

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

ANA FLÁVIA CAMARA BEZERRA

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO POLIÉSTER INSATURADO / FIBRAS
VEGETAIS (CAROÁ E COCO)**

CAMPINA GRANDE

2014

ANA FLÁVIA CAMARA BEZERRA

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO POLIÉSTER INSATURADO / FIBRAS
VEGETAIS (CAROÁ E COCO)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Laura Hecker de Carvalho

Co-orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Lisiane Navarro de Lima Santana

CAMPINA GRANDE

2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B574d Bezerra, Ana Flávia Camara.
Desenvolvimento de compósito poliéster insaturado / fibras vegetais (caroá e coco) / Ana Flávia Camara Bezerra. – Campina Grande, 2014.
160 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Laura Hecker de Carvalho, Prof. Dr. Lisiane Navarro de Lima Santana".

Referências.

1. Fibra de Caroá. 2. Fibra de Coco. 3. Resina Poliéster. 4. Propriedades Mecânicas. 5. Envelhecimento Acelerado. I. Carvalho, Laura Hecker de. II. Santana, Lisiane Navarro de Lima. III. Título.

CDU 633.528(043)

VITAE DO CANDIDATO

- Graduação em Desenho Industrial pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2007).
- Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFCG (2011).
- Especialização em *Design* de Interiores, pelo Instituto de Educação Superior da Paraíba - IESP (2012).

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS POLIÉSTER INSATURADO/FIBRAS
VEGETAIS (CAROÁ E COCO)**

ANA FLÁVIA CÂMARA BEZERRA

Tese Aprovada em 17/12/2014 pela banca examinadora constituída dos seguintes membros:



Dr.ª Laura Hecker de Carvalho
Orientadora
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



Dr.ª Lisiane Navarro de Lima Santana
Orientadora
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



Dr.ª Suédina Maria Lima Silva
Examinadora Interna
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG



Dr. Antônio Gilson Barbosa Lima
Examinador Externo
UAEM/UFCG



Dr. Roberto Fernando de Souza Freitas
Examinador Externo
DEQ/UFGM



Dr. José Luiz Cardozo Fonseca
Examinador Externo
IQ/UFRN

AGRADECIMENTOS

Embora uma tese seja, pela sua finalidade acadêmica, um trabalho individual, há contributos de naturezas diversas que não devem deixar de ser realçados. Por essa razão, tenho por obrigação agradecer a todos que comungaram do que, até então, seria um objetivo pessoal:

A Deus, por me permitir.

Aos meus pais e irmã que, diariamente, se envolveram nesta pesquisa e me apoiaram de forma singular. Sinto-me grata a Deus por tê-los ao meu lado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPG-CEMat - da UFCG, como também à secretária Márcia e aos professores, pelo investimento na qualificação de seus docentes.

Às professoras, Laura Hecker e Lisiane Navarro, orientadora e co-orientadora desta pesquisa, pela competência científica e por serem exemplos de profissionalismo.

Aos membros da banca avaliadora, professores: Antonio Gilson, José Luis, Roberto e Suédina, pelo conhecimento transmitido e sugestões para esta pesquisa.

Aos Laboratórios de Caracterização, Reciclagem e Processamento de Polímeros do PPG-CEMat, com seus técnicos e pesquisadores, em especial à Wilma, Daniele e Isabelle.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

Às empresas FibraNatu, Fibracoco e Elekeiroz, pelo fornecimento da matéria-prima.

Aos amigos e colegas do PPG-CEMat, em especial à Josy, Munique, Polyana e Taciana pela força de vontade e disposição para trilharmos juntas esta pós-graduação, tornando mais grata à realização deste trabalho.

Aos demais amigos, que contribuíram com esta conquista e compreenderam minha ausência em diversas ocasiões.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O uso de fibras vegetais minimiza a poluição ambiental e os custos de produção dos materiais compósitos, além de melhorarem as suas propriedades físicas e mecânicas. Neste trabalho, fibras de caroá e de coco foram utilizadas como reforço do polímero comercial biopoli, oriundo de fonte natural. Compósitos contendo 13, 23, 30 e 40% m/m de fibras de caroá ou de coco foram confeccionados e seus desempenhos mecânicos em tração, flexão e impacto foram determinados. Um estudo sobre o envelhecimento térmico dos compósitos a uma temperatura constante de 110°C também foi realizado. As fibras e os compósitos foram caracterizados por: análise termogravimétrica (TG), difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Verificou-se que as melhores propriedades mecânicas foram alcançadas para os compósitos contendo entre 23 e 30 % de fibras (caroá ou coco). Por exemplo, a resistência a tração foi maior para compósito contendo 30 % m/m de fibra de caroá (36,94 MPa) e para o compósito confeccionado com 23 % m/m (13,3 MPa) de fibra de coco. O ensaio de envelhecimento térmico evidenciou que houve perdas significativas na resistência à tração dos compósitos em função do tempo de exposição térmica. Resistência à flexão, módulo de elasticidade em tração e em flexão foram pouco afetados pela exposição térmica, enquanto os valores de resistência ao impacto apresentaram queda gradativa de até 65 e 85,33 % para os compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco, respectivamente, após 40 dias de ensaio. Matriz e compósitos confeccionados com 23 % m/m de fibras (caroá ou coco) com e sem revestimento de esmalte sintético foram submetidos ao envelhecimento acelerado com ciclos de exposição ultravioleta (UV)/umidade/temperatura, sorção higrótérmica e sorção de água à temperatura ambiente. Os resultados demonstram redução na resistência à tração e na resistência ao impacto com o tempo de exposição. O recobrimento superficial minimizou os danos causados pelo envelhecimento em todas as amostras (matriz e compósitos). Estudos de sorção de água foram conduzidos em água fervente e na temperatura ambiente em amostras recobertas e não recobertas com resina e/ou esmalte sintético. Os resultados sugerem que o recobrimento com resina reduz a sorção de água e que o recobrimento com esmalte sintético não foi eficaz, na realidade aumentando a cinética e quantidade de água absorvida, o que foi atribuído à composição química do esmalte sintético. Por fim, foi realizado o ensaio de emissão acústica na matriz e nos compósitos confeccionados com 13 e 40% de fibra de caroá e com 40% de fibra de coco, os resultados demonstraram maior número de *hits* nos compósitos em relação à matriz polimérica, atribuídos ao descolamento da interface, delaminação e também devido o maior número e percurso de trincas ocorridas nos compósitos. Tendo em vista o conjunto de propriedades obtidas é possível concluir que os compósitos contendo 23% de fibra de caroá e coco são opções para serem aplicados em mobiliários, painéis e divisórias de ambientes, principalmente pelo fato destes compósitos apresentarem menor impacto ambiental, já que são confeccionados com fontes renováveis e vegetais.

Palavras-chave: Fibra de caroá. Fibra de coco. Resina Poliéster. Propriedades Mecânicas. Envelhecimento acelerado.

ABSTRACT

In addition to improving the physical and mechanical properties of composites, the use of vegetable fibers minimizes environmental pollution and production costs of these materials. In this work, caroá and coconut fibers were used as reinforcement of a commercial, natural source polymer, known as biopoli. Composites containing 13, 23, 30 and 40% w/w caroa or coconut fibers were manufactured and their mechanical, flexural and impact performances were determined. A study on the thermal aging of the composites at a constant temperature (110 °C) was also performed. Fibers and composites were characterized by thermogravimetric analysis (TGA), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). It was found that the best mechanical properties were achieved for composites containing between 30 and 23%(w/w) fiber (caroa or coconut). For example, the tensile strength was higher for the composite containing 30% caroá fiber (36.94 MPa) and for the one with 23% (13.3 MPa) coconut fiber. Thermal aging test showed that there was significant loss on the tensile strength of the composites as a function of thermal exposure. Flexural strength, tensile and flexural moduli were hardly affected by thermal exposure, whereas the impact strength values showed a gradual decrease of up to 65 and 85.33% for composites made with coconut and caroa fibers, respectively, after 40 days of thermal exposure. Matrix and composites made with 23% w/w of fibers (caroa or coconut) with and without synthetic enamel coating subjected to accelerated aging cycles by exposure to ultraviolet (UV) light/humidity/temperature. The results show a reduction in tensile strength and in impact resistance with exposure time. The surface coating minimized the damage caused by aging in all samples (matrix and composites). Water sorption studies were conducted on boiling water and at room temperature on samples coated and uncoated with resin and or enamel. Our data suggests that resin coating reduced water pick up but enamel coating was ineffective and actually increased water pick up kinetics and content, which was attributed to the enamel chemical composition. Finally, we performed the acoustic emission test in the matrix and composites made with 13 and 40% caroá fiber and 40% coconut fiber, the results showed a higher number of hits in the composites compared to the polymer matrix, assigned the detachment of the interface, delamination and also because the largest number and route of cracks occurred in the composites. Given the set of properties obtained it can be concluded that the composites containing 23% fiber caroá and coconut are options to be used in furniture, panels and partitions environments, mainly because these composites having less environmental impact, since they are made from renewable plant sources and.

Keywords: Caroá fiber. Coconut fiber. Polyester Resin. Mechanical Properties. Accelerated aging.

PUBLICAÇÕES

TRABALHO EM PERIÓDICOS

BEZERRA, A. F. C.; CARVALHO, L. H.; SANTANA, L. N. L.; CAVALCANTI, W. S. Comportamento mecânico de compósitos reforçados com fibras de caroá. **Revista Polímeros**, 2014 (em avaliação).

LUNA, C. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K.; ARAÚJO, E. M.; SILVA, A.L.; BEZERRA, A. F. C. Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão. **Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, 2014.

TRABALHOS COMPLETOS EM CONGRESSOS

BEZERRA, A. F. C.; CARVALHO, L. H.; SANTANA, L. N. L.; CAVALCANTI, W. S. Comportamento mecânicos de compósitos reforçados com fibra de coco. In: **Simpósio Latino Americano de Polímeros SLAP**, 2014, Porto de Galinhas - Pernambuco. Congresso Ibero Americano de Polímeros - CIP, 2014.

BEZERRA, A. F. C.; CARVALHO, L. H.; SANTANA, L. N. L.; CAVALCANTI, W. S. Thermal and Accelerated aging of unsaturated polyester / vegetable fiber composites. In: **2nd Brazilian Conference on Composite Materials**, 2014, São José dos Campos - São Paul. **2nd Brazilian Conference on Composite Materials**, 2014.

BEZERRA, A. F. C.; CARVALHO, L. H.; SANTANA, L. N. L.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibra Vegetal: Envelhecimento Térmico. In: **12^o Congresso Brasileiro de Polímero**, 2013, Florianópolis, 2013.

BEZERRA, A. F. C.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; CARVALHO, L. H. INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM PAINÉIS DE MÉDIA DENSIDADE. In: **56^o Congresso Brasileiro de Cerâmica - 1^o Congresso Latino-Americano de Cerâmica - IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials**, Curitiba - Paraná. **56o Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2012. v. 1. p. 2075-2085, 2012.

BEZERRA, A. F. C.; CARVALHO, L. H.; SANTANA, L. N. L.; CAVALCANTI, W. S.
UNSATURATED POLYESTER/CAROA FIBER COMPOSITES. In: **1st Brazilian
Conference on Composite Materials**, 2012, Natal - RN. BCCM1, v. 1. p. 1-6, 2012.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Composição das principais fibras vegetais oriundas do cultivo principal ou de subprodutos da agricultura..... | 25 |
| Tabela 2. Produção anual das principais culturas brasileiras que geram fibras lignocelulósicas de forma direta ou indireta..... | 27 |
| Tabela 3. Propriedades físicas e mecânicas de fibras vegetais..... | 32 |
| Tabela 4. Características da resina BP 290..... | 37 |
| Tabela 5. Propriedades - tração e flexão - da resina BP 290..... | 41 |
| Tabela 6. Valores médios das principais propriedades da fibra de coco verde..... | 42 |
| Tabela 7. Dados da decomposição térmica das fibras de caroá e coco obtidos na razão de aquecimento de 10°C/min em N ₂ | 71 |
| Tabela 8. Tensão de tração na força máxima σ (MPa), módulo de elasticidade E (GPa) e alongamento na ruptura ϵ (%) para as fibras de caroá e coco..... | 74 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1. Principais localizações de cultivos das fibras vegetais no Brasil e respectivos nomes científicos..... | 27 |
| Quadro 2. Vantagens e desvantagens da utilização de fibras vegetais..... | 48 |
| Quadro 3. Material, quantidade e tipo de fibra e revestimento..... | 63 |
| Quadro 4. Matriz x Tipo de fibra e revestimento..... | 66 |
| Quadro 5. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de tração e curva da resistência a tração (MPa) em função do deslocamento (mm) das amostras testadas..... | 81 |
| Quadro 6. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de flexão e curva de tensão (MPa) em função do deslocamento (mm) das amostras testadas..... | 93 |
| Quadro 7. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de impacto..... | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Classificação dos materiais compósitos..... | 23 |
| Figura 2. Caroá..... | 28 |
| Figura 3. Diagrama do beneficiamento da fibra de caroá..... | 29 |
| Figura 4. Beneficiamento da fibra de caroá | 30 |
| Figura 5. Coco | 31 |
| Figura 6. Diagrama do beneficiamento da fibra de coco | 34 |
| Figura 7. Fluxograma do beneficiamento da fibra de coco | 34 |
| Figura 8. Confecção de cordas e tapete feitos com fibra de coco | 35 |
| Figura 9. Processo de moldação <i>handlay-up</i> | 43 |
| Figura 10. Processo de moldação <i>spray lay up</i> | 44 |
| Figura 11. Processo de moldação por vácuo | 44 |
| Figura 12. Processo de moldação por pressão | 45 |
| Figura 13. Processo de moldação por pultração | 45 |
| Figura 14. a) Fibra de caroá b) Fibra de coco | 54 |
| Figura 15. Esquema do molde de metal..... | 56 |
| Figura 16. Esquema da intercalação de 0, 3, 5, 7 e 9 mantas de fibra picotada com resina | 57 |
| Figura 17. a) Aplicação de desmoldante b) Camadas de manta e resina com catalisador ... | 57 |
| Figura 18. Prensagem do compósito | 58 |
| Figura 19. a) Compósito laminado poliéster/caroá b) Compósito laminado poliéster/coco ... | 58 |
| Figura 20. a) Esquema do ensaio de flexão em três pontos b) Ensaio de flexão em três pontos..... | 61 |
| Figura 21. a) Esquema do ensaio de tração b) Ensaio de tração..... | 62 |
| Figura 22. a) Esquema do ensaio de impacto <i>izod</i> b) Ensaio de impacto <i>izod</i> | 62 |
| Figura 23. a) Esquema do ensaio UV b) Envelhecimento UV | 65 |
| Figura 24. Compósito revestido com esmalte sintético | 66 |
| Figura 25. Ensaio de sorção | 68 |
| Figura 26. Dimensionamento das amostras..... | 69 |
| Figura 27. Emissão acústica | 70 |
| Figura 28. a) TG e DTG da fibra de caroá b) TG e DTG da fibra de coco | 71 |
| Figura 29. DRX da fibra de caroá e coco | 73 |
| Figura 30. FTIR da fibra de caroá e coco..... | 74 |
| Figura 31. a) Micrografia da fibra de caroá ampliada 200 vezes b) Micrografia da fibra de coco ampliada 200 vezes | 74 |
| Figura 32. a) Extremidade da fibra de caroá ampliada 300 vezes..... | 76 |
| Figura 33. Densidade em função do teor de fibra dos compósitos | 77 |
| Figura 34. Resistência à tração em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster..... | 78 |
| Figura 35. Módulo de elasticidade em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster..... | 79 |
| Figura 36. Alongamento de ruptura em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster..... | 81 |
| Figura 37. a) MO do compósito com 13% (m/m) de fibra de caroá b) MO do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá c) MO do compósito com 30% (m/m) de fibra de caroá d) MO do compósito com 40% (m/m) de fibra de caroá..... | 85 |
| Figura 38. a) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliada 50 vezes | 86 |

| | |
|---|-----|
| Figura 39. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliada 50 vezes | 87 |
| Figura 40. a) MEV compósito 30% de fibra de caroá ampliada 50 vezes b) MEV compósito 30% de fibra de caroá ampliada 200 vezes c) MEV compósito 40% de fibra de caroá ampliada 50 vezes d) MEV compósito 40% de fibra de caroá ampliada 200 vezes | 88 |
| Figura 41. a) MO compósito 13% (m/m) de fibra de coco b) MO do compósito 23% (m/m) de fibra de coco c) MO do compósito 30% (m/m) de fibra de coco d) MO do compósito 40% (m/m) de fibra de coco | 89 |
| Figura 42. a) MEV da superfície de ruptura após ensaio de tração do compósito com 13% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV da superfície de ruptura após ensaio de tração do compósito com 13% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes | 90 |
| Figura 43. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes | 90 |
| Figura 44. a) MEV do compósito com 30% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV do compósito com 30% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes c) MEV do compósito com 40% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes d) MEV do compósito com 40% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes..... | 91 |
| Figura 45. Resistência à flexão em função do teor de fibra dos compósitos | 92 |
| Figura 46. Módulo de elasticidade em flexão em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster | 93 |
| Figura 47. Resistência ao impacto em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster..... | 97 |
| Figura 48. Principais mecanismos de falha dos materiais compósitos: | 99 |
| Figura 49. a) MO do compósito com 13% (m/m) de fibra de caroá b) MO do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá c) MO do compósito com 30% (m/m) de fibra de caroá d) MO do compósito com 40% (m/m) de fibra de caroá | 102 |
| Figura 50. a) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliado 50 vezes | 103 |
| Figura 51. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliado 50 vezes b) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliado 500 vezes | 103 |
| Figura 52. a) MEV 30% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 50 vezes b) MEV 30% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 200 vezes c) MEV 40% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 50 vezes d) MEV 40% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 200 vezes..... | 104 |
| Figura 53. a) 13% de fibra de coco após ensaio de impacto b) MO 23% de fibra de coco após ensaio de impacto c) MO do compósito com 30% de fibra de coco após ensaio de impacto d) MO do compósito com 40% de fibra de coco após ensaio de impacto | 105 |
| Figura 54. a) MEV 13% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes b) MEV 13% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 200 vezes..... | 106 |
| Figura 55. a) MEV 23% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes | 106 |
| Figura 56. a) MEV 30% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes | 107 |
| Figura 57. a) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster | 108 |
| Figura 58. a) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster | 109 |

| | |
|---|-----|
| Figura 59. a) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster | 110 |
| Figura 60. a) Resistência à flexão em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Resistência à flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster | 111 |
| Figura 61. a) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster | 112 |
| Figura 62. a) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster | 113 |
| Figura 63. a) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético | 114 |
| Figura 64. a) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético | 116 |
| Figura 65. a) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético | 117 |
| Figura 66. a) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético | 118 |
| Figura 67. a) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá | 119 |
| Figura 68. a) Teor de absorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá revestidos com esmalte sintético b) Teor de absorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco revestidos com esmalte sintético | 120 |
| Figura 69. a) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá b) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco | 121 |
| Figura 70. a) Sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá revestidos com esmalte sintético b) Sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco revestidos com esmalte sintético | 122 |
| Figura 71. Emissão acústica da matriz de poliéster | 124 |
| Figura 72. Força em função do tempo da matriz de poliéster..... | 124 |
| Figura 73. Emissão acústica do compósito com a) 13% de fibra de caroá b) 40% de fibra de caroá | 125 |
| Figura 74. Força em função do tempo dos compósitos com 13 e 40 % de fibra de caroá.. | 126 |
| Figura 75. Emissão acústica do compósito com 40% de fibra de coco | 126 |
| Figura 76. Força em função do tempo compósito com 40% de fibra de coco | 127 |
| Figura 77. Energias de emissão acústica para a deformação durante tensionamento a) matriz b) 13% fibra de caroá c) 40% fibra de caroá d) 40% fibra de coco | 128 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de normas Técnicas |
| ANOVA | Análise da variância |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| ATD | Análise térmica diferencial |
| BP | Biopoli |
| CETIM | Centro de têxteis técnicos e manufaturados |
| cP | Centipoise |
| DCPD | Diciclopentadieno |
| DIN | <i>Deutsches Institut für Normung</i> |
| DRX | Difração de raios X |
| DTG | Termogravimetria derivada |
| EMBRAPA | Empresa brasileira de pesquisa agropecuária |
| FTIR | Espectroscopia de infravermelho |
| GEE | Gases do efeito estufa |
| IPT | Instituto de pesquisas tecnológica |
| LDPE | Polietileno de baixa densidade |
| MDF | Painel de média densidade |
| MEV | Microscopia eletrônica de varredura |
| MO | Microscopia óptica |
| PMEK | Peróxido de metil etil cetona |
| PU | Poliuretano |
| SiC | Carbureto de silício |
| T_g | Temperatura de transição vítrea |
| UV | Ultravioleta |
| # 200 | Peneira ABNT nº 200 |

SUMARIO

| | |
|---|-----|
| 1. INTRODUÇÃO | 18 |
| 2. OBJETIVOS..... | 20 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 21 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL..... | 22 |
| 3.1 Compósito..... | 22 |
| 3.2 Fibras vegetais | 25 |
| 3.3 Produções das fibras vegetais no Brasil | 27 |
| 3.4 Fibras de Caroá | 29 |
| 3.4.1 Beneficiamento da fibra de caroá..... | 30 |
| 3.5 Fibras de coco | 31 |
| 3.5.1 Beneficiamento da fibra de coco | 34 |
| 3.6 Propriedades dos compósitos reforçado com fibras..... | 37 |
| 3.7 Fatores que afetam as propriedades de compósitos reforçados com fibra..... | 39 |
| 3.8 Matriz Termofixa | 40 |
| 3.8.1 Cura de matrizes poliméricas | 42 |
| 3.9 Processos de fabricação dos compósitos de matriz termofixa reforçada por fibra..... | 44 |
| 3.10 Envelhecimento e degradação de polímeros | 47 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA..... | 49 |
| 4.1 Incorporações de fibra vegetal como reforço em compósito | 49 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS | 55 |
| 5.1 Materiais | 55 |
| 5.2.1 Preparação dos compósitos..... | 56 |
| 5.2.2 Caracterização das fibras | 59 |
| 5.2.3 Ensaio físicos e mecânicos | 60 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 71 |
| 6.1 Caracterizações das fibras..... | 71 |
| 6.2 Ensaio físicos e mecânicos | 76 |
| 6.3 Envelhecimento acelerado: envelhecimento térmico..... | 108 |
| 6.4 Envelhecimento acelerado: envelhecimento UV/temperatura/umidade..... | 114 |
| 6.5 Sorção de água higrotérmico | 118 |
| 6.6 Sorção de água à temperatura ambiente | 121 |
| 6.7 Emissão acústica..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| 7. CONCLUSÕES..... | 129 |
| 8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 130 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 131 |
| APÊNDICE A..... | 148 |
| APÊNDICE B..... | 152 |
| APÊNDICE C..... | 163 |
| APÊNDICE D..... | 165 |

1. INTRODUÇÃO

Devido à incompatibilização do crescimento econômico com a proteção ambiental, a sociedade se defronta com típicos problemas da era pós-industrial, como o desequilíbrio ambiental e a má distribuição de renda social. Para conservação e melhoramento do meio ambiente, faz-se necessário o uso de tecnologia não degradadora, de alternativas sustentáveis e de incentivos às pesquisas.

A busca de tecnologias ecologicamente corretas tem se tornado uma preocupação nos últimos anos. O novo paradigma do desenvolvimento econômico está voltado para propiciar a melhoria de vida das futuras gerações, incorporando em sua concepção modos de produção menos poluentes e impactantes (SILVA, 2010a).

A seleção de material sustentável deve ser criteriosa, principalmente se o objetivo é evitar e/ou reduzir o impacto ambiental. Faz-se necessário observar a condição de serviço do produto, comparar as matérias-primas utilizadas de acordo com sua finalidade, além de averiguar o desempenho, o custo, a aplicabilidade e a disponibilidade do produto.

Neste sentido, as fibras vegetais despontam como uma alternativa econômica e ecologicamente viável para serem utilizadas como reforços em plásticos (AQUINO et al., 2008). As fibras naturais apresentam grande potencial sustentável, possuem baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulo elevado, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicas, podem ser facilmente modificadas por agentes químicos, são abundantes e provêm de fontes renováveis (DI CAMPOS, 2010).

O avanço da tecnologia gerou a manufatura e o uso das fibras sintéticas, porém o elevado custo do petróleo, sua potencial escassez, a maior conscientização ambiental e o apelo ecológico tornaram o uso das fibras naturais cada vez mais comum e em maior número. John e Sabu (2008) defendem que o crescente interesse em estudar o desenvolvimento de compósitos contendo fibras vegetais está relacionando com o fato das fibras fornecerem maior resistência específica e rigidez ao material, além de ser um recurso renovável que exige baixa energia para seu processamento.

Os compósitos reforçados com fibras vegetais apresentam boas propriedades mecânicas, baixo custo e baixa densidade em relação às fibras sintéticas. Em

contrapartida, as fibras vegetais apresentam baixa compatibilidade com os polímeros não polares e alta absorção de água. Tais características influenciam negativamente as propriedades mecânicas dos compósitos (CASTRO et al., 2013). Trabalhos foram desenvolvidos utilizando fibras vegetais como reforço como é o caso de Nóbrega (2007) que estudou o desempenho mecânico de compósitos reforçados com fibras de caroá (*Neoglaziovia variegata*) e poliéster insaturado, bem como suas características de sorção de água e Gonçalves (2010) que analisou as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco (*Cocos nucifera*) e matriz epóxi.

Encontrada na Caatinga, a planta caroá apresenta potencialidades econômicas centradas nas folhas, as quais são constituídas de fibras de alta resistência. As fibras são utilizadas na confecção de barbantes, linhas de pescas, tecidos, peças artesanais e decorativas. Estudos ainda apontam propriedades medicinais das fibras de caroá que atuam contra inflamações e dores¹. O beneficiamento da fibra de caroá segue princípios tradicionais, como secagem, desfibramento e prensagem; similar método de beneficiamento segue para as fibras de coco.

