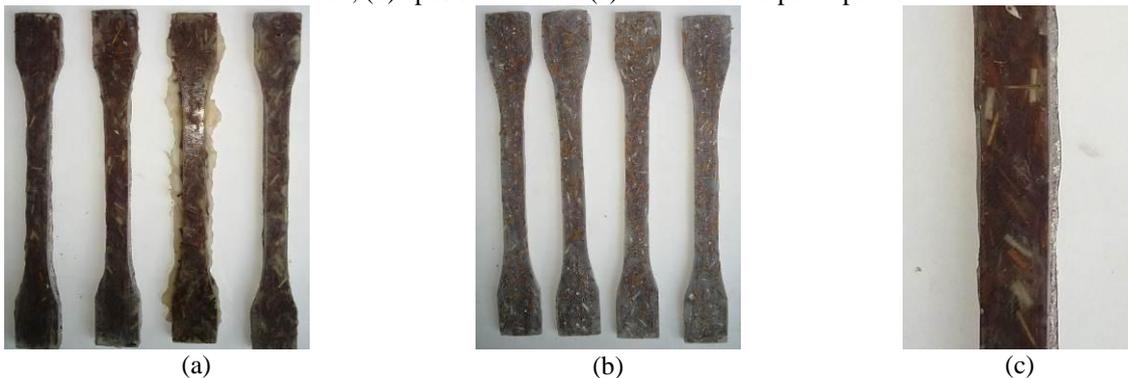


Figura 15. Compósito reforçado por fibra de piaçava de 10 mm com acréscimo de 1% de fibra de juta, (a) após a cura, (b) após ser lixado e (c) detalhe do corpo de prova.



De acordo com o que é mostrado nas Figuras 14(a) e 15(a), os corpos de prova apresentaram bom acabamento superficial, sem muita deposição de material além do nível do molde, bem como boa conformação nas dimensões da norma ASTM D638 após o lixamento mostrado na Figura 14(b) e Figura 15(b). No detalhe mostrado na Figura 14(c) e Figura 15(c) vê-se que está isento de imperfeições.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sem contar com os resultados eficazes de confecção do compósito, propriamente dito, também é possível então listar os principais ganhos que foram obtidos através dessa experiência dos alunos com o ensino/aprendizagem a partir da didática das práticas em laboratório:

- A inexperiência em laboratório dos graduandos não impediu o processo de aprendizagem;
- Os alunos se mostraram aptos a seguir o processo de fabricação obedecendo à norma ASTM D638, de modo a propor metodologia de confecção dos corpos de prova;
- A motivação com o processo levou aos alunos a se dedicarem as práticas e a rota de aprendizado e desenvolvimento de material compósito.

Portanto, verifica-se que o método de fabricação que utiliza o molde aberto de silicone, pode ser eficiente no sentido de que as propriedades dos materiais sejam estudadas e analisadas satisfatoriamente.

REFERÊNCIAS

ALILA, S., BESBES, I., VILAR, M.R., MUTJÉ, P., BOUFI, S. **Non-woody Plants as Raw Materials for Production of Microfibrillated Cellulose (MFC): A Comparative Study**, *Industrial Crops and Products*, v.41, pp. 250–259. 2013.

ASTM D638. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic** (metric). Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials. 2014.

BENTES, G. M. de M.; LIMA, P. de. T. N. A.; OLIVEIRA, B. V. **Recursos florestais não madeireiros: experiências e novos rumos em Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA, 2006.

COSTA, D. S. **Caracterização de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de bambu, sisal e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro**. Belém: 2012, 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia: Materiais e processos de Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

GRAUPNER, N., MÜSSIG, J. **Technical Applications of Natural Fibres: An Overview**, in *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*. 1 ed., Wiley Series in Renewable Resources. Edited by JÖRG MÜSSIG. 2010.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, v. 22, 44 p. 2007.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. **Compósitos de matriz de poliéster reforçados por fibras curtas de sisal**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 9, n. 4, p. 136-140, out/dez 1999.

JUNIOR, P. F. L. **Compósitos poliméricos reforçados por fibras de piaçava (*attalea funifera*)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Faculdade

de Engenharia Mecânica. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará. Belém, 2013. 43f.

JUVANDES, L. F. P. **Reforço e Reabilitação de Estruturas de Betão Usando Materiais Compósitos de “CFRP”**. Tese de D.Sc.. Universidade do Porto, Portugal. 1999.

KAW, A. K. **Mechanics of Composite Materials**, New York, USA, 1997. CRC Press LLC, ISBN 0-8493-9656-5.

KELLY, A.; MILEIKO, S. T. **Fabrication of Composites**. Handbook of Composites. v. 4, North Holland, 1983.

LEVI NETO, F. PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª Ed. São Paulo: Blucher, 2006.

MOURA, S. F. de, M.F., A.M.B. DE MORAIS, AND A.G. DE MAGALHÃES. **Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**. 2005: Publindústria.

RAHMAN, S. **Jute - A Versatile Natural Fibre: Cultivation, Extraction and Processing**, in *Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications*. 1 ed., Wiley Series in Renewable Resources. Edited by JÖRG MÜSSIG. 2010..

COMPOSITE MATERIALS LABORATORY: PRESENTATION OF AN ARTISANAL METHOD IN THE MANUFACTURE OF COMPOSITES REINFORCED BY NATURAL FIBERS AS RESOURCES IN DIDACTIC CLASSES

Abstract: *The objective of this work is to propose a methodology for the manufacture of composite material in open mold of silicone, which was developed by undergraduate students of the Mechanical Engineering from the Federal University of Pará, in order not only to facilitate the learning of disciplines of the curriculum, but also encourage laboratory practices and the students' contact with the technology of composite materials and in particular with the possibility of developing material from renewable sources.*

Key-words: *Vegetable fibers. Methodology. Teaching. Learning. Manufacture of composites.*