Assim como a fibra de caroá, a fibra de coco é empregada na fabricação de barbantes e produtos artesanais, além de ser matéria-prima para o mercado de isolamento térmico e acústico devido ao elevado índice de rigidez e dureza.

Além das fibras vegetais, as resinas sustentáveis são utilizadas na confecção de materiais compósitos. As resinas sustentáveis são oriundas de fontes renováveis (vegetal) e resinas termoplásticas recicladas (pós-consumo) em sua fabricação e tem base ortoftálica, tereftálica, dicitlopentadieno (DCPD) e isoftálicas.

Sob essa perspectiva, a importância de confeccionar compósitos com fibras vegetais como reforço e resina sustentável como matriz é no sentido de utilizar materiais com menor impacto ambiental e usufruir das propriedades mecânicas que ambos fornecem.

¹ Disponível em <http://www.cerratinga.org.br/caroa>. Acesso em: dez. de 2012.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho físico e mecânico de compósitos confeccionados com resina de poliéster insaturado / fibras vegetais (caroá e coco).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as matérias-primas;
- Confeccionar corpos de prova com poliéster insaturado/fibras vegetais (caroá e coco);
- Determinar propriedades físicas e mecânicas dos compósitos: densidade, resistência à tração, flexão em três pontos e resistência ao impacto;
- Selecionar a composição dos compósitos de poliéster insaturado/fibras vegetais (caroá e coco) que apresentou melhor desempenho mecânico;
- Determinar os efeitos do envelhecimento térmico acelerado; envelhecimento por ciclos de ultravioleta (UV) /temperatura/umidade; sorção higrotérmico e temperatura ambiente e emissão acústica dos compósitos selecionados quando revestidos e não revestidos com esmalte sintético.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

3.1 Compósito

A norma *American Standards of Testing Materials* ASTM D3878-95 define compósito como uma substância que consiste de dois ou mais materiais insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente.

Em sua maioria, os materiais compósitos são fabricados a partir de dois elementos: um material base, a matriz; e um reforço ou carga disperso na matriz. Tais elementos são separados por uma interface, mas, ainda assim, possuem grande capacidade de adesão (CALLISTER JÚNIOR, 2007). Segundo Calister Júnior (2007), a matriz é responsável por distribuir e transferir tensões mecânicas para as cargas, além de proteger a superfície da carga contra corrosão e meios ácidos, de separar e de unir as cargas; o reforço possui função estrutural e é responsável pela resistência do compósito.

Classificações são dadas ao material compósito, e uma delas qualifica o compósito em função da matriz: metálica, cerâmica e polimérica. Em geral, compósitos de matriz metálica são utilizados em altas temperaturas e, normalmente, consistem às combinações de materiais metálicos com reforços cerâmicos. O elevado preço de produção e técnicas de difícil processamento condiciona a utilização destes compósitos. Os compósitos de matriz cerâmica, em geral, são indicados para aplicações em altas temperaturas e, na sua maioria, tem como reforço fibras de vidro e de carbono. Combinações de matrizes cerâmicas com outros materiais como gesso/fibras vegetais também encontram aplicações no mercado, mas não para altas temperaturas. Os compósitos cerâmicos possuem elevada rigidez, baixa resistência à tração, ao impacto e ao choque térmico.

Compósitos poliméricos são materiais formados por uma matriz polimérica e um reforço (fase descontínua, normalmente uma fibra). Os polímeros são formados por longas moléculas compostas por uma unidade estrutural menor, o monômero, ligadas por ligações covalentes. Entre as vantagens dos compósitos poliméricos estão: baixo peso, resistência à corrosão e às temperaturas elevadas, e ótimas

propriedades mecânicas quando comparados aos materiais convencionais de engenharia (AGARWAL e BROUTMAN, 1990 e CALLISTER JUNIOR, 2007).

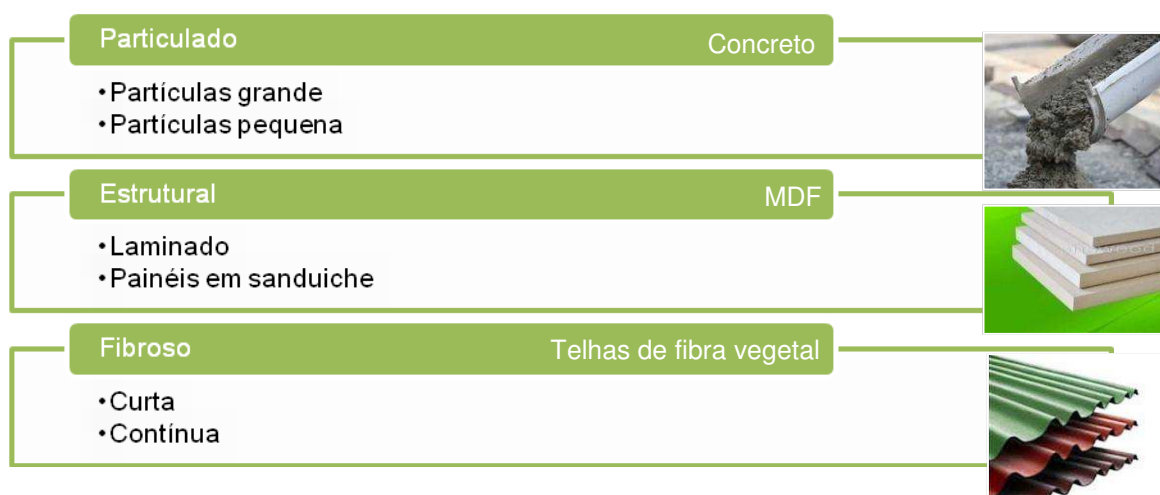
Os polímeros de engenharia podem ser divididos em termorrígidos e termoplásticos. Os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às suas características de fluidez quando aquecidos e depois se solidificarem quando há um decréscimo da temperatura (CANEVAROLO, 2006).

Marinucci (2011) afirma que os materiais termoplásticos apresentam vantagens, como: moderada resistência química, elevada tenacidade, elevado volume de produção, baixa densidade, médio investimento nos meios de produção e reaproveitamento do material (reciclagem). Entretanto, em geral, possuem baixas propriedades mecânicas e elevado coeficiente de expansão térmica, propiciando baixa estabilidade dimensional e baixa temperatura de utilização.

Segundo Gonçalves (2010), os materiais termorrígidos ou termofixos sofrem reações químicas irreversíveis com formação de uma grande quantidade de ligações cruzadas (ligações covalentes) entre as cadeias macromoleculares, tornando-se rígidos, infusíveis e insolúveis. Polímeros termorrígidos, após a cura, não podem mais se tornar fluidos quando aquecidos; em geral apresentam propriedades mecânicas e elásticas superiores aos termoplásticos; e exibem ótima estabilidade dimensional, além de possuírem excelente resistência ao ataque de produtos químicos.

Ainda segundo o autor, em termos da morfologia de seus agentes de reforço, o material compósito pode ser classificado como: particulado, estrutural e fibroso, sendo que para cada grupo existem subdivisões, como ilustra a Figura 1.

Figura 1. Classificação dos materiais compósitos



Fonte: Adaptado de CALISTER JUNIOR, 2007

Um compósito particulado pode apresentar, na sua composição, partículas grandes ou pequenas. Em geral, as partículas são de origem mineral e geram um aumento na rigidez sem que haja melhora na resistência à tração do compósito, como acontece com o concreto. O compósito estrutural pode ser do tipo laminado ou painel como, por exemplo, o painel de média densidade – MDF, no qual camadas de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos são moldadas sob alta temperatura e pressão.

A utilização de compósitos reforçados com fibras vegetais não é recente e as primeiras patentes datam da década de 60. Durante os anos 70 e 80, as fibras sintéticas substituíram as fibras vegetais devido ao seu melhor desempenho e aos aspectos econômicos. A partir da década de 90, uma visão mais realística ou “ecológica” do processo industrial fez ressurgir o interesse em materiais renováveis, tais como as fibras e os óleos vegetais, principalmente na indústria automotiva. Dessa forma, vem crescendo o uso de fibras vegetais, como reforço em matrizes poliméricas, tanto pelos aspectos ecológicos quanto pelos aspectos tecnológicos e econômicos que esses materiais apresentam (SILVA, 2003).

O compósito fibroso é reforçado por fibras embebidas em uma matriz. Segundo Salomão et al. (2003), este tipo de compósito pode ser reforçado com fibras longas e espessas (diâmetro entre 24 mm, 100 mm e 500 mm de comprimento) que atuam como reforço estrutural em compósitos; com fibras contínuas e delgadas (com diâmetro entre 5 mm e 50 mm) que são amplamente utilizadas em tecidos (vestuário, embalagens) e não tecidos (embalagens, absorventes higiênicos, enchimentos); e com fibras curtas e delgadas (diâmetro entre 5 mm e 50 mm e comprimento abaixo de 12 mm) que são utilizadas em aplicações especiais (como elemento adesivo tipo *hot melt* em não tecidos, e como aditivo de secagem em concretos refratários).

As orientações das fibras em compósitos podem ser unidirecionais com fibras contínuas; aleatórias com fibras descontínuas; multidirecionais e orientadas de fibras contínuas, normalmente as fibras curtas são mais utilizadas como reforço devido à facilidade de fabricação do compósito.

Zárate (2000) afirma que a descontinuidade da fibra, quando usada como reforço, exerce uma forte influência na resistência à tração e tenacidade nos compósitos. Fatores como a orientação das fibras são determinantes na melhoria das

propriedades dos compósitos, a exemplo da resistência à tração de compósitos com fibras descontínuas que é menor do que a de compósitos com fibras contínuas.

Segundo Gonçalves (2007) e Marinelli (2008), as fibras utilizadas no compósito podem ser de origem sintética ou natural: as naturais são classificadas de acordo com a sua origem e podem ser provenientes de plantas, de animais ou minerais. As fibras provenientes das plantas ou vegetais são classificadas pela procedência: do fruto (ex.: algodão, coco); da entrecasca ou caule (ex.: juta, ramie, cânhamo); das folhas (ex.: sisal, abacá, banana, curauá); e gramíneas (ex.: bambu, bagaço de cana-de-açúcar).

3.2 Fibras vegetais

Segundo Passos (2005), os componentes que fazem parte da constituição da fibra vegetal são: celulose, hemiceluloses, lignina, pectina e minerais. A celulose, polissacarídeo linear de alto peso molecular formada por unidades de glicose-D, é responsável pela estabilidade e resistência das fibras, sendo considerado principal constituinte estrutural da fibra. As hemiceluloses são polissacarídeos que servem de ligação entre a celulose e a lignina, sendo esta formada pela polimerização de vários açúcares, incluindo glicose, xilose e galactose.

A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos que une as fibras celulósicas formando a parede celular. A lignina fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise (SANTOS, 2006).

A pectina é um polissacarídeo, rico em ácido galacturônico, presente nas paredes celulares e com função aglutinante. Já os componentes minerais são os responsáveis pela formação das cinzas após a incineração das fibras. A Tabela 1 apresenta, em porcentagem, a composição das principais fibras vegetais oriundas do cultivo principal ou de subprodutos da agricultura.

Tabela 1. Composição das principais fibras vegetais oriundas do cultivo principal ou de subprodutos da agricultura

| Fonte de fibra | Celulose | Hemiceluloses | Lignina | Pectina | Cinza | Água |
|----------------------------|----------|---------------|-----------|---------|----------|-------|
| Casca de coco | 36-43 | 0,15-0,25 | 20-45 | 3,0 | 2,7-10,2 | 10-12 |
| Algodão | 82,7 | 5,7 | - | 5,7 | NA | 10,0 |
| Juta | 64,4 | 12 | 11,8 | 0,2 | NA | 10,0 |
| Linho | 64,1 | 16,7 | 2,0 | 1,8 | NA | 10,0 |
| Rami | 68,6 | 13,1 | 0,6 | 1,9 | NA | 10,0 |
| Sisal | 65,8 | 12 | 9,9 | 0,8 | NA | 10,0 |
| Forragem de milho | 38-40 | 28 | 7-21 | NA | 3,6-7,0 | 9 |
| Forragem de abacaxi | 70-82 | 18 | 5-12 | NA | 0,7-0,9 | 10-13 |
| Bagaço de cana | 32-48 | 19-24 | 23-32 | NA | 1,5-5 | 8,8 |
| Folha de bananeira | 60-65 | 6-8 | 5-10 | NA | 4,7 | 10-15 |
| Palha de trigo | 33-38 | 26-32 | 17-19 | NA | 6-8 | 10 |
| Palha de arroz | 28-36 | 23-28 | 12-14 | NA | 14-20 | 6,5 |
| Caroá | 70-71 | NA | 11,5-11,8 | NA | 0,5-0,8 | NA |
| Curauá | 71 | 8 | 3,1 | NA | NA | NA |
| NA: Não avaliado | | | | | | |

Fonte: GASSAN e BLEZKI (1999); REDDY e YIGI (2005); REDDY e YIGI (2009) e BARBOSA (2009)

As fibras com elevado teor de celulose, como algodão, juta, linho, rami e sisal, são indicadas como reforço em materiais compósitos, principalmente por fornecer resistência para o material. Fibras com alta percentagem de lignina, como juta e sisal, comportam-se como elemento de fortalecimento das ligações internas dos compósitos, principalmente daqueles submetidos a processos de aquecimento.

As fibras das cascas de coco têm percentual menor de celulose, entretanto, a quantidade de lignina é elevada, cerca de duas a quatro vezes os valores existentes para a juta e o sisal, conferindo-lhe um comportamento singular frente às outras fibras. O teor de lignina nas fibras varia em função da idade do fruto, sendo o percentual de cerca de 20 % encontrado em fibras oriundas de coco jovem, colhido

com seis meses, e de aproximadamente 35 % no fruto maduro, com 11 meses (VAN DAM et al., 2004a).

A fibra de caroá apresenta elevada quantidade de celulose e baixo teor de lignina em relação à de coco. Comparando as duas fibras, a de caroá apresenta maior resistência à tração, porém a fibra de coco apresenta maior resistência à compressão. Assim, como citado para a fibra de coco, os teores de celulose, hemiceluloses, lignina, pectina e minerais das fibras variam de acordo com a idade do vegetal, tipo de solo e condições climáticas.

A quantidade de cinzas pode vir a ser um problema se as fibras forem incineradas após sua vida útil. No caso específico da fibra de coco, há uma grande quantidade de silício que pode ser transformado em carbetto de silício (SiC) e usado como reforço de metais e cerâmicas (SELVAM et al., 1998).

3.3 Produções das fibras vegetais no Brasil

A produção de fibras no Brasil vem aumentando razoavelmente nos últimos anos. Os fatores que contribuem para este aumento são as cooperativas organizadas pelos agricultores que recebem apoio de órgãos como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), além do aumento da mecanização no setor que tem levado a uma maior disponibilidade de fibras no mercado.

Entre as fibras cultivadas no Brasil, encontram-se a de banana, do coco, do algodão, da juta, do abacaxi, do rami e do sisal. Dados apresentados por Silva et al. (2009), que obtiveram como fonte o Ministério da Agricultura, expõem a produção anual das principais culturas brasileiras que geram fibras lignocelulósicas: juta, malva, rami, sisal, algodão, coco, abacaxi, cana de açúcar e arroz, conforme Tabela 2:

Tabela 2. Produção anual das principais culturas brasileiras que geram fibras lignocelulósicas

| Cultura | Produção anual (mil toneladas) | | | |
|---|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| Juta (fibra) | 2 | 6 | 4 | 6 |
| Malva (fibra) | 10 | 20 | 14 | 20 |
| Rami (fibra) | 1 | 1 | - | - |
| Sisal (fibra) | 199 | 207 | 248 | 215 |
| Algodão herbáceo (em caroço) | 3.798 | 3.666 | 2.884 | 3.661 |
| Coco* | 2.078 | 2.079 | 1.857 | 2.017 |
| Abacaxi* | 1.477 | 1.528 | 1.658 | 1.682 |
| Cana de açúcar | 415.206 | 422.957 | 457.984 | 489.957 |
| Arroz (em casca) | 13.277 | 13.193 | 11.505 | 11.045 |
| *Produção em milhões de frutos | | | | |

Fonte: SILVA et al. (2009)

Oliveira (2011) afirma que o Brasil vem intensificando seus esforços para que as fibras vegetais sejam utilizadas em pesquisas de ponta, como a confecção de compósitos inovadores que possam ser utilizados no setor automotivo. Porém, é preciso investir no setor agrícola, aumentar as áreas de plantio de fibras e ultrapassar barreiras comerciais que ainda existem em relação ao uso das mesmas. Santos (2006) apresenta dados das principais localizações de cultivos das fibras e seus respectivos nomes científicos (Quadro 1):

Quadro 1. Principais localizações de cultivos das fibras vegetais no Brasil e seus nomes científicos

| Fibra | Nome científico | Parte da planta | Centros Produtores |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--|
| Sisal | Agave sisalana | Folha | Semiárido da Bahia - BA e Paraíba - PB |
| Piaçava | Attalea | Bainha foliar | Região de Valença – BA |
| Coco | Cocos nucifera | Mesocarpo do fruto | Região de Recife – PE e Aracaju – SE |
| Algodão | Gossypiumherbaceum | Semente | Campina Grande – PB |
| Celulose de Eucalipto | Eucaliptusgrandis | Tronco | Aracruz – ES |
| Rami | Boemmiria nívea | Caule | Região de Londrina - PR |
| Banana | Musa cavendishii | Pseudocaule | Vale do Ribeira - SP |
| Malva | Urenalobata | Caule | Amazônia |

Fonte: SANTOS (2006)

Nota-se que a região Nordeste domina a produção nacional de fibras vegetais. No Brasil, apenas 12 % dos grupos de pesquisa em engenharia de materiais realizam trabalhos com fibras vegetais e, deste total, menos de 3 % destes grupos estão no Nordeste (SILVA et al., 2009).

3.4 Fibras de Caroá

Neoglaziovia variegata, conhecida como caroá, é uma bromeliácea encontrada no Semiárido do Nordeste brasileiro. Sampaio et al. (2003) afirmam que a fibra de caroá é a mais característica da caatinga, produzida principalmente no Ceará. O caroá (Figura 2) apresenta folhas listradas, rígidas, eretas e com faces planas, podendo alcançar mais de um metro de comprimento e quatro centímetros de largura (LEÃO et al., 1998 e PEREIRA, 2003).

Figura 2. Caroá



Fonte: KERSTING (2004)

Ribeiro (2007) explica que, na primeira metade do século passado, a espécie teve papel importante na economia nordestina pela produção de fibra por indústrias têxteis, porém, sua exploração foi reduzida com o surgimento das fibras sintéticas. Desde 1980, a produção está estabilizada no patamar atual.

As fibras, retiradas das folhas, são responsáveis por geração de trabalho e renda para diversas famílias, pois, com elas, podem-se fabricar vários produtos artesanais: cordas, chapéus, bolsas, tapetes, redes, redes de pesca e tecidos. Além de ser uma planta ornamental, o caroá possui propriedades medicinais e pode ser utilizado em atividades antimicrobianas (PEIXOTO, 2009; SÁ et al., 2011).

Segundo Leão et al. (1998), as fibras de curauá estão entre as quatro lignocelulósicas mais rígidas até hoje conhecidas, o que potencializa sua importância comercial. Suas sementes são difíceis de serem encontradas, pois animais e pássaros alimentam-se das bagas verdes e, principalmente, das maduras dificultando a coleta na época ideal da maturação dos frutos (SILVEIRA et al., 2009; XAVIER, 1989),

Essa bromeliácea ainda é pouco estudada, havendo necessidade de desenvolver um método de propagação eficiente para obtenção de mudas saudáveis, constituindo-se, assim, o primeiro passo para o estabelecimento de um sistema de cultivo e produção, a fim de se evitar o extrativismo predatório (SILVEIRA et al., 2009).

3.4.1 Beneficiamento da fibra de caroá

As Figuras 3 e 4 ilustram o processo de beneficiamento das fibras de caroá da empresa FibraNatu, localizada em Olivedos, PB. O processo envolve etapas de extração e corte da planta, secagem a céu aberto, desfibramento, tesouramento, secagem, batimento, prensagem, armazenamento e transporte.

Figura 3. Diagrama do beneficiamento da fibra de caroá



Fonte: Própria

Figura 4. Beneficiamento da fibra de caroá



Fonte: Própria

A princípio, a planta é colhida na caatinga, cortada manualmente e exposta a céu aberto para secar, o que facilita o desfibramento das fibras. Em seguida, o caroá passa pelo desfibrador, onde a casca é retirada e sua fibra exposta. Cerca de 40% do resíduo deste material ainda está molhado, então o mesmo é moído – etapa de tesouramento - para, junto com o material desfibrado, ser exposto ao sol por cerca de dois dias; o resíduo desta etapa serve como ração e adubo. A fibra passa, então, pelo batedor para a retirada da poeira e logo é prensada em fardos de 100 kg, que são armazenados e transportados.

3.5 Fibras de coco

O coqueiro (*Cocos nucifera*) é uma das frutíferas mais difundidas naturalmente. Seu cultivo e sua utilização se dão de forma expressiva em todo o mundo. Segundo dados da Embrapa (2011), a exploração comercial do coqueiro abrange aproximadamente 90 países. Melhores condições de cultivo são encontradas em solos arenosos, sujeitos a intensa radiação solar, umidade e boa precipitação.

Ainda segundo a Embrapa (2011), a evolução tecnológica e o avanço de técnicas de cultivo adequadas aos novos preceitos da sociedade vêm possibilitando a inserção

de pequenos produtores e melhores condições de vida em diversas regiões. Ressalta-se que cerca de 90 % da produção de coco mundial advêm de pequenos agricultores, com áreas de até cinco hectares, sendo que esta produção é praticamente consumida internamente nos países produtores.

Apesar do cultivo do coqueiro ser estimulado e introduzido em várias regiões do Brasil, as maiores plantações e produções concentram-se na faixa litorânea do Nordeste e parte da região Norte. Favorecidas pelas condições de tropicalidade climática, ambas as regiões detêm próximos dos 70 % da produção do coco brasileiro (MARTINS e JESUS, 2011).

No Brasil, somente, 12 % dos grupos de pesquisa em engenharia de materiais realizam trabalhos com fibras vegetais (SILVA et al., 2009). Deste total, menos de 3% está no Nordeste, apesar desta região ser responsável por cerca de 90% da produção nacional de coco (onde Bahia, Sergipe e Rio Grande do Norte são os maiores produtores).

Segundo Aragão et al. (2005), a fibra é o nome dado ao material fibroso que constitui o mesocarpo do fruto (Figura 5). A demanda mundial de fibra está crescendo acentuadamente em razão do interesse, principalmente dos países ocidentais, por produtos que não causem impacto ambiental; a tendência mundial é transformar a fibra em um dos principais produtos do coco, alterando, assim, sua atual condição de subproduto.

Figura 5. Coco



Fonte: Portal São Francisco²

² Disponível em <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/coco/coco-14.php>. Acesso em junho 2013.

A fibra extraída do coco verde (frutos de 7 a 8 meses de idade) é classificada como fibra branca longa. Já a fibra do coco seco (frutos de 11 a 12 meses de idade) é classificada como fibra marrom longa, fibra marrom curta e o pó, que se refere ao material de enchimento dos espaços entre as fibras (ARAGÃO et al., 2005).

A fibra de melhor qualidade é usada na fabricação de cordas e esteiras; as fibras curtas e grossas são usadas com o enchimento de colchões e assentos; e as fibras longas e grosseiras são usadas na fabricação de pincéis (MENDES et al., 2000).

Mesmo sabendo que a composição química da casca de coco varia conforme a região de cultivo, tipo de solo, época do ano e a quantidade de chuva, Rosa et al. (2001) e Silva (2003) expõem os valores médios das principais propriedades físico-químicas da fibra do coco verde, conforme Tabela 3:

Tabela 3. Valores médios das principais propriedades da fibra de coco verde

| Propriedades | Valores |
|------------------------------|----------------|
| pH | 5,4 |
| Condutividade elétrica | 1,8 dS m |
| Relação C N | 132 |
| Densidade | 70gL |
| Porosidade total | 95,6% |
| Retenção de água | 538ml |
| Água facilmente assimilável | 19,8% |
| Percentagem de lignina | 35 a 45% |
| Percentagem de celulose | 23 a 43% |
| Percentagem de hemiceluloses | 3 a 12% |

Fonte: ARAGÃO (2005)

Segundo Gonçalves (2010), as vantagens da utilização de fibras de coco em relação às fibras sintéticas vão além do baixo custo, da baixa densidade, das boas propriedades térmicas e do alto módulo específico. A comercialização das fibras de coco contribui para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro, pois cria empregos em áreas de baixo índice de desenvolvimento humano.

A fibra do coco tem como principais componentes a celulose e o lenho, que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico, face às suas

características que a torna um material versátil, dada a sua resistência, durabilidade e resiliência (MURRAY, 2001).

As principais características técnicas da fibra de coco que lhe garantem vantagens para a utilização industrial são: sua resistência à umidade, o fato de ser inodora, não ser atacada por roedores, não apodrecer e não produzir fungos.

O rejeito da indústria convencional do coco maduro pode ser usado como combustível para caldeiras ou na manufatura de cordoalha, tapetes e estofamentos. Estudos mais recentes sugerem a utilização do resíduo da casca verde na agricultura intensiva (principalmente no cultivo de plantas ornamentais e hortaliças), na indústria de papel, na engenharia de alimentos, para complementação alimentar humana e animal, na produção de enzimas, na indústria de construção civil e em matrizes poliméricas.

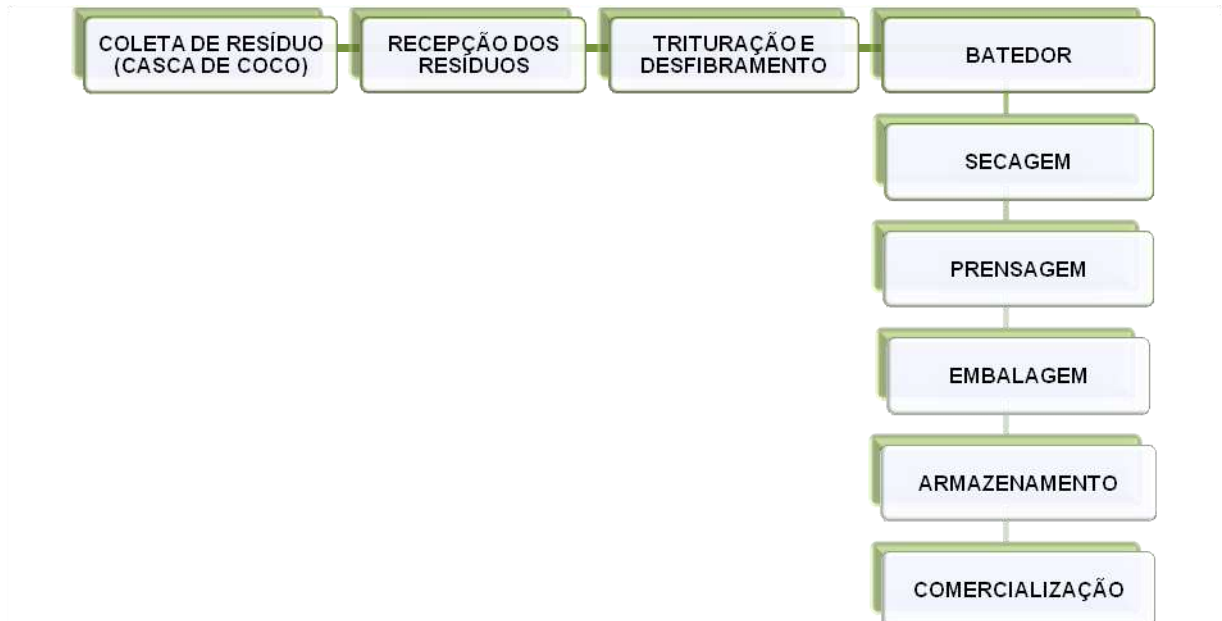
Impactos sobre o descarte do coco no meio ambiente envolvem a proliferação de vetores devido ao acúmulo de água nas cascas e a oferta de alimento no lixo, poluição visual e a emissão de gás metano devido à decomposição do resíduo.

Os resíduos do coco verde, quando dispostos em lixões, vazadouros, encostas e até mesmo em aterros sanitários, passam por um processo de decomposição causado pela ação de micro-organismos que empreendem processos de biodigestão. O processo de biodigestão pode ter características aeróbias, anaeróbias ou ambas. A decomposição anaeróbia é um processo biológico, fermentativo, em que microrganismos degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio e produzem um gás que contém, principalmente, metano e dióxido de carbono. O metano oriundo da decomposição anaeróbia da matéria orgânica contribui para o aumento dos Gases do Efeito Estufa (GEE).

3.5.1 Beneficiamento da fibra de coco

O beneficiamento da fibra de coco envolve diversas etapas, como o processamento, o desfibramento e o peneiramento do coco seco. As etapas resultam em fardos que são comercializados e destinados a servirem de matéria-prima para a confecção de cordas e tapetes, como ilustra o diagrama da Figura 6 e as imagens da Figura 7, obtidas durante uma visita à empresa Fibracoco, localizada em Igarassu, Pernambuco.

Figura 6. Diagrama do beneficiamento da fibra de coco



Fonte: Própria

Figura 7. Beneficiamento da fibra de coco



Fonte: Própria

A coleta do resíduo de coco é preferencialmente realizada diariamente. Esse procedimento tem como finalidade elevar a qualidade da fibra, pois a desidratação da casca prejudica as etapas subsequentes do processamento. O resíduo é depositado na indústria de beneficiamento e, nesta etapa, são retirados os materiais indesejáveis encontrados no coco, como canudos, plásticos, pedras, cascas ressecadas podres, entre outros. Na etapa de trituração e desfibramento, o resíduo é cortado e desfibrado por meio de facas rotativas em disco e logo a fibra passa pelo batedor para a retirada da poeira.

Segundo Silveira (2008), a casca de coco verde possui aproximadamente 85% de umidade e a maior parte dos sais encontra-se em solução. Na prensagem, remove-se 60% da umidade, ou seja, é liberada a água que se encontra livre dentro dos elementos anatômicos (água de embebição), o que acarreta também na remoção conjunta dos sais. O líquido oriundo da prensagem é descartado.

Para a remoção da umidade, as fibras são secas ao sol, ao vento ou ar quente. Em seguida, em uma prensa hidráulica, o material é compactado em forma de fardos. Os fardos são pesados, embalados, armazenados sobre *pallets* e comercializados. A unidade visitada comercializa, além dos fardos, produtos como corda e tapetes de fibra de coco (Figura 8).

Figura 8. Confeção de cordas e tapete feitos com fibra de coco



Fonte: Própria

3.6 Propriedades dos compósitos reforçado com fibras

As propriedades químicas e físicas dos compósitos contendo fibras vegetais podem ser marcadamente distintas em função da composição química das diferentes espécies disponíveis, variabilidade natural dentro das espécies, diferenças climáticas e de crescimento as dimensões das fibras naturais, entre outros fatores (CLEMONS e CAULFIELD, 2005). Variações ambientais, como aumento da umidade, mudanças de pH e temperatura, influenciam as propriedades mecânicas das fibras vegetais, cujas propriedades também dependem das condições de ensaio.

Fatores como tratamento, teor e orientação da fibra, tipo da matriz, aditivos e métodos de processamento afetam as propriedades dos compósitos fibrosos. Carvalho e Cavalcanti (2006) observaram que a resistência à tração de materiais compósitos reforçados com fibras depende, principalmente, da resistência, do módulo, do teor, da orientação e do comprimento das fibras, além da estabilidade química e resistência da matriz e da interface.

Silva (2002) ressaltou que as dimensões das células das fibras vegetais podem influenciar suas características. Fibras que apresentam elevado teor de aspecto (comprimento/espessura) tendem a apresentar resistência à tração mais elevada, contribuindo, também, com a resistência à flexão do compósito devido à melhor ancoragem da matriz. Por outro lado, também podem conduzir às reduções nos valores de absorção de energia do compósito, pela ruptura das fibras, em consequência do seu arrancamento da matriz.

A Tabela 4 expõe as propriedades físicas e mecânicas, como densidade, absorção máxima, alongamento de ruptura, resistência à tração e módulo de elasticidade das seguintes fibras vegetais: banana, coco, curauá, juta, malva e sisal, usadas como reforço em compósitos.

Tabela 4. Propriedades físicas e mecânicas de fibras vegetais

| Fibras | Densidade (g/cm³) | Absorção máxima (%) | Alongamento de ruptura (%) | Resistência à tração (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) |
|-----------------|---|------------------------------------|---|---|---|
| Banana* | 1,03 | 407 | 2,7 | 384 | 20-51 |
| Coco* | 1,20 | 94 | 15-30 | 175-220 | 4-6 |
| Curauá** | 1,35 | 450 | 3-3,3 | 509-581 | 19-23 |
| Juta*** | 1,38 | 214 | 1,7 | 393-800 | 10-30 |
| Malva* | 1,37 | 182 | 5,2 | 160 | 17 |
| Sisal* | 1,42 | 110 | 2-14 | 400-700 | 9-38 |

Fonte: *SAVASTANO E PIMENTEL (2000); ** MOTTA (2005); SPINACE et al. (2011); ***LI et al. (2007)

Das fibras analisadas, nota-se que as densidades são similares entre si, variando 1,20 g/cm³ para fibra de coco, como menos densidade e 1,42 g/cm³ para a fibra de sisal, sendo esta a mais densa. Segundo Clemons e Caulfield (2005), as fibras naturais apresentam uma densidade máxima por volta de 1,5 g/cm³, valor inferior à densidade das fibras inorgânicas, como a fibra de vidro, cujo valor é de aproximadamente 2,5 g/cm³.

As fibras com maiores percentagens de absorção de água são as de banana e curauá. Segundo Cavalcante (2008), a higroscopicidade destas fibras pode demandar alterações no processo de fabricação dos compósitos, bem como no desempenho do produto final. Logo, devem-se utilizar processamentos que sejam menos sensíveis à umidade ou realizar uma secagem das fibras antes ou durante o processo de confecção do compósito. As fibras naturais absorvem menos umidade quando estão encobertas parcialmente pela matriz polimérica, contudo, uma pequena quantidade de umidade absorvida pode afetar o comportamento do compósito.

As fibras com maior resistência à tração são as de sisal, curauá, juta e coco, diferente das fibras de banana e malva, que apresentaram baixa resistência à tração. Um critério decisivo para a escolha do tipo adequado de fibra é o seu módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade das fibras de banana, sisal e juta apresentaram maiores valores em contrapartida à fibra de coco, que possui alto teor de lignina. Sabe-se que o excesso de umidade diminui a resistência e o módulo de elasticidade; enquanto a elevação da temperatura aumenta a plasticidade da lignina (WINANDY e ROWELL, 1984; COUTTS, 2005).

Valores comparativos de resistência entre diversas fibras vegetais e fibra de vidro demonstram que as fibras vegetais apresentam metade do nível correspondente aos valores característicos da fibra de vidro. Contudo, devido ao fato de sua densidade ser aproximadamente 45 % menor, as fibras naturais apresentam níveis de resistência específica comparáveis aos da fibra de vidro (KLEBA e ZABOLD, 2004).

3.7 Fatores que afetam as propriedades de compósitos reforçados com fibra

George e Sabu (1997) e Vendruscolo (2003) apresentam diversos fatores que influenciam as propriedades dos compósitos fibrosos; são eles:

- a) Fração volumétrica de fibra: relaciona a quantidade de fibra presente no compósito, definida pela razão do peso da fibra pelo peso total do compósito.
- b) Resistência, módulo e estabilidade química da fibra e da matriz: as propriedades mecânicas de compósitos fibrosos são muito dependentes da resistência e do módulo de elasticidade da fibra. A escolha da matriz depende de uma série de fatores que levam em consideração o uso final do produto, além de propriedades como resistência química e às intempéries, facilidade de fabricação e o baixo custo, bem como a facilidade de manuseio e conformação.
- c) Influência da orientação das fibras: em compósitos fibrosos, normalmente, a resistência se encontra entre dois extremos, isto é, entre a resistência da fibra e a da matriz. Compósitos com fibras alinhadas apresentam propriedades máximas quando testados na direção da orientação das fibras e mínimas quando testados transversalmente às fibras. Os compósitos com fibras desalinhadas ou laminados com fibras orientadas em diferentes direções apresentam propriedades isotrópicas, isto é, praticamente as mesmas propriedades em todas as direções.
- d) Influência do comprimento da fibra: a resistência dos compósitos fibrosos não depende somente da resistência tênsil das fibras, mas também da quantidade de carga que é transmitida para as fibras. A extensão da carga transmitida é função da razão de aspecto da fibra e da magnitude da interação fibra/matriz. A razão de aspecto crítica depende da fração volumétrica das fibras e também da razão entre os módulos das fibras e da matriz (TERMONIA, 1989).
- e) Agentes de acoplamento: uma boa ligação fibra-matriz pode ser conseguida pelo uso de aditivos ou agentes de acoplamento, gerando, portanto, uma melhora na

interface. Os agentes de acoplamento mais utilizados são os baseados em silanos, isocianatos e titanatos. Eles são aplicados à carga antes desta ser incorporada ao polímero.

f) Influência da presença de vazios: durante a incorporação das fibras à matriz ou durante a manufatura do compósito, ar ou alguns voláteis podem ser aprisionados no material (bolha). A causa mais comum para o surgimento de vazios é a dificuldade de deslocamento dos mesmos devido à elevada viscosidade da matriz durante a consolidação. Uma alta concentração de vazios, normalmente, leva a uma baixa resistência à fadiga, a uma grande susceptibilidade à difusão de água e a uma grande dispersão nas propriedades mecânicas, já que as bolhas atuam como concentradores de tensão.

3.8 Matriz Termofixa

Resinas termorrígidas são ligantes usados para aglomerar e estruturar compósitos fibrosos e apresentam vantagens em relação aos termoplásticos, tais como: resistência à fluência, estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico e elevada rigidez. As resinas termorrígidas advêm do material formado pela mistura de monômeros ou pré-polímeros com iniciadores e promotores de cura que, quando convenientemente curado (polimerizado), forma um material sólido que apresenta boas propriedades mecânicas e excelente resistência química. Segundo Santos (2006), as resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são as de poliéster, poliuretano, vinil-éster e resinas fenólicas, as quais são usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro. As resinas epóxi são mais caras e, além das aplicações estruturais, são utilizadas em aplicações aeroespaciais, por possuírem melhores propriedades mecânicas e melhores resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Em aplicações de altas temperaturas, são empregadas as resinas poliamidas; seu limite superior de temperatura para utilização em regime contínuo é de aproximadamente 230°C. Para a cura de resinas vinil éster, os iniciadores utilizados geralmente são peróxidos orgânicos e hidroperóxidos, incluindo peróxido de metil etil cetona, peróxido de benzoila e hidro peróxido de cumeno.

Segundo Pereira (2006), os poliésteres são grupos de polímeros obtidos por reação de policondensação entre ácidos dicarboxílicos e poli álcoois. Neste tipo de polímero

de cadeia carbônica, a característica principal é a ligação do éster –COO. Os poliésteres apresentam boa resistência à corrosão e à ação de agentes químicos, sendo empregados como produtos para recobrimentos de telhas cerâmicas e outras aplicações.

As resinas poliéster podem ser saturadas ou insaturadas. O poliéster saturado é obtido pela reação entre um diálcool e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico cuja cadeia molecular é composta por ligações simples entre os átomos de carbono, o que caracteriza a flexibilidade dos produtos obtidos com este tipo de resina (HARPER, 2001).

O poliéster insaturado é produzido quando qualquer um dos reagentes contém insaturações. A denominação *insaturado* é proveniente da presença de duplas ligações presentes na sua cadeia molecular. A insaturação do poliéster é fornecida, geralmente, pelo ácido ou anidrido maleíco, assim como pelo seu isômero, ácido fumárico (PEREIRA, 2006).

As resinas de poliéster podem ser formuladas para apresentar uma ampla faixa de propriedades mecânicas com comportamentos variando de frágil e duro à macio e flexível. A viscosidade, na temperatura ambiente, pode variar desde 50 cP (centipoise) até valores superiores a 25.000 cP. Desta forma, estas resinas podem ser utilizadas para a fabricação de milhares de produtos através de diversas técnicas fabris, como moldagem em molde aberto, laminação manual, pulverização, moldagem a vácuo e moldagem por injeção. Através da escolha apropriada de aditivos, resinas de poliéster com propriedades especiais podem ser obtidas, por exemplo: resistência à ação atmosférica – oxidação e radiação solar - pode ser obtida com o uso de metacrilato de metila (HARPER, 2001).

As resinas poliéster insaturadas, dependendo de suas características, podem ser utilizadas em ambientes externos ou internos, em pó ou suspensão, como recobrimento de telhas cerâmicas com caráter de proteção e para melhorar a aparência superficial (MANO, 1986).

Entre as resinas de poliéster insaturadas, destaca-se a linha de resina sustentável. O nome resina sustentável deriva da utilização de matérias-primas de fontes renováveis (vegetal) e resinas termoplásticas recicladas (pós-consumo) em sua fabricação. Esta tem base ortoftálica, tereftálica, dicitopentadieno (DCPD) e isoftálicas e é utilizada em materiais compósitos.

Segundo Moreira (2010), coordenador de vendas da empresa Eleikeiroz, que produz plastificantes, resinas, tintas e fertilizantes, a linha sustentável reduz em até 20% os recursos não renováveis utilizados nas resinas poliéster tradicionais. Com tecnologia 100% nacional, a linha Biopoli (BP) de resinas faz uso de oleaginosas de ciclo curto (3 a 4 meses), sendo rapidamente renováveis, além de fazer uso de óleos transesterificados, como os de soja e milho.

De acordo com Moreira (2010), as resinas BP são de fácil processamento, além de oferecerem excelente rigidez e durabilidade. As resinas BP mantêm as propriedades físicas e químicas das resinas de poliéster convencionais, garantindo desempenho igual e até superior a de peças fabricadas com resina comum. Diversas aplicações são dadas aos diferentes tipos de resinas sustentáveis BP, como: artesanal, construção civil, moldes, laminação contínua entre outras aplicações.

Dentre as resinas sustentáveis disponibilizadas pela Eleikeiroz, a resina tixotrópica BP 290 é comercializada pré-preparada. Os dados fornecidos pela empresa Eleikeiroz sobre as características da resina BP 290 estão ilustradas na Tabela 5. Informações sobre as propriedades – tração e flexão - da resina pós-curada também foram fornecidas pela empresa e estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5. Características da resina BP 290

| Características | Valores | Unidades |
|---------------------------|----------------|-------------------|
| Viscosidade a 25°C | 300-350 | cPs |
| Teor de estireno | 45 máx. | % |
| Gel Time | 9'-15' | Minutos |
| Índice tixotrópico | 1,50 mínimo | - |
| Densidade a 25°C | 1,10-1,20 | g/cm ³ |
| Índice de acidez | 30 máx. | mgKOH g |
| Ponto de fulgor | 31 | °C |

Fonte: ELEIKEROZ (2011)

Tabela 6. Propriedades - tração e flexão - da resina BP 290

| Propriedades | Valores | Unidades |
|------------------------|----------------|-----------------|
| Tração | | |
| Resistência máxima | 30 | MPa |
| Módulo de elasticidade | 2,34 | GPa |
| Elongação | 1,21 | % |
| Flexão | | |
| Resistência máxima | 64 | MPa |
| Módulo de elasticidade | 3,34 | GPa |

Fonte: ELEIKEROZ (2011)

A resina BP 290 possui baixa viscosidade, é uma resina de média reatividade e ciclo de cura rápido. Além disso, pode ser utilizada para produção de laminados com baixa espessura e apresenta boa impregnação das fibras devido à sua ótima molhabilidade.

3.8.1 Cura de matrizes poliméricas

Segundo Adms et al. (1997) e Fontoura (2009), o processo de cura da matriz é caracterizado por quatro etapas: tempo de gel, pico exotérmico, tempo de desmoldagem e tempo de cura. A reação de cura provoca mudança na viscosidade do sistema devido ao aumento na quantidade de ligações cruzadas que se formam. Conforme a reação prossegue, existe aumento das ramificações das cadeias até que o sistema atinja o tempo de gel, causando aumento na densidade das ligações cruzadas (reticulação).

O tempo de gel permite a manipulação da matriz, já que sua consistência ainda é líquida. Após o tempo de gel, a temperatura máxima é atingida gerando o pico exotérmico do processo de cura. O tempo de desmoldagem é a etapa entre a gelificação da matriz e o momento em que o material está suficientemente consistente para ser retirado do molde.

No momento de cura, as ligações cruzadas entre as cadeias da resina estão mais coesas: quanto mais eficiente à cura, maior é o número de ligações cruzadas e, no caso dos polímeros termofixos, menor a Tg. A Tg está associada à movimentação de segmentos de cadeia. Se o grau de reticulação é elevado, esses segmentos são mais curtos e ancorados uns aos outros, o que dificulta sua movimentação. Por isso

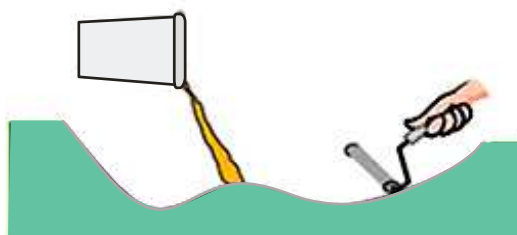
é que resinas termofixas são mais estáveis termicamente do que as termoplásticas. Polímeros termofixos praticamente não apresentam T_g , embora ele possa aparecer dependendo do grau de reticulação, porém, nesse caso, o amolecimento não é grande.

3.9 Processos de fabricação dos compósitos de matriz termofixa reforçada por fibra

Diversos processos são utilizados para obtenção de compósitos reforçados com resina termofixa e fibra. O que define a técnica que deve ser empregada na moldagem do compósito é a disponibilidade de materiais, recursos e mão de obra qualificada. Mallick (1993), Kersting (2004) e Preto (2013) citam as seguintes técnicas de moldagem:

Handlay-up: o processo manual consiste em aplicar camadas alternadas de fibras, na forma de tecido ou manta, e resina em um molde ou gabarito untado com desmoldante para facilitar a remoção da peça (Figura 9). A resina é aplicada sobre as fibras com auxílio de um rolo ou pincel. A cura tanto pode acontecer na temperatura ambiente, como em temperaturas elevadas. Esta técnica possui baixo custo e é recomendada para peças de grande porte ou pequena quantidade de produção.

Figura 9. Processo de moldação *handlay-up*



Fonte: *Molded fiber glass*³

Spray lay up: através de uma pistola, fibras - curtas e aleatórias - e resina são depositadas em um molde – Figura 10. Tal técnica é indicada para compósitos de geometria complexa ou peças de grande porte e comumente é utilizada em pequenas séries de produção. As principais desvantagens são a grande emissão de

³ Disponível em <http://www.moldedfiberglass.com>. Acesso em agosto 2012.

gases para a atmosfera, além de poder apresentar um mau acabamento superficial numa das superfícies, bem como uma distribuição irregular das fibras pela espessura.

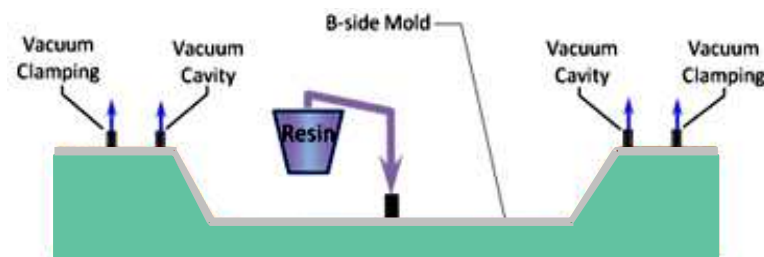
Figura 10. Processo de moldação *spray lay up*



Fonte: *Molded fiber glass*³

Vácuo: trata-se de um processo de molde fechado (Figura 11). O primeiro passo é a aplicação das fibras sobre uma das concavidades do molde que depois é fechado e aquecido. A resina é injetada no molde e, ao mesmo tempo, é aplicado o vácuo no interior do molde. A utilização do vácuo permite a obtenção de bons acabamentos superficiais, além do aumento das características mecânicas do compósito devido à redução da percentagem de bolhas de ar nas fibras até 70 %.

Figura 11. Processo de moldação por vácuo

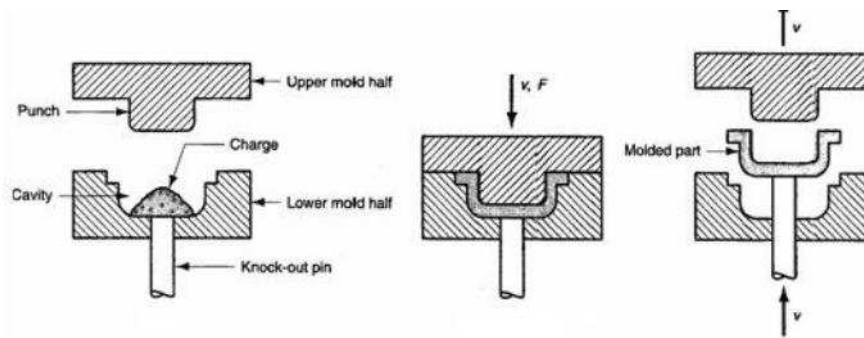


Fonte: *Molded fiber glass*³

Pressão: o reforço é introduzido no molde e a resina é injetada sob pressão. O molde, então, é fechado pela ação de grandes pressões que força as fibras e a resina contra as cavidades do molde (Figura 12). Sob temperatura ambiente ou controlada, a pressão e a força são mantidas constantes até a cura da resina. Geralmente, este processo é utilizado para peças com grandes quantidades de reforço com distribuição aleatória e resinas termofixas.

³ Disponível em <http://www.moldedfiberglass.com>. Acesso em agosto 2012.

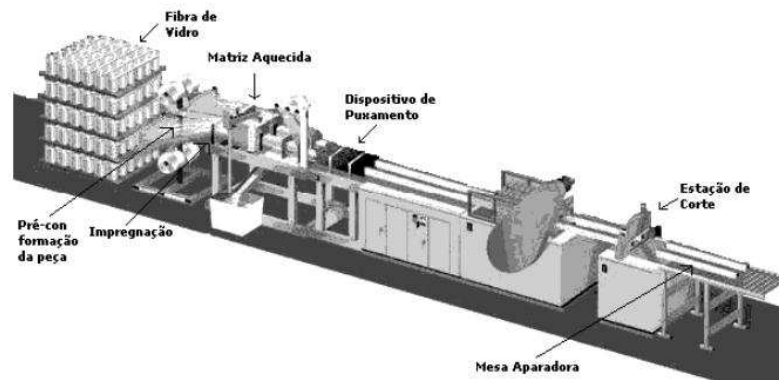
Figura 12. Processo de moldação por pressão



Fonte: Sinotech⁴

Pultrusão: o processo inicia quando as fibras que irão atuar como reforço são puxadas a partir de uma série de rolos e carretéis até um tanque onde a resina é impregnada na estrutura da fibra (Figura 13). As fibras, já impregnadas, são direcionadas para a forma do perfil requerido: o processo de cura da resina acontece através de uma reação exotérmica fornecida pela matriz. O perfil é continuamente puxado e sai do molde quente, resfriando: ou a temperatura ambiente, ou através da imersão em água, ou ainda através da injeção de ar sobre o perfil de saída da matriz.

Figura 13. Processo de moldação por pultrusão



Fonte: KERSTING (2004)

⁴ Disponível em <http://sinotech.com>. Acesso em março 2013.

3.10 Envelhecimento e degradação de polímeros

Compósitos de matriz termofixa têm sido usados extensivamente em vários setores industriais. Muitas dessas aplicações expõem o material a ambientes que comprometem a sua durabilidade, como: calor, radiação solar, poluição e cargas estáticas ou de fadiga, que induzem o envelhecimento do material.

A degradação ou alterações das propriedades de um polímero é resultante de reações químicas de diversos tipos que podem ser intra ou intermoleculares. Esta degradação pode ser um processo de despolimerização, de oxidação, de reticulação ou de cisão de ligações químicas (DE PAOLI, 2008).

A degradação causa uma modificação irreversível nas propriedades dos materiais poliméricos, sendo evidenciada pela deterioração progressiva destas propriedades, incluindo o aspecto visual. Em alguns casos, as reações de degradação podem ser necessárias, como nos rejeitos poliméricos não recicláveis, mas, de modo geral, são reações indesejáveis (RODRIGUES, 2007).

Para utilizar todo o potencial dos materiais compósitos, seu desempenho durante e após a exposição em altas temperaturas e ambientes com elevada umidade deve ser conhecido. Por esta razão, grande interesse tem sido concentrado sobre o efeito da exposição de materiais compósitos às condições de umidade e tem sido mostrado que, particularmente, a elevadas temperaturas, ocorre à degradação do compósito (AVENA e BUNSELL, 1988).

Em atmosfera úmida ou meio aquoso, o compósito de matriz polimérica sofre modificações nas suas propriedades mecânicas e físicas. Neste caso particular, Liao e Tan (2001) e Merdas et al. (2002) citaram que a absorção de umidade no compósito pode ocorrer através das fibras, da matriz e da interface fibra/matriz, ocasionando a plastificação da matriz, dilatação do material devido à absorção de água, fragilização devido à degradação por hidrólise da estrutura macromolecular, além de trincas e danos na interface fibra/matriz.

A degradação química pela presença de água é apontada como uma das principais causas da falha de compósitos com matriz polimérica exposta à atmosfera úmida ou em contato com meio aquoso (MERDAS et al., 2002). Em geral, a absorção de água por parte das fibras sintéticas é menor do que a da maioria das matrizes poliméricas,

mas fibras vegetais, em geral, absorvem mais água do que grande parte das matrizes poliméricas.

Segundo Sobrinho (2005), os efeitos higrotérmicos do ambiente e o comportamento dos materiais compósitos com matriz polimérica sob envelhecimento higrotérmico são bastante complexos. Muitos autores apresentam diferentes opiniões a respeito dos mecanismos e cinética de absorção de água, como Zhou e Lucas (1999), que consideram que a absorção de água em materiais compósitos pode ser caracterizada pela difusão de *Fick*, seguindo a equação 1:

$$F = -D_{Dif} \nabla m \quad (1)$$

onde, F = fluxo do fluido; D_{dif} = coeficiente de difusão e ∇m = gradiente de concentração.

Loos e Springer (1979) investigaram o comportamento dos principais tipos de compósitos de matriz de resina em função da absorção de água. O resultado mostrou que os materiais obedecem ao modelo de difusão de *Fick* em ensaios a temperaturas mais baixas; e em temperaturas mais altas, apresentam comportamento não *Fickiano*.

Segundo Perreux et al. (1997), cinética de absorção de água nos materiais compósitos pode ser descrita pela lei de *Fick*, podendo, no entanto, existirem materiais poliméricos que apresentem cinética de absorção de água mais complexa, onde outro modelo pode ser mais eficiente.

As radiações UV são conhecidas como um fator de desgaste dos polímeros, pois estão associadas ao mecanismo de fotodegradação. O ensaio de resistência ao envelhecimento verifica se o material irá envelhecer mais rapidamente ou não sob condições adversas, como sol, chuva e umidade, conforme a intensidade da radiação aplicada.

Segundo Maluf (2012), diretor do Centro de Têxteis Técnicos e Manufaturados (CETIM) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o domínio sobre o processo é importante levando em conta que a luminosidade incidente sobre uma superfície é diferente todos os dias, assim como muda de acordo com a localização das cidades.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA

4.1 Incorporações de fibra vegetal como reforço em compósito

O uso inicial da fibra vegetal para produção de compósitos teve como função reforçar tijolos de barro, sistema conhecido como adobe. Segundo d’Almeida (1987) e Oliveira (2007), no passado, a principal utilização das fibras vegetais envolveu a produção de cordas, barbantes, roupas, capachos e produtos artesanais. Com o surgimento da fibra sintética, o consumo da fibra vegetal sofreu uma queda de 40 %. Em contrapartida, nos últimos anos, principalmente com a preocupação ecológica e os efeitos negativos da fibra sintética, o emprego de fibras vegetais tem sido objetivo de pesquisas. John e Sabu (2008) defendem que o crescente interesse em estudar fibras lignocelulósicas é o fato de fornecerem maior resistência específica e rigidez ao compósito, além de ser um recurso renovável que exige pouca energia para seu processamento.

Gonçalves (2010) transcreve diversas vantagens e desvantagens oferecidas pelas fibras vegetais em relação às fibras sintéticas, como a busca pelo aproveitamento de recursos naturais renováveis de importância econômica regional, objetivando-se a conscientização ecológica e os avanços em legislações relativas ao meio-ambiente, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Vantagens e desvantagens da utilização de fibras vegetais

| Vantagens | Desvantagens |
|--|---|
| Baixa massa específica | Baixas temperaturas de processamento |
| Maciez e abrasividade reduzida | Propriedades mecânicas acentuadamente variadas |
| Recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis | Forte influência com a época da colheita, tipo de solo, processamento após colheita |
| Estimula empregos | Sensibilidade significativa à variação de temperatura e de umidade |
| Baixo custo, baixo consumo de energia na produção | Seções transversais da fibra variada e de geometria complexa e não uniforme |

Fonte: GONÇALVES (2010)

As fibras celulósicas possuem características que tornam seu emprego vantajoso, como: baixo custo, diversidade, baixa densidade, resistência específica, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo. Suas propriedades mecânicas são comparáveis às de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais são mais baratas que as fibras sintéticas e podem substituí-las em diversas aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência (JOSEPH et al., 1999).

Carvalho (1996), Mishra et al. (2004), Rouison et al. (2005) e Daltro (2011) afirmam que as fibras vegetais são recursos naturais renováveis e biodegradáveis, de baixa densidade, duráveis, de fácil secagem, baixo custo, baixo consumo de energia e apresentam um bom conjunto de propriedades mecânicas, adequadas as várias aplicações. A motivação do emprego da fibra vegetal também envolve fatores sociais, pois, o uso de fibras como juta, caroá e coco pode gerar renda e melhoria de vida das comunidades produtoras.

As principais dificuldades associadas ao uso das fibras vegetais, como reforço em compósitos poliméricos, é o fato de apresentarem propriedades mecânicas inferiores às das fibras sintéticas, possuírem baixa resistência biológica e serem suscetíveis à degradação em meios alcalinos e ácidos. Além disto, as propriedades mecânicas das fibras vegetais são dependentes da idade da planta, do tipo de solo, das condições climáticas, do local, das condições de processamento empregadas, bem como de sua estrutura e de sua composição química (CARVALHO, 1996; GOWDA et al., 1999; WAMBUA et al., 2003).

Segundo Silva (2003), as fibras vegetais apresentam como desvantagens a baixa temperatura de processamento (limitada a aproximadamente 200 °C), falta de uniformidade de propriedades (depende da origem das fibras e região do plantio) e a alta absorção de umidade (que pode causar o inchaço das fibras).

Em relação à baixa temperatura de processamento, para compósitos com matrizes termorrígidas, isso não gera problema, pois a cura da maioria dessas resinas geralmente ocorre em temperaturas inferiores a 200 °C, como é o caso da resina de poliuretano de mamona (GASSAN e BLEDZKI, 1999).

A utilização e pesquisas sobre materiais fibrosos e poliméricos tornam a área de estudo de compósitos crescente. A evolução da tecnologia permite o uso de plásticos reforçados com vantagens produtivas, econômicas e ecológicas. De acordo

com Rowell et al. (1997) e Albuquerque Neto et al. (2007), as fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, coco, juta e banana, além de fibras de madeira, bagaço de cana e bambu.

Na Europa, os compósitos de fibras de origem vegetal são principalmente empregados na indústria automobilística. As fibras são utilizadas em sua forma bruta ou como mantas. Logo, os compósitos apresentam propriedades mecânicas moderadas, o que faz com que eles sejam utilizados em produtos não estruturais. A Alemanha, por exemplo, trabalha no intuito de produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis. Além dos aspectos ecológicos, o principal incentivo para utilização destes compósitos é a redução de custo e peso dos veículos, bem como a capacidade de fraturar sob impacto sem soltar lascas (HILL, 1997). Outras vantagens são a estabilidade dimensional e a resistência às intempéries (SUDDELL et al., 2002).

No ocidente, o uso de compósitos não estruturais feitos a partir de fibras vegetais é consideravelmente mais difundido, sendo a fibra de madeira a mais utilizada. Nos Estados Unidos, as fibras de madeira respondem por 7% do total de cargas e fibras utilizadas em materiais compósitos. As principais aplicações são para a construção civil, como coberturas, perfis de janelas e assoalhos. Estes compósitos também estão sendo utilizados em produtos, como vasos para plantas, em acessórios para escritórios e como paletas (*pallets*) (MADSEN, 2004).

No Brasil, existem diversas experiências, como o uso de matrizes a base de cimento reforçado, com fibras naturais para produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical, caixas de água e pias de cozinha. Em diversos países, esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere a sistemas de cobertura de baixo custo (SAVASTANO e PIMENTEL, 2000).

Savastano e Pimentel (2000) e Tolêdo et al. (2000) demonstraram que as principais deficiências dos compósitos de matriz cimentícia estão relacionadas à degradação das fibras pela ação do ambiente alcalino da pasta de cimento, aumento dimensional relacionado às variações de umidade e mineralização pela deposição dos produtos da pasta de cimento em seu interior.

Outras experiências servem como exemplo da utilização de fibras vegetais em materiais compósitos. Joseph et al. (1993) avaliaram a influência do processamento

e da orientação das fibras de sisal nas propriedades mecânicas do compósito sisal/poliétileno de baixa densidade (LDPE). Os compósitos preparados pela técnica de mistura de soluções, na qual se evita a quebra das fibras durante o processamento, mostraram um acréscimo uniforme nas propriedades de tração com o aumento do teor de fibras.

Compósitos híbridos sisal / vidro / LDPE foram produzidos por Kalaprasad et al. (1997). Neste trabalho, as amostras com adição de 3 % de fibra de vidro e 14 % de fibra de sisal gera significativo aumento nas propriedades mecânicas do compósito e decréscimo da absorção de umidade.

Araújo et al. (2002) desenvolveram compósitos com elastômeros de poliuretano comercial e derivado de óleo de mamona, reforçados com fibras de curauá que demonstraram desejável estabilidade térmica.

Carvalho et al. (2002) estudaram compósitos com fibras de sisal e poliuretano derivado de mamona e avaliaram suas propriedades mecânicas de tração. Os compósitos de fibras contínuas e alinhadas demonstraram considerável desempenho mecânico.

Salazar e Leão (2002) desenvolveram compósito de látex e fibras de coco para produzir bancos de automóveis e compararam seu desempenho e vida útil com a dos bancos de espuma de poliuretano. Testes demonstraram que a variação volumétrica do compósito foi o dobro da apresentada pela espuma geralmente empregada.

Medeiros et al. (2003) estudaram o comportamento mecânico em tração de compósitos de matriz fenólica reforçados por tecidos híbridos de juta e algodão em função das características dos tecidos e da orientação das fibras. Dentre as propriedades avaliadas, a propriedade mais sensível ao ângulo de teste e ao tipo de tecido usado é resistência à tração. As melhores propriedades mecânicas foram obtidas na direção das fibras de juta e a caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras possibilita constatar que as fibras de juta possuem maior adesão com a resina fenólica do que as fibras de algodão.

Mothé e Araújo (2004) estudaram aplicação, comportamento térmico e o mecanismo de decomposição térmica do poliuretano (PU) com a fibra de curauá nas proporções de 5,10 e 20% m/m de fibras. A incorporação de fibra nos compósitos de PU com curauá provoca aumento no módulo de *Young* e diminuição na deformação na

ruptura. Os pesquisadores sugerem a aplicação do compósito na confecção de capacete para ciclista.

Nóbrega et al. (2006) analisaram as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos com matriz poliéster insaturado, reforçada por fibras curtas de caroá e macambira. Os resultados indicam que as resistências à tração dos compósitos reforçados com fibras de caroá e macambira apresentam desempenhos superiores à da matriz para teores acima de 24 e 34 %, respectivamente. O desempenho superior apresentado pelos compósitos reforçados com fibras de caroá em relação aos reforçados com macambira está associado ao menor diâmetro médio das fibras de caroá que promove aumento na área de contato fibra/matriz e às propriedades individuais.

Oliveira e Teixeira (2006) avaliaram a viabilidade técnica do uso de fibras do coco de babaçu como matéria-prima para a produção de chapas de aglomerado e determinaram as propriedades dos aglomerados produzidos. A palha de coco do babaçu mostra ser uma alternativa para a produção de chapa aglomerada, isso porque é extraída do fruto e não há a necessidade de se abater a palmeira para a produção do painel, como é feito em casos de produção de chapa aglomerada convencional, com madeira. Chapas com maior proporção de resina apresentaram menor inchamento de espessura e absorção de água.

Monteiro e Lopes (2007) estudaram a resistência ao impacto de compósitos de matriz poliéster reforçado com até 40% m/m de fibras de curauá. Os resultados mostraram que a resistência ao impacto aumentou sensivelmente com o aumento da quantidade relativa de fibra de curauá reforçando o compósito. Este desempenho pode ser diretamente associado à dificuldade de ruptura imposta pelas fibras, bem como ao tipo de trincas resultantes da interação fibra de curauá/matriz de poliéster que ajudam a absorver a energia do impacto.

Nóbrega (2007) analisou as propriedades mecânicas de compósitos reforçados com fibras de caroá e resina de poliéster com diferentes teores de fibras. A composição de amostras com melhor desempenho mecânico foi selecionada para os ensaios de sorção de água a temperatura de 25°C, 50°C e 70°C. Os resultados indicam que as propriedades mecânicas em tração dos compósitos estudados aumentam com o teor de fibras acima de 24% em massa até um volume crítico. Resistência ao impacto aumentou para todas as composições em virtude da eficiência de transferência de

tensão para as fibras. A cinética de sorção de água nos compósitos mostrou ser influenciada pela relação área/volume.

Oliveira (2011) apresenta as características do compósito formado por resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos. Na caracterização dos compósitos, os resultados apontam que o compósito de resina de mamona e fibra de ubuçu apresenta considerável desempenho nos ensaios de flexão e compressão. No ensaio de abrasão, os compósitos de resina de mamona e fibra de ubuçu foram comparados a duas espécies de madeira, pupunha e coco, mostrando-se adequados como material na fabricação de pisos e revestimentos.

França (2012) analisou as propriedades mecânicas de compósitos com diferentes percentuais de matriz polimérica resol/PET pós-consumo e fibras de caroá (*Neoglaziovia variegata*) contínuas, orientadas e não tratadas. A fibra foi diretamente responsável em provocar uma maior resistência nos módulos de tensão máxima e elasticidade no ensaio de flexão.

Angrizani et al. (2014) estudaram as propriedades mecânicas de acordo com a variação da espessura de compósitos híbridos interlaminares, curauá/vidro/poliéster, insaturados por compressão a quente. De modo geral, o laminado considerado mais adequado foi o mais espesso, formado por oito camadas, sendo quatro de fibra de vidro e quatro de curauá.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Fibra de Caroá: fornecida pela empresa FibraNatu, localizada no município de Olivedos na Paraíba, Figura 14 (a).

Fibra de coco: fornecida pela empresa Fibracoco, localizada em Iguassu, Pernambuco, Figura 14 (b).

Resina poliéster insaturada ortoftálica pré-acelerada: fornecida pela empresa Elekeiroz, localizada em São Paulo, sob o código BP 290.

Catalisador: peróxido de metil etil cetona – P MEK.

Desmoldante: silicone líquido automotivo.

Figura 14. a) Fibra de caroá b) Fibra de coco



(a)



(b)

Fonte: Própria

5.2 Métodos

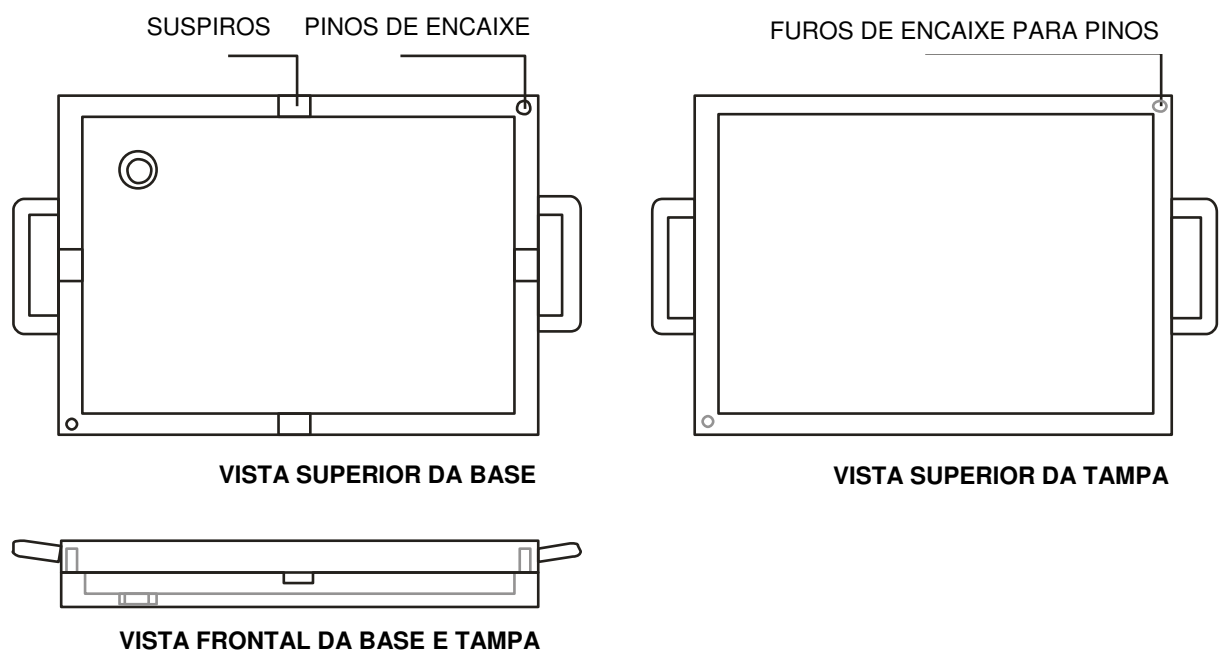
A preparação dos corpos de prova, os ensaios de caracterização das matérias-primas e os ensaios físicos e mecânicos dos compósitos foram realizados nos seguintes laboratórios da Unidade Acadêmica de Engenharia dos Materiais da Universidade Federal de Campina Grande: Caracterização, Reciclagem e Processamento de Materiais.

5.2.1 Preparação dos compósitos

Compósitos com oito composições diferentes, a saber: 13, 23, 30 e 40 % m/m de fibras de caroá e 13, 23, 30 e 40 % m/m de fibras de coco, além da resina pura (0 % de fibra) foram moldados por compressão. Esses teores de fibras equivalem ao uso de 3, 5, 7 e 9 mantas de fibra caroá/coco. Cada manta, nas dimensões do molde de metal ($20 \times 15 \times 0,03 \text{ cm}^3$) (Figura 15) e pesando cinco gramas, foi confeccionada com fibras *in natura* de caroá/coco cortadas com 2 cm de comprimento (fibras curtas) e secas em estufa durante 20 minutos, à $75 \text{ }^\circ\text{C}$, para eliminar a umidade presente.

O comprimento das fibras é um dos fatores mais importantes que deve ser considerado nas propriedades do compósito fibroso, contudo como o objetivo do trabalho não foi estudar a influência do comprimento da fibra nas propriedades mecânicas, adotou-se um comprimento padrão de 2 cm para todos os compósitos. Este valor foi selecionado com base em trabalhos publicados por Razera (2006), Megiatto Júnior (2006) e Rosa et al. (2012).

Figura 15. Esquema do molde de metal



Fonte: Própria

As mantas foram dispostas no molde contendo o desmoldante. Intercalada às camadas de mantas, foi vertida a mistura de resina e 1% de catalisador - peróxido de metil etil cetona – PMEK (Figura 16 e 17).

Figura 16. Esquema da intercalação de 0, 3, 5, 7 e 9 mantas de fibra picotada com resina

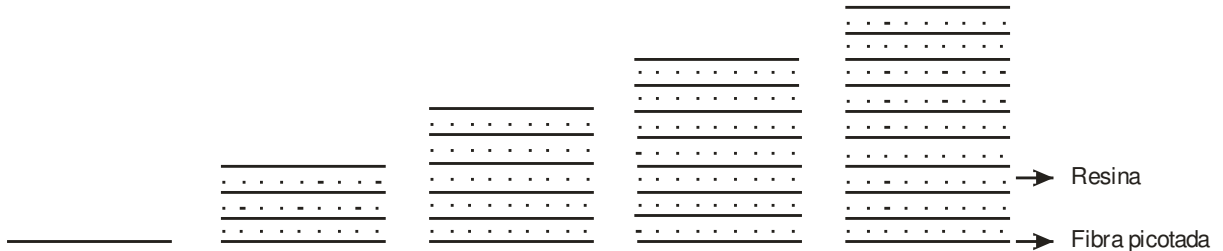


Figura 17. a) Aplicação de desmoldante b) Camadas de manta e resina com catalisador



Fonte: Própria

Para melhor acomodação das fibras no molde, o conjunto foi disposto em uma prensa hidráulica, sob carga de 10 toneladas, à temperatura ambiente durante 1 hora. Em seguida, a prensa foi previamente aquecida durante 20 minutos até atingir a temperatura de 75 °C e, para ocorrer a completa cura da resina, o molde foi mantido na prensa durante 2 horas (Figura 18).

Figura 18. Prensagem do compósito



Fonte: Própria

Depois de retirado do molde, o compósito apresentou forma de placa, como ilustra a Figura 19. Corpos de prova foram usinados a partir dessas placas.

Figura 19. a) Compósito laminado poliéster/caroá b) Compósito laminado poliéster/coco



(a)



(b)

Fonte: Própria

Para determinar o teor de fibra de cada compósito, as mantas de caroá e coco, antes de serem colocadas no molde, foram pesadas em balança analítica, bem como seus respectivos compósitos. Com os pesos obtidos, determinou-se o teor de fibras seguindo a equação 2:

$$T_f(\%) = \frac{P_m}{P_l} \times 100 \quad (2)$$

onde T_f = teor de fibras; P_m = peso (g) da manta e o P_l = peso do laminado (g).

5.2.2 Caracterização das fibras

Para a caracterização das fibras, inicialmente foi feita a extração das impurezas – óleo e graxas - presentes nas mesmas, as fibras foram lavadas com água e secas em estufa a temperatura de 60 ° C, durante 24 horas. Depois de secas, foram moídas em moinho de bolas e peneiradas em peneira #200.

Análise Termogravimétrica - TG

A termogravimetria permite monitorar a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas, ou seja, visa analisar a perda ou a agregação de massa à amostra em temperaturas variadas.

Para realização do ensaio, as amostras foram pesadas com massa aproximada de $5 \pm 0,5$ mg, acondicionadas em cadinhos de alumina e aquecidas a uma taxa de $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$, da temperatura ambiente até $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, utilizando atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mLmin^{-1} . Para estes ensaios, foi utilizado o equipamento da marca TA, modelo SDT Q 600.

Difração de raios X – DRX

Através do ensaio de DRX, é possível identificar, caracterizar micro estruturalmente e determinar o índice de cristalinidade das fases cristalinas do material. Para esta pesquisa, foi utilizado o equipamento da marca *Shimadzu*, modelo DRX 6000 operando com radiação Cu, entre ângulos de varredura de $5^\circ \leq 2\theta \leq 50^\circ$, velocidade de varredura de 2° min^{-1} , voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA.

Espectroscopia de absorção molecular na região do infravermelho – FTIR

A FTIR permite determinar a composição das amostras com base nas frequências vibracionais apresentadas por ligações químicas das substâncias. Apesar de fornecer grande detalhamento estrutural, em geral, a técnica é mais comumente utilizada para determinar a presença de grupos funcionais específicos nas amostras. Os espectros de FTIR das amostras foram obtidos usando um espectrômetro *Spect400 FT-IR/FT-NIR – Perkin Elmer*, entre 4000 e 650 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 20 varreduras.

Microscopia óptica – MO

A microscopia óptica permite visualizar a amostra com ampliações elevadas e avaliar detalhes, como a rugosidade da superfície da fibra. As amostras foram ensaiadas em um microscópio óptico da marca Hirox.

Microscopia eletrônica de varredura – MEV

O ensaio de MEV foi realizado com objetivo de avaliar mais detalhadamente as fibras de caroá e coco. Para o ensaio, as amostras foram revestidas por filme condutor de ouro e ensaiadas no microscópio da marca *Shimadzu*, modelo SSX-550, com voltagem de aceleração do feixe de elétron de 15 kV.

5.2.3 Ensaios físicos e mecânicos

Foram confeccionadas placas com nove composições diferentes, a saber: resina pura (0% de fibra) e com 13, 23, 30 e 40 % m/m de fibras de caroá ou coco. Esses teores de fibras equivalem ao uso de 3, 5, 7 e 9 mantas de caroá ou coco, cada manta pesando cinco gramas. Corpos de prova foram usinados a partir dessas placas e, para cada teste mecânico, foram ensaiados cinco corpos de prova.

Através de ensaios de densidade, resistência à tração e flexão em três pontos e impacto foi estudado o desempenho físico e mecânico dos compósitos (APÊNDICE A). Foi realizada a análise da variância (ANOVA) dos resultados das propriedades mecânicas de cada composição confiança de 95% (APÊNDICE B).

Densidade

Determinou-se a densidade dos compósitos através da espessura média das amostras - medidas com um paquímetro digital - e a massa - determinada em uma balança digital com precisão de $\pm 0,0001\text{g}$, através da equação 3:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

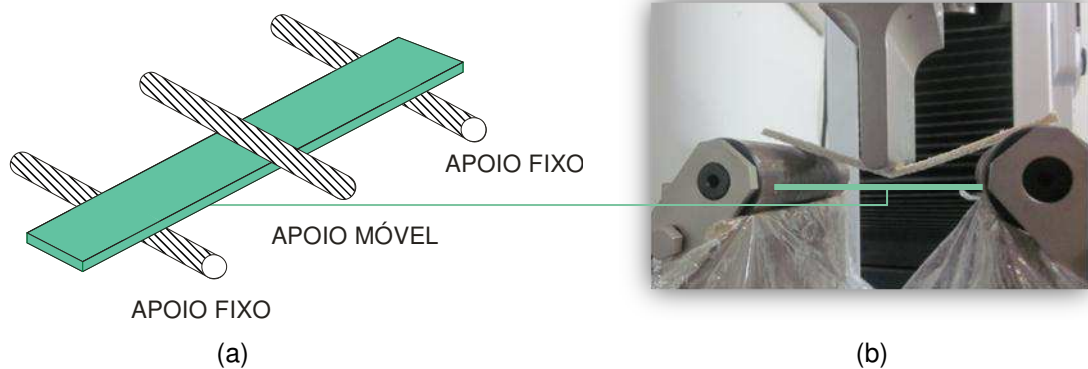
onde: ρ = densidade (g/cm^3); m = massa (g) e v = volume (cm^3).

Resistência à flexão em três pontos

Seguindo a norma ASTM D 790 para ensaio de flexão, os corpos de prova foram cortados em forma de barras retangulares, com dimensões de 12,7 x 1,27 x 0,03 cm³.

Para o ensaio de flexão em três pontos, as extremidades dos corpos de prova foram apoiadas nos suportes fixos da máquina de ensaios estática da marca *Shimadzu*, modelo *AutographAG – X 50 KN* (Figura 20). No seu centro, através do suporte móvel, uma força foi aplicada até a ruptura do corpo de prova, com taxa de deslocamento de travessa 1,2 mm/min.

Figura 20. a) Esquema do ensaio de flexão em três pontos b) Ensaio de flexão em três pontos



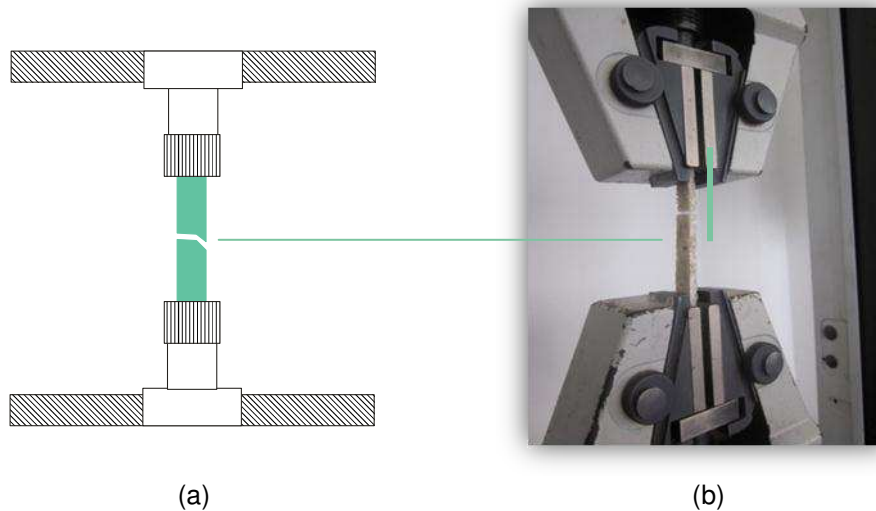
Fonte: Própria

Ensaio em Tração

Habitualmente, o desempenho mecânico de um material é determinado pela quantidade de deformação ou distorção que pode ser permitida. Seguindo a norma ASTM D 3039 para ensaio de tração, os corpos de prova foram cortados em forma de barras retangulares, com dimensões de 1,27 x 1,27x 0,03 cm³.

Na máquina *LloydInstruments LR 10K*, os corpos de prova foram tracionados até seu rompimento, com uma taxa de deslocamento da travessa de 1mm/min. A tensão é medida enquanto a amostra está sendo deformada a uma taxa constante (Figura 21).

Figura 21. a) Esquema do ensaio de tração b) Ensaio de tração



Fonte: Própria

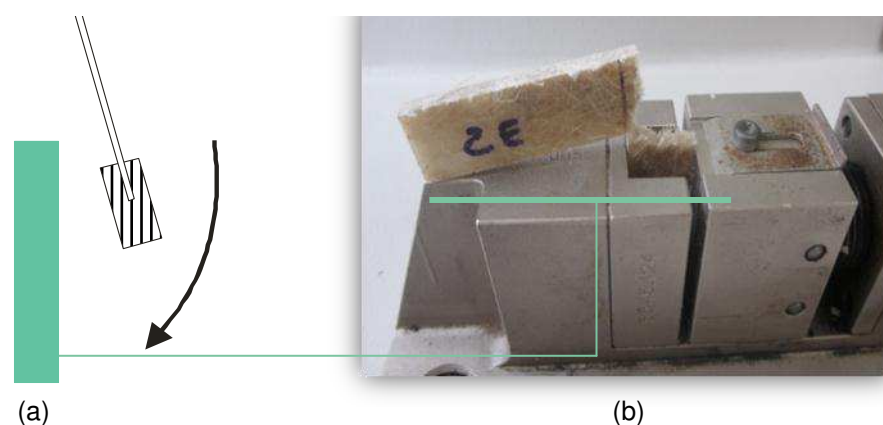
Resistência ao impacto izod

O ensaio de impacto (ASTM D 256), esquematizado na Figura 22, foi realizado à temperatura ambiente em equipamento CEAST Resil 5,5 J, operando com um pêndulo de 2,75 J, em corpos de prova com dimensões de 1,27 x 6 x 0,03 cm³. A energia absorvida por um pêndulo que impacta o corpo de prova não entalhado de forma repentina e brusca foi registrada e calculada através da equação 4:

$$RI = \frac{E - E1}{e} \quad (4)$$

onde: RI = Resistência ao impacto (J); E = Energia do corpo de prova (J); E1= Energia do ar (J); e = espessura do corpo de prova (m).

Figura 22. a) Esquema do ensaio de impacto izod b) Ensaio de impacto izod



Fonte: Própria

Microscopia óptica – MO

A distribuição das fibras na matriz foi avaliada por microscopia óptica, através de imagens de baixo aumento. As imagens foram digitalizadas com um microscópio óptico Hirox.

Segundo Marinucci (2011), as imagens de MO permitem visualizar com facilidade a presença de vazios que podem gerar falhas no compósito. As imagens também podem identificar regiões ricas em fibras ou matriz (bolsões de fibras ou bolsões de matriz) que podem comprometer o desempenho de uma estrutura, e sua identificação são, em muitos casos, necessárias.

Microscopia eletrônica de varredura – MEV

O ensaio de MEV foi realizado com objetivo de avaliar a interface da superfície de fratura (fibra/matriz) dos compósitos após ensaios de tração ou de impacto. A interface desempenha importante papel nas propriedades mecânicas e físicas dos compósitos, pois é através da interface que ocorre a transferência de tensões.

As amostras foram revestidas por filme condutor de ouro e ensaiadas no microscópio da marca *Shimadzu*, modelo SSX-550, com voltagem de aceleração do feixe de elétron de 15 kV.

A partir dos resultados dos ensaios mecânicos e microscópicos, foram selecionados compósitos de caroá e de coco que apresentaram melhores desempenhos físicos e mecânicos para serem sujeitos a: ensaios de envelhecimento térmico, envelhecimento acelerado por ciclos de UV/umidade/ temperatura e a ensaios de sorção de água.

Envelhecimento acelerado

Os ensaios de envelhecimento acelerado foram conduzidos para verificar como as propriedades mecânicas de sistemas selecionados variam em função das condições de exposição. Foram realizados ensaios de envelhecimento térmico e envelhecimento por exposição a ciclos de UV/temperatura/umidade.

a) Térmico

O ensaio de envelhecimento térmico foi baseado na norma ASTM D3045-74. Corpos de prova foram expostos a uma temperatura de 110 ± 5 °C, em estufa de circulação forçada de ar por até 40 dias. As amostras foram removidas em tempos pré-estabelecidos (5, 10, 20 e 40 dias) e, após resfriamento até a temperatura ambiente, suas propriedades mecânicas em tração, flexão e impacto foram determinadas.

b) UV/temperatura/umidade

Tratamentos superficiais podem alterar significativamente o envelhecimento UV/temperatura/umidade das amostras. Sendo assim, decidiu-se estudar e comparar o comportamento dos compósitos que apresentaram melhores propriedades físicas e mecânicas (23 % m/m de fibra de caroá e 23 % m/m de fibra de coco) com e sem revestimento de esmalte sintético. Foram aplicadas duas camadas do esmalte sintético *spray* (marca Iquine Dialine) para uso em madeira e metais com secagem rápida (Quadro 3).

Quadro 3. Material, quantidade e tipo de fibra e revestimento

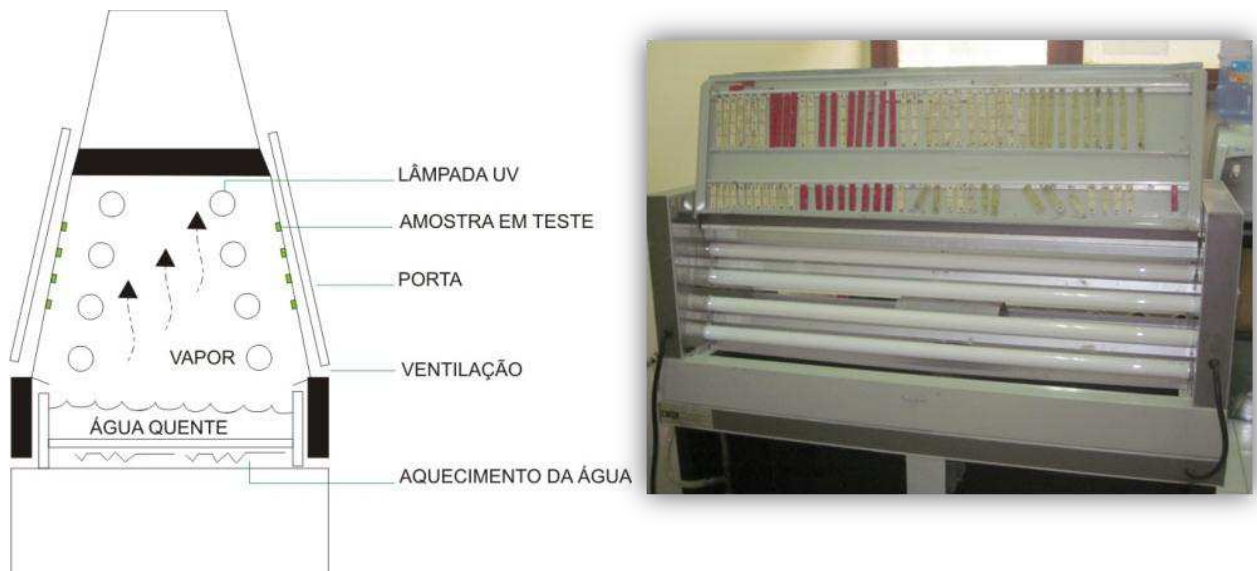
| MATRIZ | MATERIAL, QUANTIDADE E TIPO DE FIBRA E REVESTIMENTO |
|--------|--|
| R | Resina |
| RP | Resina revestida com esmalte sintético |
| A | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá |
| D | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá revestido com esmalte sintético |
| E | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco |
| H | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco revestido com esmalte sintético |

O ensaio de envelhecimento acelerado UV foi conduzido segundo a norma ASTM G53, em equipamento de envelhecimento por ciclos de UV/temperatura/umidade, apropriado para materiais não metálicos de marca Comexim (tipo C-UV), operando com lâmpadas fluorescentes radiação UV-B Philips F-40T 12/ BL (Figura 23).

As amostras foram fixadas em suporte de aço inox localizado no interior do equipamento e envelhecidas sob a aplicação de ciclos de luz UV-B, calor e umidade

durante 4 horas de radiação UV a 60 °C e quatro horas sob condensação de umidade a 50 °C.

Figura 23. a) Esquema do ensaio UV b) Envelhecimento UV



Fonte: Própria

Somente uma das superfícies das amostras foi exposta à radiação, pois a face oposta foi utilizada na fixação das amostras ao suporte. O envelhecimento das amostras foi acompanhado por observação visual e, após 1, 2, 4, 6, 9 e 12 semanas, suas propriedades mecânicas em tração, flexão e impacto foram determinadas.

Sorção de água higrotérmico

O procedimento do ensaio higrotérmico (ASTM D 5229-01) envolve imergir amostras dos compósitos em água destilada fervente em um equipamento conhecido como banho-maria com circulação de água, marca Solab. Antes de serem imersas no banho, as amostras foram dispostas em estufa a 100 °C, até obter massa constante, logo foram retiradas da água em intervalos pré-determinados em até 40 hrs, secas com papel absorvente, pesadas em balança analítica e, em seguida, novamente imersas na água para serem pesadas em diferentes tempos. A absorção de água em porcentagem M (%) foi determinada de acordo com a equação 5:

$$M(\%) = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (5)$$

onde M = percentual de massa absorvido; M_i = pesos iniciais das amostras e M_f = pesos finais das amostras, antes e após determinado tempo de envelhecimento em água.

Como as amostras foram usinadas manualmente a partir das placas moldadas por compressão, corpos de prova possuíram dimensões variadas, aproximadamente 20,0 x 20,0 mm e com 3,00 mm de espessura. Os corpos de prova, além de revestidos e não revestidos com esmalte sintético, tiveram suas bordas seladas com resina para evitar o contato direto da água com as fibras, evitando, assim, o fenômeno de sorção por capilaridade. Percebe-se que a camada de tinta ressalta os defeitos presentes na superfície dos compósitos (Figura 24).

Figura 24. Compósito revestido com esmalte sintético



Fonte: Própria

Logo, variações de amostras confeccionadas com resina, 23% m/m fibra de caroá, 23% m/m fibra de coco, seladas nas bordas e com e sem revestimento de esmalte sintético, foram ensaiadas (Quadro 4).

Quadro 4. Matriz x Tipo de fibra e revestimento

| MATRIZ | MATERIAL, QUANTIDADE E TIPO DE FIBRA E REVESTIMENTO |
|--------|--|
| R | Resina |
| RP | Resina revestida com esmalte sintético |
| A | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá |
| B | Caroá com 23 % m/m com bordas revestidas com resina |
| C | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá com bordas e faces seladas com resina |
| D | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá revestido com esmalte sintético |
| E | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá, com bordas seladas com resina e revestidas com esmalte sintético |
| F | Compósito com 23 % m/m de fibra de caroá, com bordas e faces seladas com resina e revestidas com esmalte sintético |
| G | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco |
| H | Coco com 23 % m/m com bordas revestidas com resina |
| I | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco com bordas e faces seladas com resina |
| J | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco revestida com esmalte sintético |
| K | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco, com bordas seladas com resina e revestidas com esmalte sintético |
| L | Compósito com 23 % m/m de fibra de coco, com bordas e faces seladas com resina e revestidas com esmalte sintético |

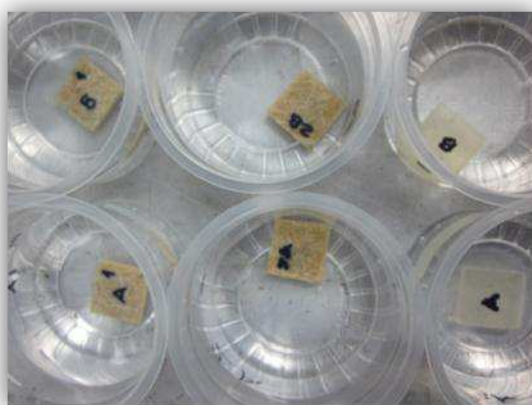
Sorção de água temperatura ambiente

Sorção de água é o efeito que engloba os fenômenos de adsorção e absorção. Adsorção é um fenômeno de um fluido (adsorvido) a uma superfície sólida (adsorvente), enquanto absorção trata-se de uma substância que permeia o volume da outra, por exemplo, líquido permeando uma esponja. Considerou-se o termo sorção para determinar a quantidade de água retida pela amostra, independente do mecanismo ser de ad ou absorção.

A sorção de água nos compósitos confeccionados com fibras naturais ocorre devido à natureza higroscópica da fase dispersa, bem como através da difusão por espaços vazios ou defeitos presentes na fibra (WANG et al., 2006). A sorção de água em compósitos contendo fibras naturais origina em diversos efeitos adversos que podem resultar em propriedades mecânicas insatisfatórias que comprometem o desempenho do material em longo prazo como favorecimento da biodegradabilidade e mudanças nas dimensões dos compósitos (WANG et al., 2005 e SHARMA et al., 2006). A alta resistência à umidade e boa propriedade ao envelhecimento são melhorias fundamentais para estes materiais no intuito de ampliar mais a faixa de aplicações e competir mais eficazmente contra compósitos com fibras sintéticas (ROUISSON et al., 2005).

Antes do ensaio de sorção, os corpos de prova, medindo aproximadamente 20,0 x 20,0 mm² e com 3,00 mm de espessura, foram secos em estufa a 100 °C, durante 24 horas. Depois de secas, as amostras foram pesadas e, em seguida, imersas em água destilada à temperatura ambiente (Figura 25). Assim como para o ensaio de sorção de água higrotérmico, para o ensaio de sorção a temperatura ambiente variações de amostras confeccionadas com resina 23 % m/m fibra de caroá, 23 % m/m fibra de coco seladas nas bordas e com e sem revestimento de esmalte sintético foram ensaiadas (Quadro 4).

Figura 25. Ensaio de sorção



Fonte: Própria

Em até 12 semanas, período pré-determinado, as amostras foram retiradas da água, secas com papel de baixa absorção e pesadas em balança analítica, com precisão

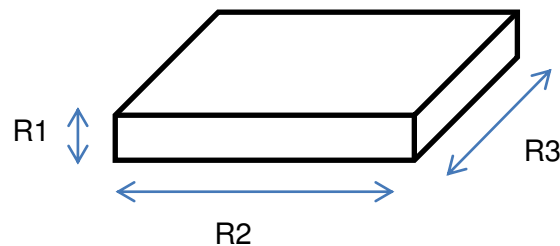
de $\pm 0,0001$ g. O teor de água sorvido foi calculado comparando-se o peso inicial com o peso final, após a exposição, de acordo com a equação 6:

$$Abs(\%) = \left(\frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \times 100 \quad (6)$$

onde: P_u = peso úmido e P_s = peso seco.

Assim como em Cavalcanti (2006), para calcular a sorção de água em função da área/volume de cada corpo de prova, foi necessário dimensionar a espessura, a largura e a profundidade das amostras (Figura 26) e aplicar essas dimensões à equação 6:

Figura 26. Dimensionamento das amostras



$$\frac{S}{V} = \frac{2(R2 * R1) + 2(R3 + R1) + 2(R2 + R3)}{R1 * R2 * R3} \quad (6)$$

onde: S = área; V = volume e $R1$ = espessura, $R2$ = largura e $R3$ = profundidade da amostra

Emissão acústica

Testes preliminares de emissão acústica foram conduzidos em compósitos de resina de poliéster/fibra de caroá contendo 13 e 40 % de fibras e em corpos de prova de compósitos poliéster/fibra de coco com 40 % de fibras. Quando um material é sujeito a forças térmicas ou mecânicas, ele responde gerando ondas sonoras emitidas por descontinuidades em seu interior, em resposta à atuação dessas forças, ou seja, gera uma emissão acústica. Uma área do material que contenha defeitos é uma área de concentração de tensões que, uma vez estimulada por um esforço externo, origina uma redistribuição dessas tensões gerando, na amostra testada,

perturbações através da liberação de ondas mecânicas transientes, que são detectadas por transdutores piezelétricos distribuídos de forma estacionária sobre a estrutura (SOUZA, 2012).

Tal como reportado em Teófilo (2003), nesse estudo, a monitoração por emissão acústica foi realizada durante os ensaios de tração através de um sistema PCI-2 de dois canais conectados a dois transdutores piezoelétricos R75, com distancia entre os conectores de 70 mm e velocidade de ensaio de 5 mm/mim. Através de pré-amplificadores Mistras modelo 2/4/6 foi dada uma pré-amplificação de 40dB (Figura 27).

Figura 27. Emissão acústica



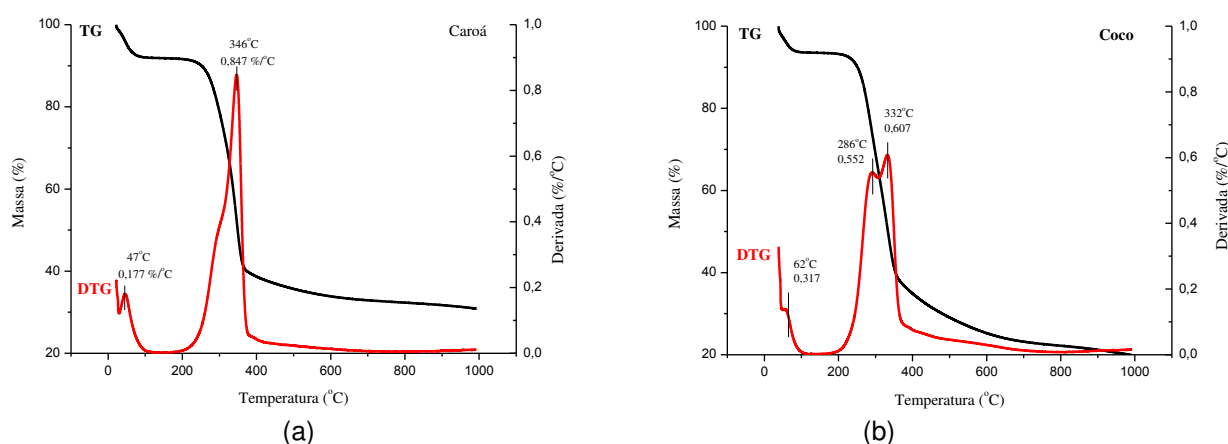
Fonte: TEÓFILO (2003)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterizações das fibras

Na Figura 28 (a) e (b), encontram-se os resultados de TG e DTG das fibras de caroá e COCO.

Figura 28. a) TG e DTG da fibra de caroá b) TG e DTG da fibra de coco



As fibras apresentam uma perda de massa, em temperaturas relativamente baixas, atribuída à perda de umidade. Para a fibra de caroá, essa primeira etapa de decomposição térmica ocorre na faixa de temperatura entre 24 e 100 °C, com perda de massa da ordem de 8 %, enquanto a fibra de coco ocorre entre 39 e 110 °C, com 6% de perda. Esses valores são similares aos encontrados para outros materiais lignocelulósicos, como reportado em Oliveira (2007), Silva et al. (2009) e Ogah (2014).

A perda de massa entre 220 e 365 °C (fibra de caroá) é atribuída à decomposição das hemiceluloses e da celulose da fibra, o que está de acordo com os resultados encontrados em outros materiais lignocelulósicos, como para as fibras de sisal (MEGIATTO JUNIOR, 2006) e para a folha da palmeira (MONTEIRO et al., 2014). Segundo Corradini et al. (2009), às vezes, é difícil separar claramente cada evento térmico devido à complexidade das reações que acontecem durante o processo de degradação das fibras vegetais. Segundo Ishak (2012) e Beltromi (2014), por último ocorre à decomposição da lignina (a partir de 365 °C).

Para fibra de coco, entre 208 e 308 °C, ocorre a decomposição das hemiceluloses e, entre 314 e 354 °C, ocorre a decomposição da celulose; tais perdas também foram vistas na análise térmica da fibra de ubuçu (OLIVEIRA, 2007), tururi (OLIVEIRA e D'ALMEIDA, 2007), bagaço de cana (PAULA, 2011) e CURAUÁ (Silva, 2010b), A curva DTG exibe mais claramente esses eventos com pico em torno de 47 °C (fibra de caroá) e 64 °C (fibra de coco), referentes à perda de água. Para a fibra de caroá, a decomposição das hemiceluloses e celulose das fibras são representadas por uma banda alargada. Similar ao que foi observado por Bedin (2014), a curva DTG da fibra de coco apresenta picos a 286 e 332 °C, que são atribuídos à decomposição das hemiceluloses e da celulose da fibra, respectivamente. Segundo Alvarez e Vázquez, 2004 e Yao et al. (2008), os componentes da fibra de coco se decompõe a certas faixas de temperatura, por exemplo: as hemiceluloses, devido a sua natureza amorfa, se decompõem por volta de 200 e 260 °C, enquanto a celulose se decompõe entre 240 e 360 °C. A Tabela 7 apresenta um resumo das faixas de perda de massa das fibras de caroá e coco.

Tabela 7. Dados da decomposição térmica das fibras de caroá e coco

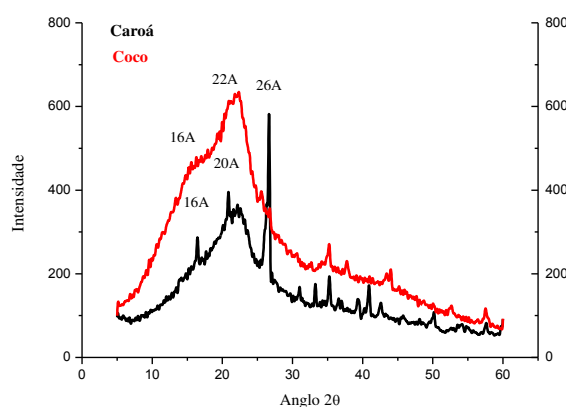
| Fibra | Etapa de decomposição | Faixa de temperatura (°C) | Pico (°C) | Varição de massa (%) | Atribuição |
|--------------|------------------------------|----------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Caroá | 1 | 24-100 | 47 | 8 | Água, Hemiceluloses e |
| | 2 | 220-365 | 346 | 60 | celulose |
| Coco | 1 | 39-110 | 67 | 6 | Água |
| | 2 | 208-308 | 286 | 42 | Hemiceluloses |
| | 3 | 314-354 | 332 | 26 | Celulose |

Na Figura 29, são apresentados os difratogramas das fibras de caroá e coco. Tal como reportado por Carvalho et al. (2010) e Barbosa (2011), os picos principais, característicos de fibras lignocelulósicas, são aqueles que ocorrem em torno de 16° e de 20° (fibra de caroá), e 16° e de 22° (fibra de coco), além de um pico de menor intensidade em torno de 35°. Acredita-se que o pico a 26° (fibra de caroá) seja devido à presença de contaminação.

Segundo Spinacéa et al. (2009) e Guimarães et al. (2010), pico $2\theta = 16^\circ$ corresponde ao plano cristalográfico (101), já os picos a 20 e 22° correspondem aos planos (002) e (023) ou (004), respectivamente. Picos agudos são atribuídos ao

espalhamento das regiões cristalinas (altamente ordenadas) e o espalhamento mais difuso às regiões amorfas (desordenadas) (FENGEL, 1983). Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Teodoro et al. (2011), Oudiani et al. (2011) e Cardoso et al. (2013), que analisaram as fibras lignocelulósicas de curauá, sisal e agave, respectivamente.

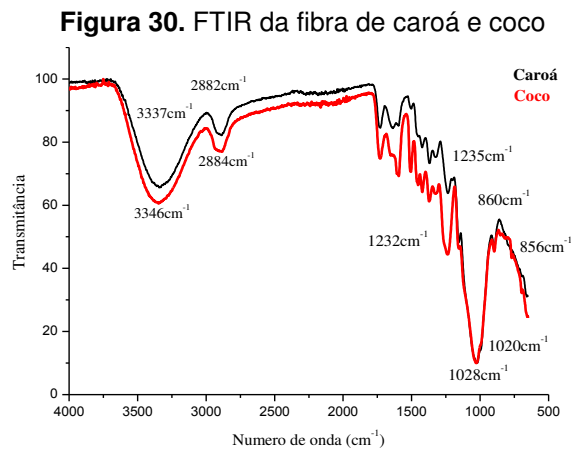
Figura 29. DRX da fibra de caroá e coco



O DRX pode ser utilizado como técnica convencional de mensuração do índice de cristalinidade. Segundo Sao et al. (1994), as propriedades mecânicas dos materiais lignocelulósicos dependem do teor de celulose que, por sua vez, depende de seu índice de cristalinidade. Quanto maior o índice de cristalinidade da fibra, maior o teor de celulose e maior a resistência mecânica da fibra; os índices de cristalinidade das fibras de caroá e coco são de 23,79 e 11,48 %, respectivamente, ou seja, a fibra de caroá possui maior teor de celulose e maior resistência mecânica em relação à fibra de coco, fato também observado na Tabela 1, que apresentou a composição das principais fibras vegetais.

Os espectros de FTIR das fibras (Figura 30) apresentam bandas de absorção típicas de materiais lignocelulósicos. A caracterização das fibras de caroá e de coco, por FTIR, apresenta uma banda larga na região de 3337 e 3346 cm^{-1} (caroá e coco) relativa à deformação axial do grupo OH. Esta banda tem este formato largo devido às ligações de hidrogênio. Bandas a 2882 e 2884 cm^{-1} correspondem à deformação axial da ligação C-H. Bandas menos intensas entre 1737 e 1374 cm^{-1} (caroá) e 1728 e 1365 cm^{-1} (coco) estão relacionadas com a deformação axial do grupo C=O; ligação C=O do aldeído conjugada com a ligação C=C; deformação axial da ligação

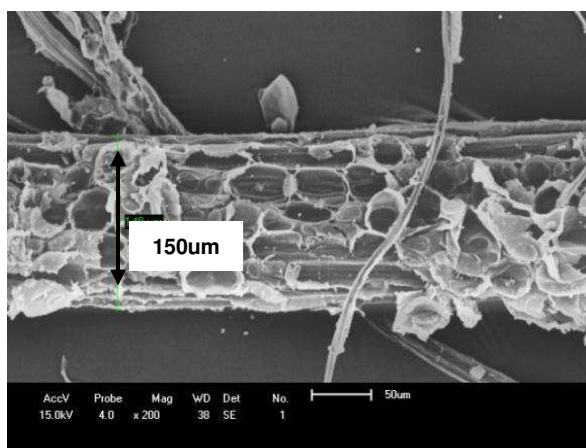
C-C do anel aromático (vibração do esqueleto do anel) e com a deformação axial da ligação C=O aromática. Tais resultados estão de acordo com estudos feitos por Paiva (2010), Rocha (2010) e Alves (2011).



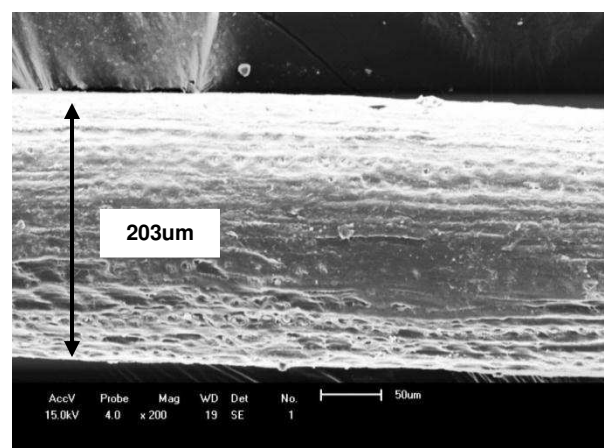
A banda característica em 1235 e 1232 cm^{-1} (caroá e coco) corresponde à deformação axial assimétrica C-O-C, enquanto a deformação axial simétrica aparece em 1020 cm^{-1} e 1028 cm^{-1} . Bandas características próximas de 860 e 856 cm^{-1} correspondem à deformação angular dos hidrogênios do anel aromático Alves (2011).

As imagens de microscopia eletrônica da varredura, apresentadas na Figura 31, são micrografias dos cortes longitudinais da superfície da fibra de caroá (a) e coco (b) *in natura* ampliada 200 vezes. Correia (2011) afirma que a superfície da fibra apresenta-se recoberta pelas células de parênquima, bem como por impurezas e resíduos provenientes do processo de desfibramento.

Figura 31. a) Micrografia da fibra de caroá ampliada 200 vezes b) Micrografia da fibra de coco ampliada 200 vezes



(a)



(b)

Tal como observado por Cahan (1993), Monteiro et al. (2006) e Gonçalves (2010), a topografia da fibra apresenta-se rugosa e porosa, com formação de tiloses, permitindo a melhor interpenetração da resina de poliéster no reforço e oferecendo melhor resistência interfacial, além de demonstrar a complexidade das fibras lignocelulósicas.

Comparando a fibra de caroá da Figura 31 (a) com a de coco Figura 31 (b), nota-se o maior diâmetro da fibra de coco; e a maior rugosidade da fibra de caroá, o que, a princípio, promove melhor impregnação da matriz, maior área de contato fibra/matriz e, conseqüentemente, melhores propriedades mecânicas para o sistema reforçado por fibras de caroá (Tabela 8).

Tabela 8. Tensão máxima na tração σ (MPa), módulo de elasticidade E (GPa) e alongamento na ruptura ϵ (%) para as fibras de caroá e coco

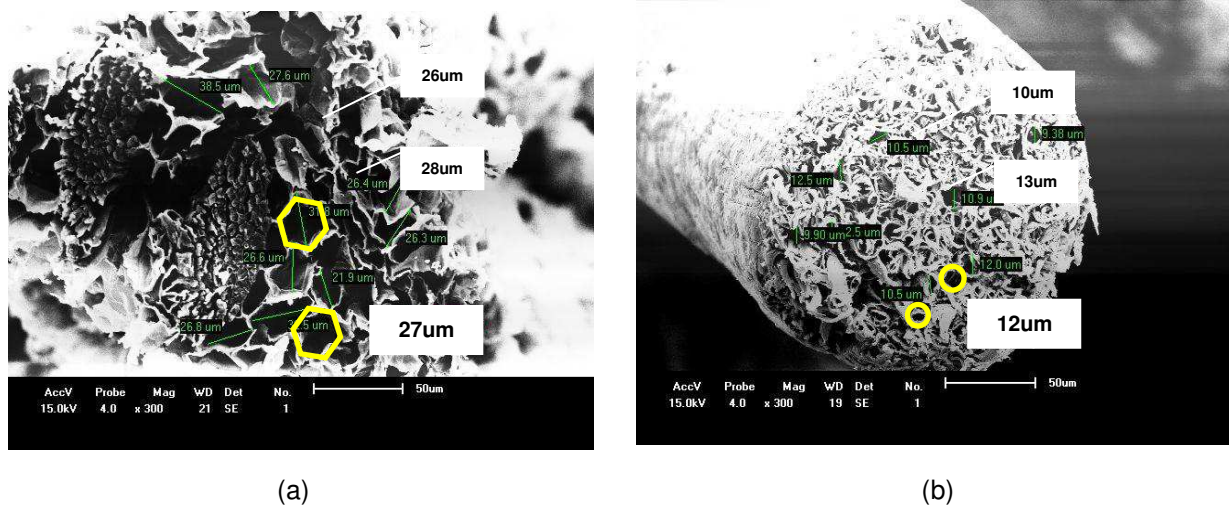
| Fibra | σ (MPa) | E (GPa) | ϵ (%) |
|--------------|----------------|---------|----------------|
| Caroá | 300 | 20-70 | 0,8-1,3 |
| Coco | 175 - 220 | 4 - 6 | 15 - 30 |

Fonte: NÓBREGA (2007) e LOPES (2009)

Através dos dados apresentados na Tabela 8, observa-se que o valor de tensão máxima da fibra de caroá é superior à da fibra de coco. O módulo de elasticidade da fibra de caroá é maior e o alongamento na ruptura é menor do que a da fibra de coco, indicando que a fibra de caroá é mais resistente. Essa diferença de comportamento é atribuída ao maior teor de celulose e menor teor de lignina apresentado pela fibra de caroá em relação à fibra de coco, bem como ao seu menor diâmetro e maior rugosidade.

As Figuras 32 (a) e 32 (b) apresentam as extremidades das fibras de caroá e coco, respectivamente, ampliadas 300 vezes. Através destas imagens, é possível observar que as fibras são compostas de diferentes tipos de cavidades, microfibrilas, regularmente arrançadas com uma lacuna no centro. As microfibrilas apresentam formas hexagonais e circulares. Essas observações são similares às reportadas por Tomczak (2010) e Barbosa (2011) para outras fibras lignocelulósicas,

Figura 32. a) Extremidade da fibra de caroá ampliada 300 vezes
b) Extremidade da fibra de coco ampliada 300 vezes



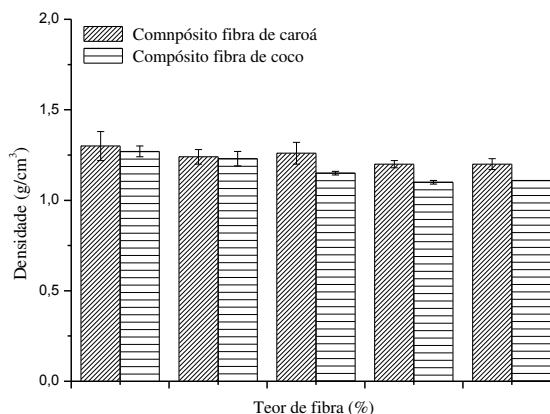
As microfibrilas são tubos responsáveis pelo transporte de água e nutrientes da planta (GASSAN e BLEDZIKI, 1999). Assim como em Barbosa (2011), que analisou fibras de buriti, as microfibrilas da fibra de caroá são hexagonais. Observa-se que as microfibrilas da fibra de caroá são maiores do que as da fibra de coco: cada microfibrila da fibra de caroá ocupa cerca de 18 % da superfície da fibra, já a microfibrila da fibra de coco ocupa cerca de 6 % da superfície da fibra. O maior percentual da fibra de caroá implica em um maior teor de sorção por parte desta fibra.

6.2 Ensaios físicos e mecânicos

Densidade

As médias de densidade da matriz e dos compósitos confeccionados com fibras de caroá e coco em função do teor de fibras estão ilustradas na Figura 33. Os valores obtidos, em torno de $1,2 \text{ g/cm}^3$ são similares ao encontrado por van Dan et al., (2004b), que analisaram compósito confeccionado com fibra de coco e matriz sintética ($1,3 \text{ g/cm}^3$); por Sabarim (2006), que estudou o compósito resina epóxi e agave americano (1 g/cm^3); e por Nicolai (2007), que estudou as densidades dos compósitos confeccionados com matriz estervinílica e fibra de sisal ($1,29 \text{ g/cm}^3$) e de coco ($1,23 \text{ g/cm}^3$).

Figura 33. Densidade em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e de coco/resina de poliéster



Verifica-se que, apesar das densidades da matriz e dos compósitos confeccionados com fibras de caroá e coco serem semelhantes, estas tendem a diminuir com o teor de fibras, reduz 3,3 % (caroá) e 15 % (coco) para até 40 % de fibra em ambos os casos.

Daltro (2011) afirma que materiais menos densos levam a uma característica importante para sua aplicação em estruturas leves, por exemplo, onde a economia em termos de desempenho final do produto é um fator determinante na concepção de novo material. Segundo Manzini e Vezzoli (2005), materiais menos densos, como compósitos reforçados com fibras naturais, são preferidos em aplicação de *design* de interiores, como painéis, cabines e mobiliários, bem como em embarcações náuticas e automobilísticas.

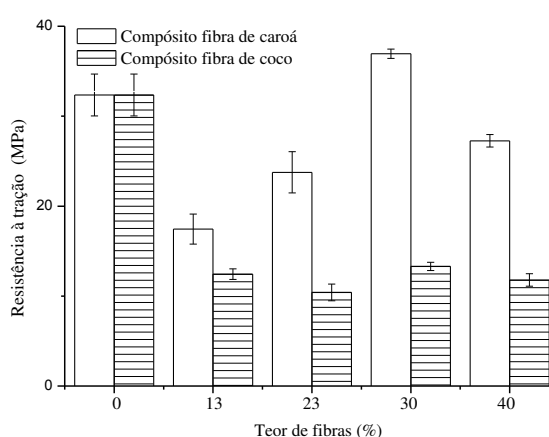
Resistência à tração

O comportamento da resistência à tração em função do teor de fibras dos compósitos é ilustrado na Figura 34, tendo o valor de resistência da resina estabelecido como referência para as análises. Em relação à matriz, verifica-se que a resistência à tração dos compósitos é significativamente menor, exceto para a amostra com 30 % m/m de fibra de caroá, que é consideravelmente maior. Este fato pode ser atribuído à orientação aleatória das fibras e ao fato de volume crítico de

fibras não ter sido atingido para que as fibras atuassem como reforço e sim como defeito (ou impureza) no compósito (NÓBREGA, 2007).

Segundo Cordeiro (2014), o volume crítico de fibras V_f (crit) é o volume de fibras que, após a fissuração da matriz, suportará o carregamento que o compósito suportava antes da fissuração. Ou seja, para que haja uma majoração na resistência do compósito, devido à incorporação das fibras, é necessário que o teor de fibras empregado resulte em um volume de fibras superior ao crítico.

Figura 34. Resistência à tração em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster



Pode-se observar valores de resistência à tração mais elevadas nos compósitos confeccionados com fibras de caroá em relação aos confeccionados com fibras de coco, o que é atribuído a maior resistência à tração apresentada por essa fibra (Tabela 3) o que, por sua vez, está associado ao seu maior teor de celulose, maior área de contato e maior rugosidade, favorecendo sua adesão mecânica e impregnação pela matriz. Os resultados foram próximos aos apresentados por Joseph et al. (1999) em compósitos poliéster/fibra de sisal, por Santos (2006) para compósitos de polipropileno/fibra de coco e por Silva, H.S. (2010) para compósitos curauá/fibra de vidro.

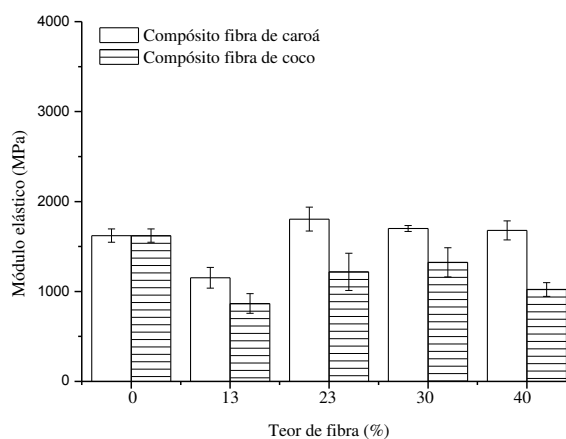
Para o compósito confeccionado com fibra de caroá, observa-se que aumentos subsequentes no teor de fibras (23 até 30% m/m) elevam expressivamente a resistência à tração destes compósitos. Segundo Joseph et al. (1999), à medida que o teor de fibras aumenta, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas e a resistência à tração do compósito aumenta. O mesmo comportamento foi

observado por Soares (2012), em compósito confeccionado com fibra de rami e matriz epóxi.

A máxima resistência à tração foi obtida para os compósitos com 30% m/m de fibra (36,94±0,52 e 13,3±0,45 MPa para os compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco, respectivamente), havendo redução de 26,20 % (caroá) e 11,35 % (coco) destes valores para os compósitos com 40 % m/m de fibra. Sabariz (2006) afirma que quando a molhabilidade das fibras pela resina aumenta, há uma maior transmissão de esforço para as fibras, melhorando, assim, o desempenho mecânico do compósito. O decréscimo da resistência à tração dos compósitos com 40 % m/m de fibra foi atribuído à dificuldade de impregnação das fibras pela matriz. Esse mesmo comportamento foi observado por (NÓBREGA, 2007), em compósitos confeccionados com matriz de poliéster e fibras de caroá.

A Figura 35 apresenta o módulo de *Young* (módulo de elasticidade na tração) da matriz e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco. Segundo Pothan et al. (1999), valores de módulo de tração são indicativos da rigidez do material.

Figura 35. Módulo de elasticidade em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster



Considerando o erro experimental, os módulos de elasticidade são expressivamente diferentes entre os compósitos com 13 e 40 % m/m de fibra (caroá/coco), com leve tendência ao aumento nesta propriedade com o acréscimo no teor de fibras. Esse mesmo comportamento também foi verificado em Soares (2012).

O aumento do módulo de elasticidade dos compósitos em relação à matriz deve-se ao efeito de reforço das fibras. Em outras palavras, um material de maior módulo, as

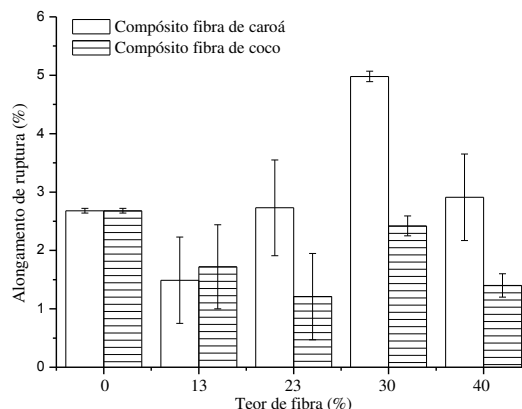
fibras, substitui o de menor módulo, a matriz (SABARIZ, 2006). Baseando-se nos dados de Joseph et al. (1999), o efeito do teor de fibras nos módulos dos compósitos seguiu a mesma tendência apresentada para a resistência, ou seja, aumento seguido de decréscimo a teores mais elevados. O máximo nesta propriedade foi obtido a um carregamento de 23 e 30 % m/m de fibras de caroá e coco, respectivamente.

Segundo d'Almeida (1987), as fibras diminuem o movimento livre das cadeias poliméricas, resultando em um aumento no módulo de elasticidade do compósito. Comportamento semelhante ao aumento do módulo de elasticidade com o teor de fibras foi apresentado por Cavalcanti (2000) em compósitos confeccionados com poliéster insaturado e fibra de juta e em Mothe e Araújo (2004), que estudaram o comportamento térmico e mecânico de compósitos de poliuretano/fibra de curauá.

Segundo Chand e Hashmi (1993) e Greenberg (1989), a variação da resistência à tração e módulo de elasticidade estão relacionados diretamente com a variação do índice de cristalinidade, ou seja, com a quantidade de celulose presente nas fibras, uma vez que a celulose é o único componente presente na fibra que se cristaliza (ROWELL et al., 1997). Neste sentido, os resultados superiores de resistência à tração dos compósitos confeccionados com fibras de caroá em relação aos confeccionados com fibra de coco são compatíveis com os índices de cristalinidades das fibras utilizadas: 23,79 % para a fibra de caroá e 11,4 % para a fibra de coco.

A Figura 36 ilustra o alongamento na ruptura dos compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco. Verifica-se que o alongamento na ruptura dos compósitos confeccionados com fibra de caroá é mais elevado do que os dos compósitos contendo fibra de coco, isto ocorre devido ao maior teor de celulose presente na fibra de caroá.

Figura 36. Alongamento de ruptura em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster


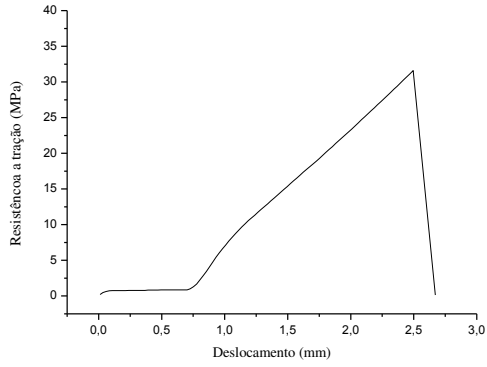

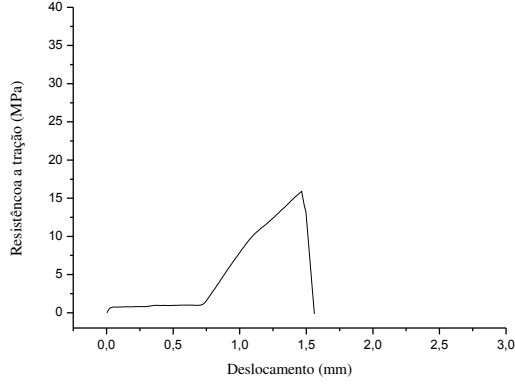

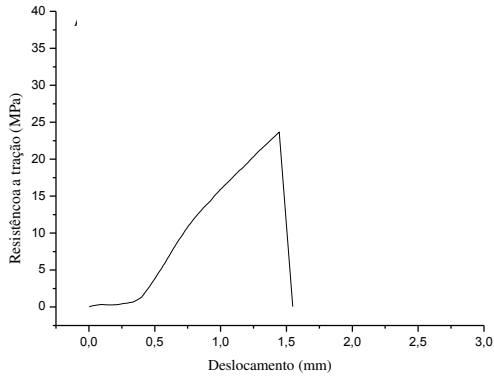


Assim como na resistência à tração, o alongamento na ruptura tende a elevar com o aumento no teor de fibra até certo limite: o limite crítico de fibra. Este fato é atribuído às propriedades individuais dos componentes do sistema e à capacidade de transferência de tensões da matriz para a fibra.


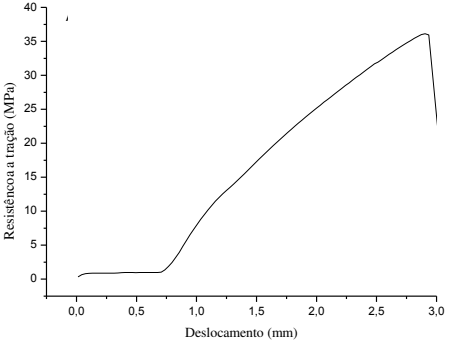

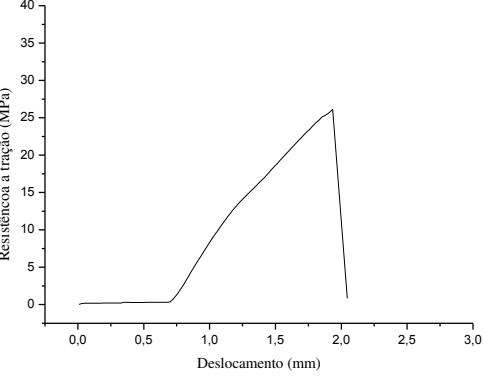

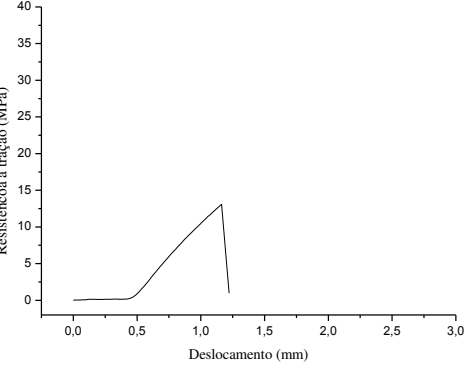
Em geral, a incorporação de fibras reduz o alongamento na ruptura em relação à matriz, principalmente se a fibra deformar menos que a matriz. Porém, em alguns casos, como nesta pesquisa e nos estudos realizados por Laranjeira (2004) e Nóbrega (2007) com compósitos confeccionados com poliéster/juta e poliéster/caroá, respectivamente, o aumento no alongamento na ruptura é atribuído a uma adesão fibra-matriz satisfatória, capaz de aumentar a tenacidade do sistema com o teor de fibra, que foi confirmado no teste de impacto.

O Quadro 5 apresenta uma visão macroscópica das amostras testadas após o ensaio de tração e a aparência da curva resistência à tração (MPa) em função do deslocamento (mm) das amostras testadas.



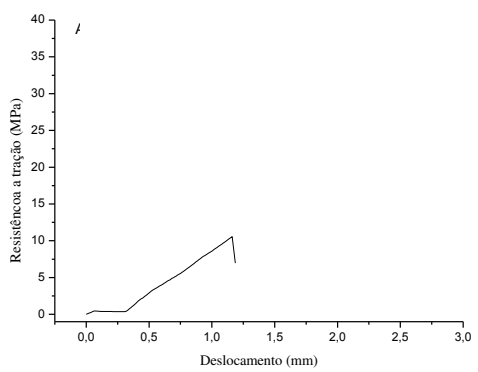


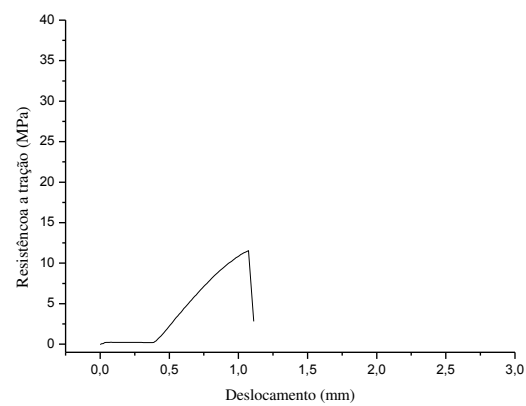


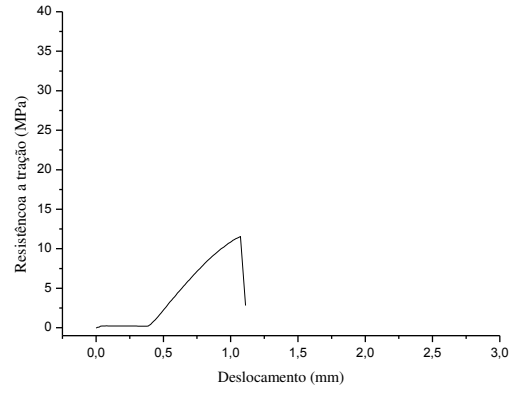
Quadro 5. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de tração e curva da resistência a tração (MPa) em função do deslocamento (mm) das amostras testadas

| AMOSTRA | CURVA FORÇA X DESLOCAMENTO |
|--|--|
| <p>Amostra A Resina</p>  <p>Média de resistência à tração: $32,36 \pm 2,33$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra B Compósito 13% m/m fibra caroá</p>  <p>Média de resistência à tração: $17,45 \pm 1,67$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra C Compósito 23% m/m fibra caroá</p>  <p>Média de resistência à tração: $23,76 \pm 2,29$ MPa</p> |  |

Continuação Quadro 5

| AMOSTRA | CURVA FORÇA X DESLOCAMENTO |
|---|--|
| <p>Amostra D Compósito 30% m/m fibra caroá</p>  <p>Média de resistência à tração: $36,94 \pm 0,52$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra E Compósito 40% m/m fibra caroá</p>  <p>Média de resistência à tração: $27,26 \pm 0,69$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra F Compósito 13% m/m fibra coco</p>  <p>Média de resistência à tração: $12,44 \pm 0,89$ MPa</p> |  |

Continuação Quadro 5

| | |
|--|--|
| <p>Amostra G Compósito 23% m/m fibra coco</p>   <p>Média de resistência à tração: $10,41 \pm 0,63$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra H Compósito 30% m/m fibra coco</p>   <p>Média de resistência à tração: $13,3 \pm 0,45$ MPa</p> |  |
| <p>Amostra I Compósito 40% m/m fibra coco</p>   <p>Média de resistência à tração: $11,79 \pm 0,69$ MPa</p> |  |

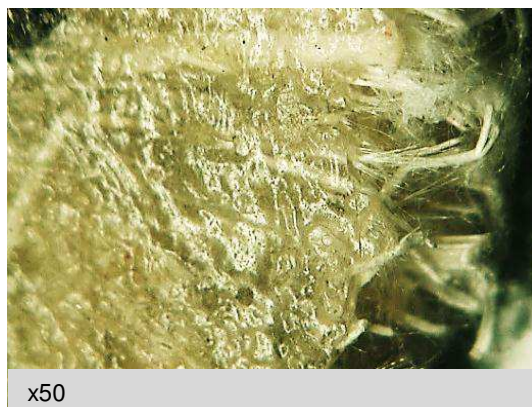
Comparando os gráficos da resistência à tração dos compósitos com o gráfico da matriz, é possível observar que a resistência da matriz é consideravelmente maior do que as resistências dos compósitos, exceto para o compósito confeccionado com 30 % de fibra de caroá. Assim como foi visto através dos gráficos da Figura 34, aumentos subsequentes podem ser observados com maiores teores de fibras, seguidos por decréscimos nos compósitos com 40 % m/m de fibras.

Nas imagens das amostras depois de tracionadas, observa-se que, durante a solicitação mecânica, algumas das fibras podem se romper enquanto outras permanecem intactas. Isto indica que uma única fibra caroá ou coco é capaz de absorver esforços da matriz e sustentar os esforços sofridos pelo composto, rompendo individualmente (MONTEIRO et al., 2006).

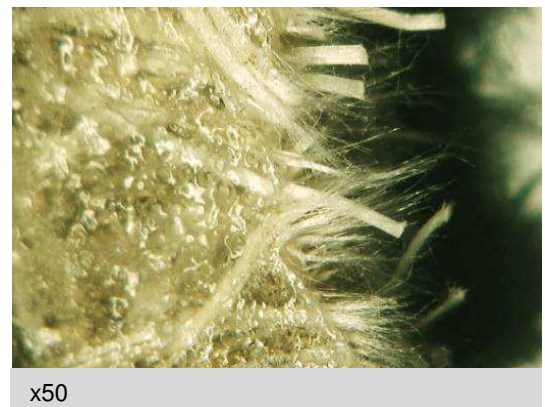
Após o ensaio de tração, foram observadas três tipos de falhas nas amostras, são elas: fratura na zona central e na extremidade da amostra - na garra na máquina (amostras A, B, C e F); fratura frágil no centro da amostra - seção plana e normal à direção da carga (D e E); e esgarçamento da amostra (G, H e I).

Para fins de melhor visualização do aspecto da ruptura nos corpos de prova após o ensaio de tração, foram realizadas microscopias ópticas e microscopias eletrônicas de varredura. As micrografias ópticas, ampliadas 50 vezes, da região de ruptura dos corpos de prova que possuem 13, 23, 30 e 40 % m/m de fibra de caroá após ensaio de tração, estão apresentadas na Figura 37.

Figura 37. a) MO do composto com 13% (m/m) de fibra de caroá b) MO do composto com 23% (m/m) de fibra de caroá c) MO do composto com 30% (m/m) de fibra de caroá d) MO do composto com 40% (m/m) de fibra de caroá



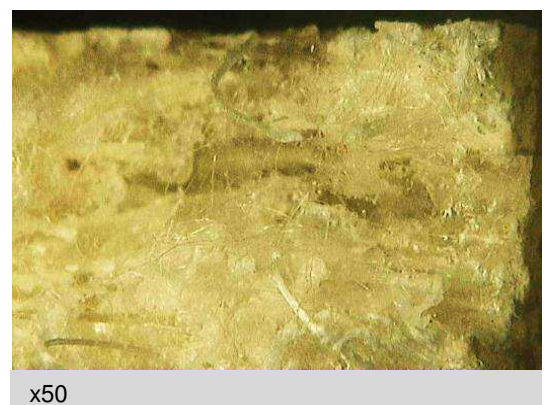
(a)



(b)



(c)

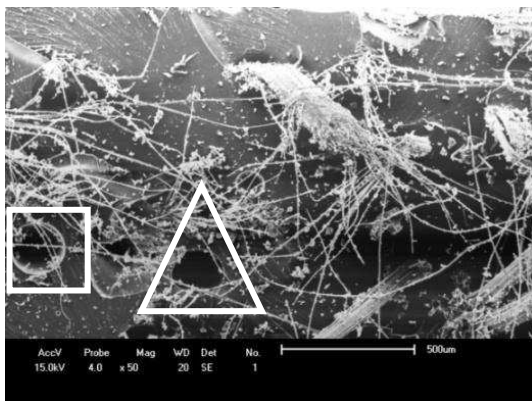


(d)

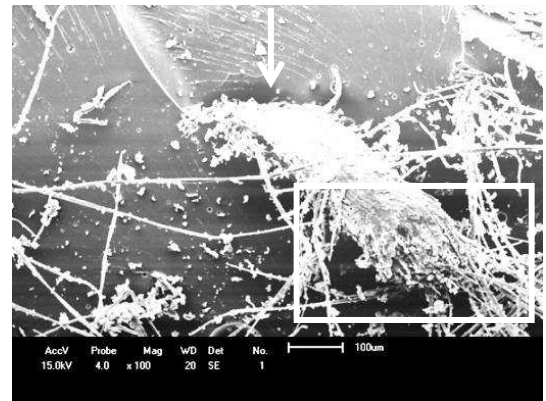
Como toda fibra natural, a fibra de caroá é composta por um feixe de microfibras. Com o cisalhamento mecânico promovido no ensaio de tração, nota-se a formação de microfibrilas (ALVAREZ et al., 2005). No ensaio de tração, as microfibrilas são caracterizadas pelo seu alongamento.

A Figura 38 ilustra o MEV dos compósitos confeccionados com 13 % m/m de fibra de caroá após o ensaio de tração. Nota-se que as fibras são arrancadas da matriz durante o ensaio de tração, gerando espaços vazios (triângulo), o que é indicativo de fraca adesão entre a fibra e a matriz. Tensões de fricção fibra/fibra e fibra/matriz além das tensões nos terminos das fibras causam falha no compósito (GOH et al., 2004). Na mesma imagem, percebe-se a presença de uma bolha (quadrado), gerada pelo aprisionamento de ar durante a confecção do compósito.

Figura 38. a) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliada 50 vezes
b) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliada 200 vezes



(a)

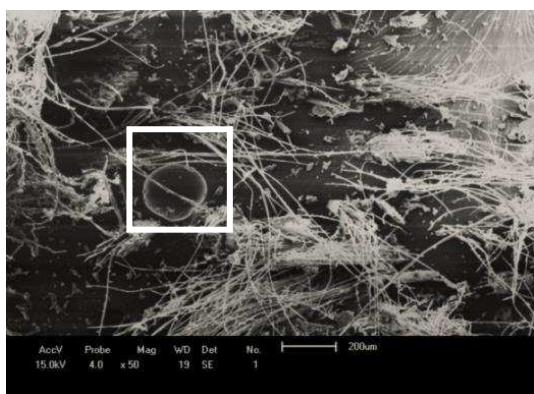


(b)

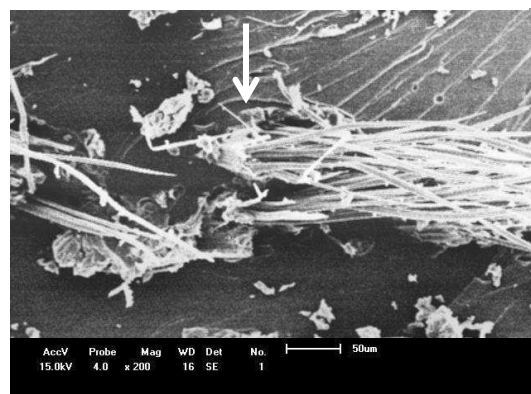
Segundo Golçalves (2010), a fibra é higroscópica, o que causa separação na interface fibra/matriz, e ocasiona vazios na superfície do compósito e provoca, por sua vez, dois mecanismos de falhas em compósito: o trincamento da matriz e o descolamento (*debonding*) da fibra, conforme mostrados na Figura 38(b), (seta). Ainda na Figura 38 (b), observa-se que a extremidade da fibra é formada por inúmeras fibrilas (retângulo) que são rompidas individualmente para separação final da fibra.

As imagens da Figura 39 ilustram as micrografias do compósito confeccionado com 23 % m/m de fibra de caroá após o ensaio de tração.

Figura 39. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliada 50 vezes
 b) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliada 200 vezes



(a)



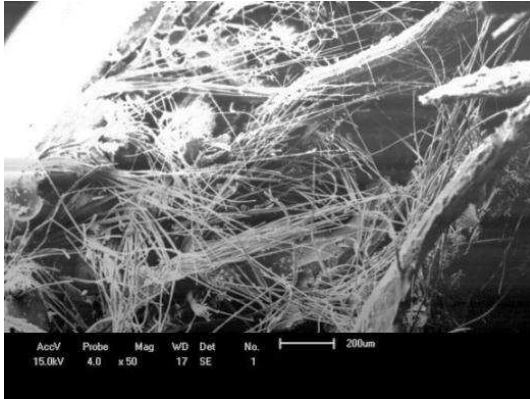
(b)

Na Figura 39 (a), nota-se a presença de bolha (quadrado) resultante de aprisionamento de ar durante a confecção do compósito. Na Figura 39 (b), nota-se o descolamento da fibra (seta). O fato da resistência à tração ser mais elevada no compósito B do que no compósito A sugere que o aumento da quantidade de fibra aumenta a resistência dos compósitos como um todo.

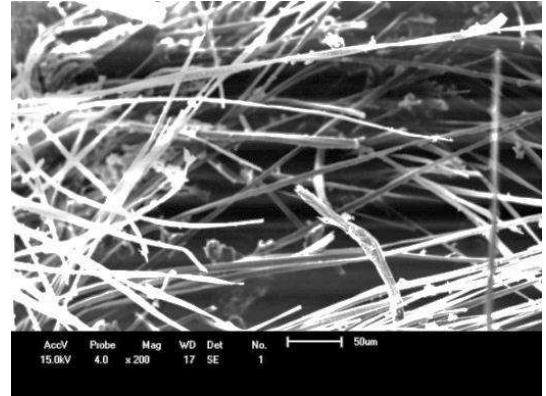
Nas micrografias observa-se ainda que, aparentemente, as fibras estão melhor aderidas à matriz do que no compósito com 13 % de fibra, o que parece indicar uma melhor adesão fibra/matriz e menor quantidade de vazios causados pela movimentação da fibra na matriz e maior valor de resistência à tração do compósito. Comportamento semelhante foi observado por Ramírez (2011) que desenvolveu biocompósitos de amido termoplástico reforçados com fibra de coco.

As micrografias eletrônicas de varredura do compósito com 30 e 40% de fibra de caroá estão ilustradas na Figura 40.

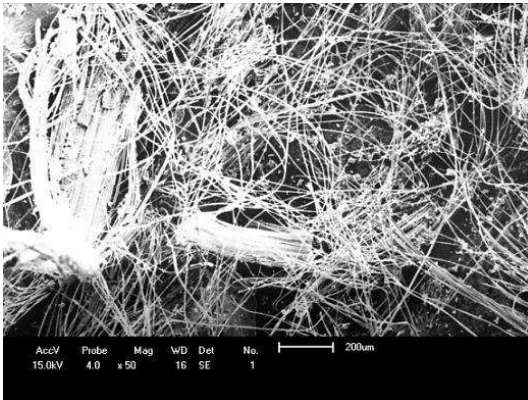
Figura 40. a) MEV compósito 30% de fibra de caroá ampliada 50 vezes b) MEV compósito 30% de fibra de caroá ampliada 200 vezes c) MEV compósito 40% de fibra de caroá ampliada 50 vezes d) MEV compósito 40% de fibra de caroá ampliada 200 vezes



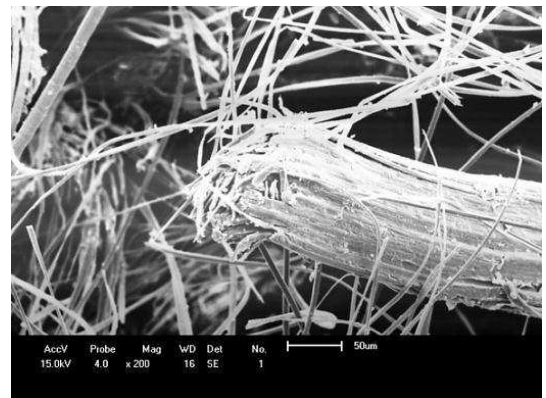
(a)



(b)



(c)



(d)

As imagens da Figura 40 (c) e (d) apresentam maior quantidade de fibras em relação à imagem da Figura 40 (a) e (b). Sabe-se que, até certo limite - limite crítico - à medida que o teor de fibras aumenta, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas e a resistência do compósito tende a aumentar.

A resistência à tração do compósito, contendo 40 % em massa de fibra de caroá, é menor do que a do compósito similar com 30 % m/m de fibras, o que é atribuído a dificuldades de molhamento e/ou maiores interações fibra/fibra e concomitante redução na interação fibra/matriz, o que fica claro nas imagens da Figura 40 (c) e (d).

A Figura 41 ilustra as micrografias ópticas, após ensaio de tração, ampliadas 50 vezes, da região de ruptura dos corpos de prova que possuem fibra de coco.

Figura 41. a) MO compósito 13% (m/m) de fibra de coco b) MO do compósito 23% (m/m) de fibra de coco c) MO do compósito 30% (m/m) de fibra de coco d) MO do compósito 40% (m/m) de fibra de coco



(a)



(b)



(c)

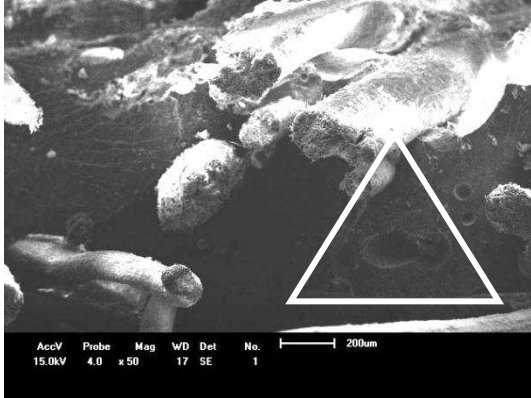


(d)

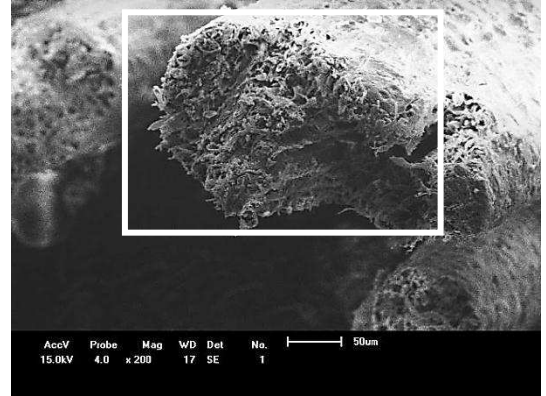
Além de possuir fibras bem mais espessas do que as de caroá, as fibras de coco aparentam ser mais rígidas, o que é atribuído ao maior teor de lignina apresentado pelas fibras de coco quando comparadas às de caroá. O alto teor de lignina das fibras de coco é responsável pelo enrijecimento da parede celular. As microscopias indicam má impregnação da resina nos compósitos, particularmente em altos teores de fibra de coco (40 % mm).

As micrografias eletrônicas de varredura do compósito confeccionado com 13 % m/m de fibra de coco, após o ensaio de tração, estão ilustradas na Figura 42.

Figura 42. a) MEV da superfície de ruptura após ensaio de tração do compósito com 13% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV da superfície de ruptura após ensaio de tração do compósito com 13% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes



(a)

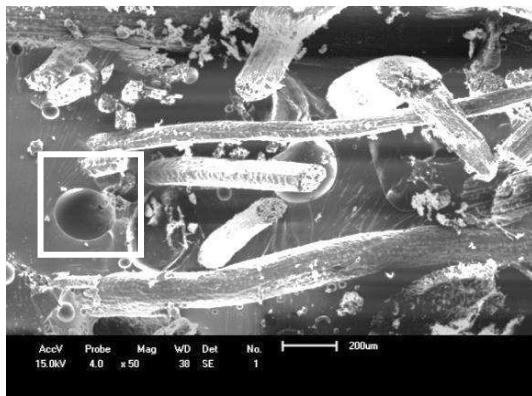


(b)

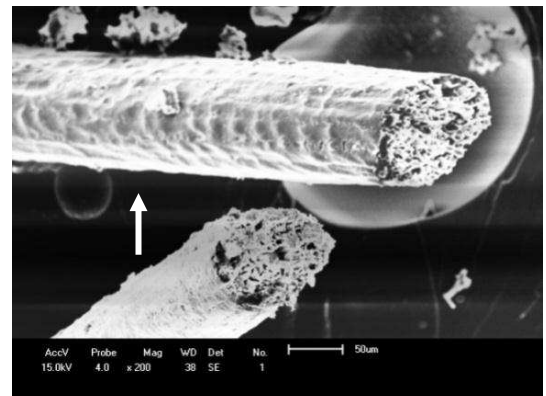
A imagem da Figura 42(a) apresenta vazios (triângulo) oriundos do arrancamento das fibras quando tracionadas, indicativo de fraca adesão entre a matriz e o reforço. O retângulo da Figura 42(b) destaca a quantidade de fibrilas que compõe a extremidade da fibra.

As micrografias do compósito confeccionado com 23 % m/m de fibra de coco estão ilustradas na Figura 43.

Figura 43. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes



(a)

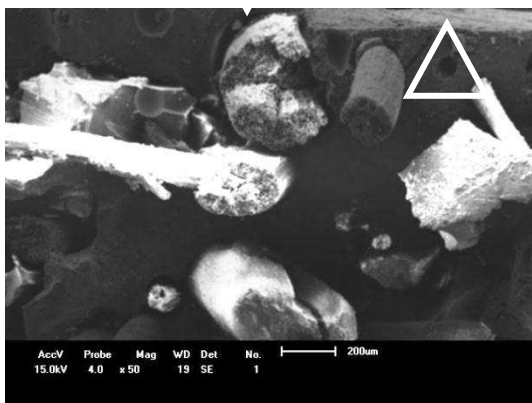


(b)

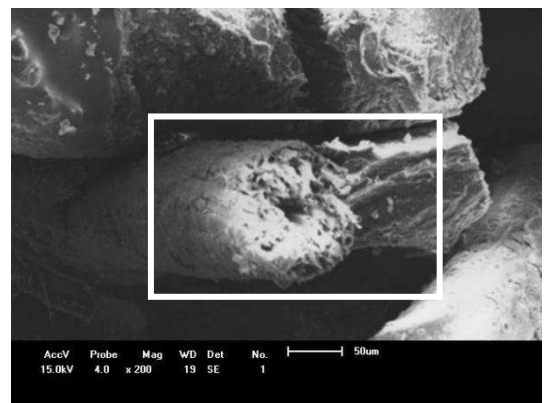
Tal como observado em compósitos com fibra de caroá, a superfície de fratura dos compósitos reforçados com a fibra de coco, Figura 43 (a), apresenta bolha (quadrado) resultado do aprisionamento do ar durante a confecção do compósito. A Figura 43 (b) evidencia que a superfície da fibra apresenta resíduos da matriz (seta), o que sugere que há alguma compatibilidade entre fibra e matriz.

As imagens da Figura 44 ilustram as micrografias das superfícies de fratura dos compósitos confeccionados com 30 e 40 % m/m de fibra de coco, ensaiados em tração.

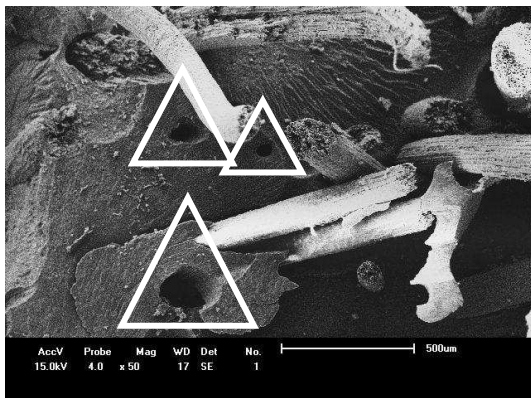
Figura 44. a) MEV do compósito com 30% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes b) MEV do compósito com 30% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes c) MEV do compósito com 40% (m/m) de fibra de coco ampliada 50 vezes d) MEV do compósito com 40% (m/m) de fibra de coco ampliada 200 vezes



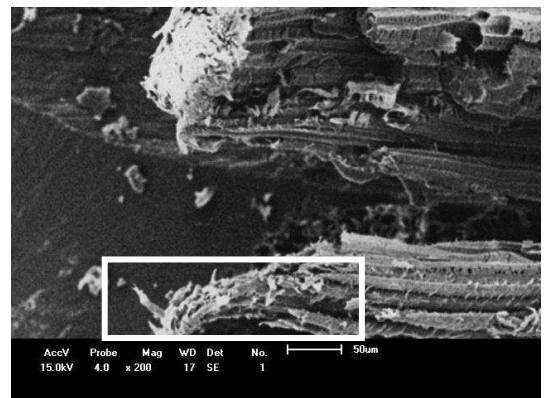
(a)



(b)



(c)



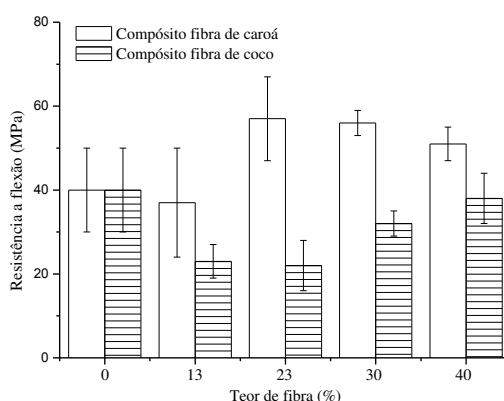
(d)

Observa-se que fibras arrancadas (triângulo) também são vistas no compósito com 30 % m/m de fibra, imagem da Figura 44 (a). Neste tipo de mecanismo, as fibras são arrancadas da matriz durante o ensaio de tração devido à fraca adesão entre os constituintes. Na imagem da Figura 44 (b), observam-se as microfibrilas que compõem a extremidade da fibra. Com teores maiores de fibras, má adesão interfacial ocorre devido ao mau molhamento das fibras.

Resistência à flexão

A Figura 45 apresenta dados referentes à resistência à flexão das amostras confeccionadas com fibras de caroá e coco. O fato dos compósitos com fibra de caroá apresentarem maior resistência à flexão em relação aos compósitos confeccionados com fibra de coco está associado ao elevado teor de celulose da fibra de caroá em relação à fibra de coco. Segundo Geethamma et al. (1998), o desempenho das fibras de coco como reforço em compósitos é insatisfatória, mesmo quando comparada com outras fibras vegetais, em função do baixo teor de celulose, altos teores de lignina e hemiceluloses, elevado ângulo microfibrilar e alta variação do diâmetro apresentados por essa fibra.

Figura 45. Resistência à flexão em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster



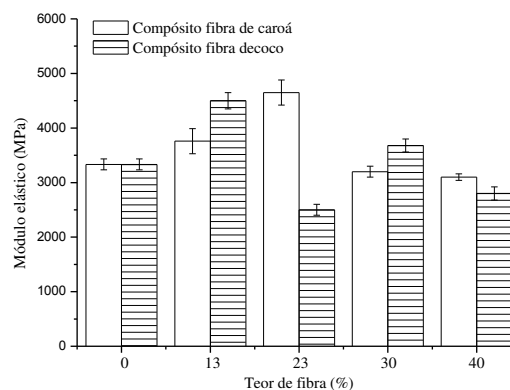
Segundo Passos (2005), que estudou a incorporação do coco verde e ureia de formaldeído para obtenção de telhas e chapas, a resistência à flexão aumentou significativamente com o teor de fibras, fato também observado por Ayrilmes et al. (2011), que pesquisou o compósito confeccionado com fibra de coco e polipropileno.

O aumento de resistência é interessante nas aplicações dos materiais compósitos em situações nas quais as forças deflexivas são necessárias.

A resistência dos compósitos em baixos teores de fibras (13%) é significativamente inferior à da matriz devido ao teor crítico de fibra não ter sido alcançado (carregamento insuficiente). Segundo Joseph et al. (1999), em teores inferiores ao crítico, as fibras agem como defeitos concentradores de tensões e fragilizam a matriz, reduzindo a resistência mecânica do compósito. Verificou-se também que, em carregamentos superiores a 30 % em massa de fibra, a resistência dos compósitos poliéster instaurado/caroá volta a decrescer 9%, dentro do erro experimental; essa redução é atribuída a dificuldades de molhamento das fibras pela matriz devido à menor quantidade de resina, de modo que estes tendem a apresentar maior flexibilidade e menor resistência à flexão.

Na Figura 46, está ilustrado o módulo de elasticidade em flexão da matriz poliéster e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco. Os resultados indicam que o módulo em flexão da matriz e dos compósitos varia significativamente dentro do erro experimental, com tendência do aumento desta propriedade com o aumento do teor de fibras. Comportamento análogo foi reportado por Silva (2008), em estudos sobre o laminado híbrido vidro/curauá em resina de poliéster. Em ambos os casos, essa propriedade decresceu em teores elevados de fibra. Valores máximos para o módulo em flexão (4650 ± 230 e 4500 ± 150 MPa) foram obtidos para os compósitos contendo 23 de caroá e 13 % m/m de coco, respectivamente.


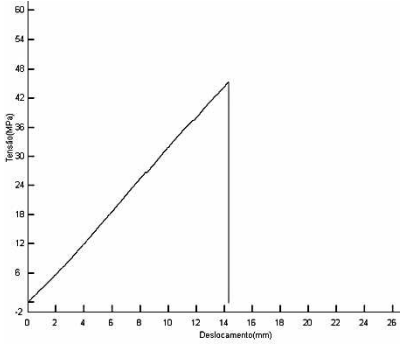

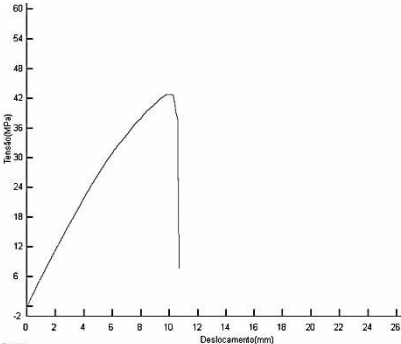

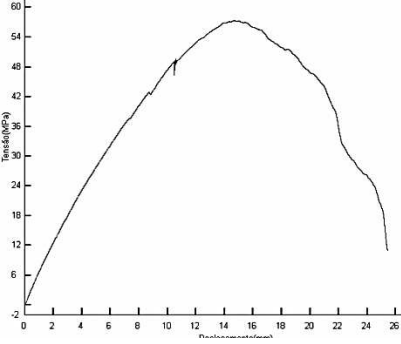
Figura 46. Módulo de elasticidade em flexão em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster




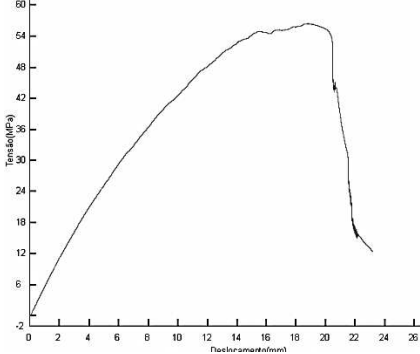

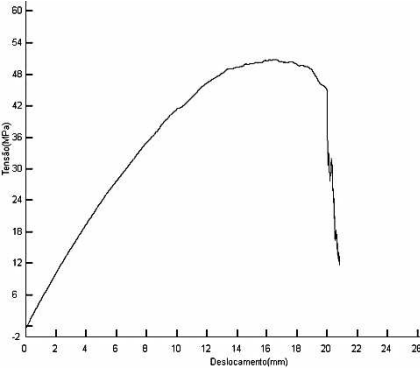

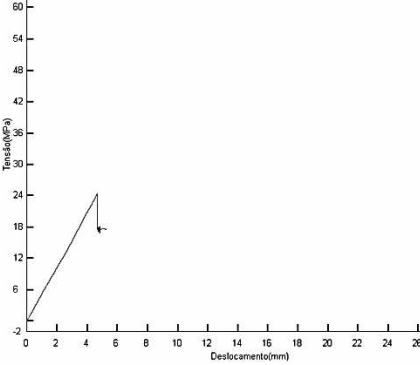

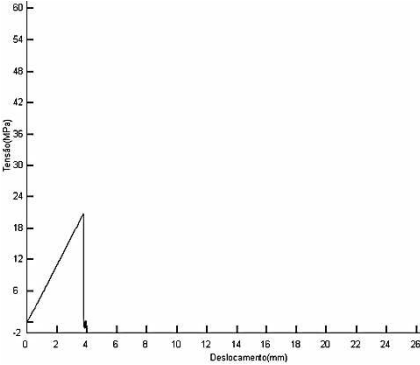
Os valores obtidos foram comparáveis aos encontrados por Paula (1996), para o compósito confeccionado com sisal/epóxi (5200Mpa), e para o compósito fibra de banana/vidro/poliéster (2300–5300 Mpa), estudado por POTHAN et al. (1999).

Para melhor visualização do aspecto dos corpos de prova após o ensaio de flexão, o Quadro 6 apresenta as amostras após serem ensaiadas e os gráficos de tensão (MPa) em função do deslocamento (mm).


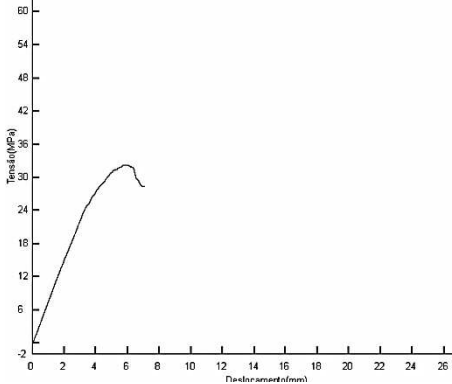
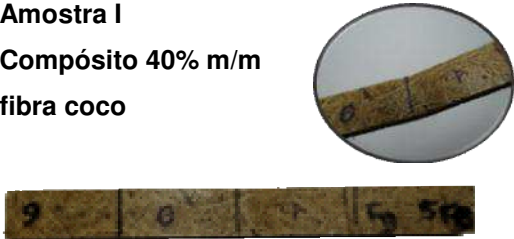
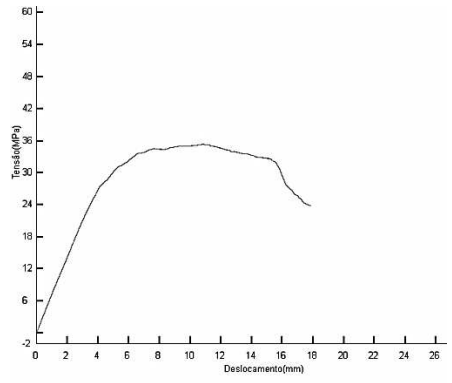
Quadro 6. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de flexão e curva de tensão (MPa) em função do deslocamento (mm) das amostras testadas

| AMOSTRA | GRÁFICO |
|--|--|
| <p>Amostra A Resina</p>  <p>Carga máxima na flexão: 40 ± 10 MPa</p> |  |
| <p>Amostra B Compósito 13% m/m fibra caroá</p>  <p>Carga máxima na flexão: 37 ± 13 MPa</p> |  |
| <p>Amostra C Compósito 23% m/m fibra caroá</p>  <p>Carga máxima na flexão: 57 ± 10 MPa</p> |  |

Continuação Quadro 6

| AMOSTRA | GRÁFICO |
|--|--|
| <p>Amostra D Compósito 30% m/m fibra caroá</p>  <p>Carga máxima na flexão: 56 ± 3 MPa</p> |  |
| <p>Amostra E Compósito 40% m/m fibra caroá</p>  <p>Carga máxima na flexão: 52 ± 4 MPa</p> |  |
| <p>Amostra F Compósito 13% m/m fibra coco</p>  <p>Carga máxima na flexão: 23 ± 4 MPa</p> |  |
| <p>Amostra G Compósito 23% m/m fibra coco</p>  <p>Carga máxima na flexão: 22 ± 6 MPa</p> |  |

Continuação Quadro 6

| AMOSTRA | GRÁFICO |
|--|---|
| <p>Amostra H Compósito 30% m/m fibra coco</p>  <p>Carga máxima na flexão: 32±3 MPa</p> |  |
| AMOSTRA | GRÁFICO |
| <p>Amostra I Compósito 40% m/m fibra coco</p>  <p>Carga máxima na flexão: 38±6 MPa</p> |  |

Assim como reportado nos gráficos da Figura 45 de flexão, no Quadro 6 observa-se maior resistência por parte dos compósitos confeccionados com fibra de caroá em relação aos confeccionados com fibra de coco, assim como se observa menor resistência nos compósitos com menor teor de fibra.

Nos gráficos, observa-se que algumas curvas são contínuas, como a do corpo-de-prova, com 13 % de fibra de caroá; enquanto a do corpo-de-prova, com 40 % de fibra de coco, apresenta oscilações. Comportamento análogo foi reportado por Monteiro et al. (2006) que atribuiu essas oscilações à ruptura parcial dos filamentos que constituem as fibras.

Quatro comportamentos diferentes das amostras, após ensaio de flexão, foram observados: fratura em mais de uma região da amostra (A), fratura na no meio da amostra (B, C e F), fissuras transversais ao comprimento da amostra (B, C, D, E e G) e discreta flexão na amostra (H e I). Tal como nas amostras para o ensaio de tração, a matriz e os compósitos com menores teores de fibra tenderam romper

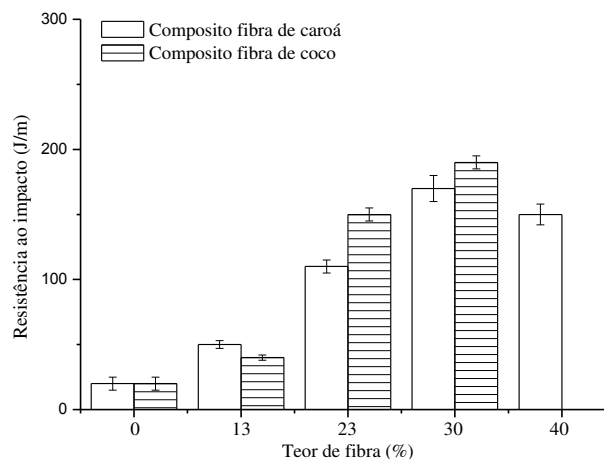
completamente, diferente daqueles que possuem maiores teores de fibras, já que estes apresentaram discreta flexão e/ou rompimento parcial.

De acordo com Silva (2003), no ensaio em flexão, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade são controlados pela resistência do material localizado na superfície do compósito. A trinca sempre se inicia na região trativa do corpo de prova e se propaga para o lado compressivo. Desta forma, as fibras que efetivamente atuam no reforço do compósito são as localizadas do lado trativo do corpo de prova (lado oposto ao ponto de aplicação da força) e orientadas na direção da tensão aplicada. As fibras com orientação perpendicular a esta atuam no sentido de diminuir a resistência mecânica do compósito e, neste caso, a resistência à flexão é dominada pela resistência à flexão da matriz.

Resistência ao impacto

Os efeitos dos teores da fibra de caroá e coco sobre a resistência ao impacto dos sistemas investigados estão ilustrados na Figura 47. Comparando os compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco, nota-se que, para teores iguais de fibras, a resistência ao impacto dos compósitos contendo fibras de caroá geralmente é menor. Este comportamento é atribuído a diferenças na composição e diâmetro dessas duas fibras.

Figura 47. Resistência ao impacto em função do teor de fibra dos compósitos caroá/resina de poliéster e coco/resina de poliéster



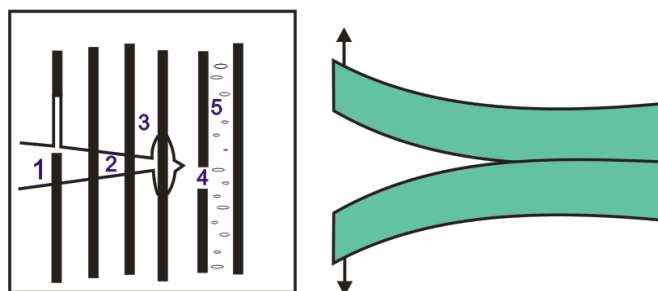
Os resultados obtidos foram superiores aos apresentados por Paiva e Frollini (1999) e Silva (2003) em sistemas afins reforçados por fibras de bagaço de cana e fibra de sisal e coco, respectivamente, e análogos aos valores apresentados por Jayabal e Natarajan (2011), em sistemas poliéster/fibra de coco.

Tal como em Cavalcanti (2006), que estudou compósito híbrido de fibra de vidro e juta, e Wambua et al. (2003), que analisaram compósitos confeccionados com fibras de sisal, kenaf, cânhamo, juta e fibra de coco, os resultados indicam que a resistência ao impacto dos compósitos é significativamente maior do que a da matriz e aumenta com o teor de fibras 240 % (caroá) e 375 % (coco), em até 30% m/m de fibra, o que indica que a incorporação de fibras à matriz eleva a capacidade de absorção da energia de impacto por esses sistemas. Acredita-se que as fibras auxiliem a divergir a frente de fratura, aumentando a resistência dos sistemas e impedindo falhas catastróficas.

Devido à limitação do equipamento utilizado no ensaio – CEAST Resil 5,5 J -, não foi possível registrar a resistência do compósito com 40 % m/m de fibra de coco. A resistência ao impacto depende de uma associação complexa entre resistência, deformabilidade do material e velocidade do ensaio. Em geral, se a adesão é muito forte, essa propriedade é reduzida. É provável que, em 40% m/m de fibra, a molhabilidade dos compósitos reforçados por fibra de coco seja mais reduzida do que a dos compósitos contendo fibras de caroá e que, por esse motivo, sua deformabilidade seja aumentada.

Segundo Silva (2003), as extremidades das fibras são locais de concentração de tensão e atuam como pontos de iniciação de trinca durante o carregamento por impacto. Com baixa fração volumétrica, as trincas não encontram barreiras suficientes durante o seu crescimento e propagam-se mais facilmente através da matriz. De acordo com Anderson (1995) e Titta (2002), os principais mecanismos de falha dos materiais compósitos que podem ser observados durante os ensaios de impacto estão mostrados, esquematicamente, na Figura 48.

Figura 48. Principais mecanismos de falha dos materiais compósitos:
1-pull out, 2- *fiber bridging*, 3- *debonding*, 4- falha da fibra e 5 - falha da matriz










Fonte: ANDERSON (1995) e TITTA (2002)



No mecanismo (1), conhecido por “*pull-out*”, ocorre o arrancamento da fibra de dentro da matriz geralmente após a propagação da trinca, ou seja, logo após a ocorrência do mecanismo (2), que é conhecido por “*fiber bridging*” e, na maioria dos casos, encontra-se em compósitos poliméricos reforçados com fibras frágeis, matrizes dúcteis e interface, envolvendo interações intensas. Desta maneira, a trinca se propaga pela matriz e a fibra forma uma ponte interligando as duas superfícies da matriz fraturada. Por outro lado, a ponta da trinca dá origem às regiões com concentração de tensão até mesmo fora do plano de propagação da mesma. Estas tensões podem provocar o *debonding* (3), que se caracteriza pelo descolamento entre a fibra e a matriz, devido a uma interface fraca. Este mecanismo conduz ao rompimento da interação existente entre a fibra e a matriz. Essa região na qual se concentram tensões poderá, também, levar à falha da fibra (4) devido à sua alta fragilidade ou até a falha da matriz (5) pelo mesmo motivo (ANDERSON, 1995; TITTA, 2002).

Para melhor visualização do aspecto da ruptura nos corpos de prova após o ensaio de impacto, foram realizadas fotografias, microscopias ópticas e microscopias eletrônicas de varredura. O Quadro 7 apresenta as imagens da seção de ruptura após ensaio de impacto das amostras testadas.

Quadro 7. Aspecto dos corpos de provas ensaiados após ensaio de impacto

| AMOSTRA | |
|--|--|
| <p>Amostra A Resina</p>  <p>Resistência ao impacto: 20±5J/m</p> | |
| <p>Amostra B Compósito 13% m/m fibra caroá</p>  <p>Resistência ao impacto: 50±3 J/m</p> | <p>Amostra C Compósito 23% m/m fibra caroá</p>  <p>Resistência ao impacto: 110±5 J/m</p> |
| <p>Amostra D Compósito 30% m/m fibra caroá</p>  <p>Resistência ao impacto: 170±10 J/m</p> | <p>Amostra E Compósito 40% m/m fibra caroá</p>  <p>Resistência ao impacto: 150±8 J/m</p> |
| <p>Amostra F Compósito 13% m/m fibra coco</p>  <p>Resistência ao impacto: 40±5 J/m</p> | <p>Amostra G Compósito 23% m/m fibra coco</p>  <p>Resistência ao impacto: 150±2 J/m</p> |

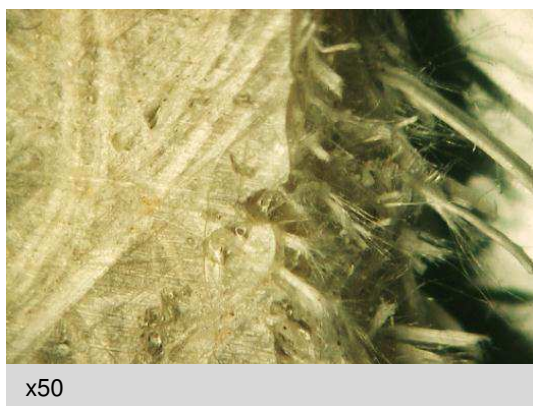
Continuação Quadro 7

| AMOSTRA | |
|---|---|
| <p>Amostra H Compósito 30% m/m fibra coco</p>  <p>Resistência ao impacto: 190±5 J/m</p> | <p>Amostra I Compósito 40% m/m fibra coco</p>  <p>Resistência ao impacto: --</p> |

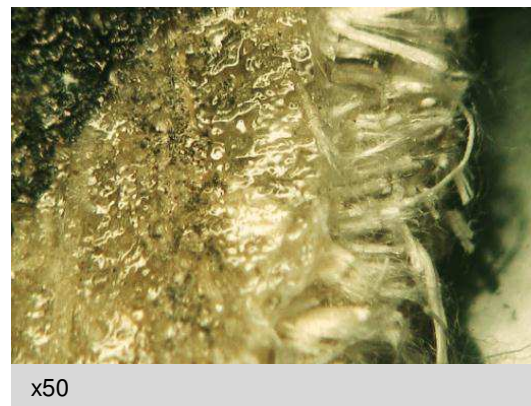
Nota-se ruptura total dos corpos de prova confeccionados com fibra de caroá, visto que a fibra foi arrancada de dentro da matriz (mecanismo *pull-out*). Além do mecanismo *pull-out*, as amostras com 13 e 23 % de fibra de coco apresentam o mecanismo *fiber bridging*, em que a fibra serve de ponte para interligar a matriz e o reforço do compósito. Os compósitos com maiores teores de fibra de coco (30 e 40% m/m) não apresentaram fratura total na amostra ensaiada, conseqüentemente, apresentaram maior resistência ao impacto; isto ocorre devido à maior dureza da fibra de coco em relação à fibra de caroá.

Para melhor visualização das regiões de ruptura após ensaio de impacto, a Figura 49 ilustra as micrografias ópticas, ampliadas 50 vezes, da região de ruptura dos corpos de prova que possuem 13, 23, 30 e 40 % m/m de fibra de caroá. A elevada velocidade do teste faz com que, diferente do observado no ensaio em tração, o puxamento e arrancamento das fibras a partir da matriz seja menor, ou seja, as fibras rompem muito mais rente à matriz.

Figura 49. a) MO do compósito com 13% (m/m) de fibra de caroá b) MO do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá c) MO do compósito com 30% (m/m) de fibra de caroá d) MO do compósito com 40% (m/m) de fibra de caroá



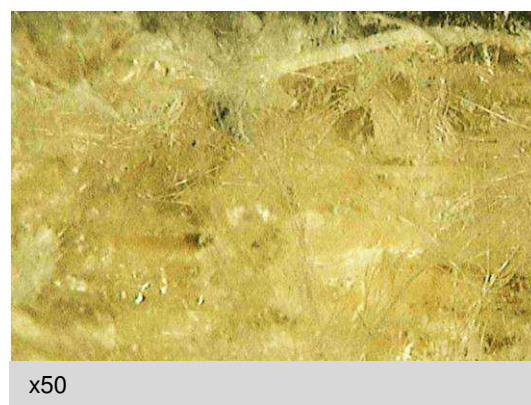
(a)



(b)



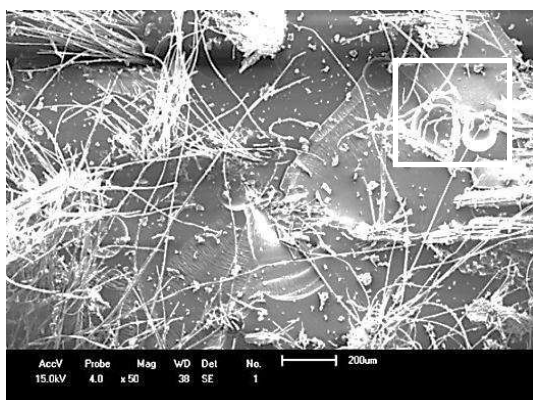
(c)



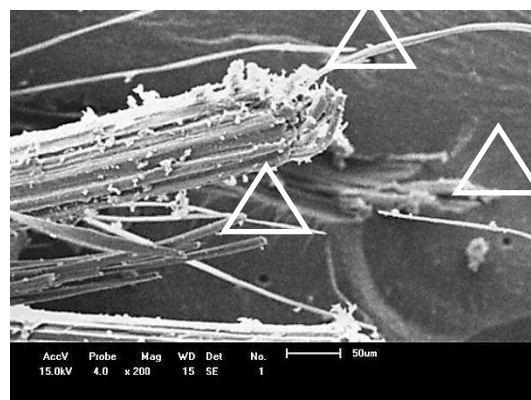
(d)

As micrografias eletrônicas de varredura da Figura 50 apresentam as seções de ruptura dos materiais após ensaio de impacto dos compósitos com 13 % m/m de teor de fibra de caroá. O estudo da fratura por MEV revelou áreas nas quais ocorreram possíveis falhas em compósitos, tais como trincas na matriz e falha na interface fibra/matriz.

Figura 50. a) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliado 50 vezes
b) MEV do compósito com 13% de fibra de caroá ampliado 200 vezes



(a)

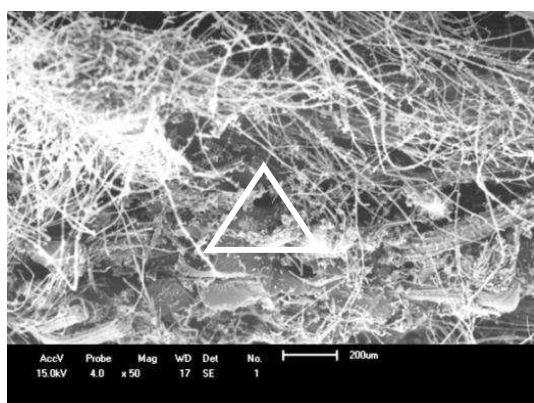


(b)

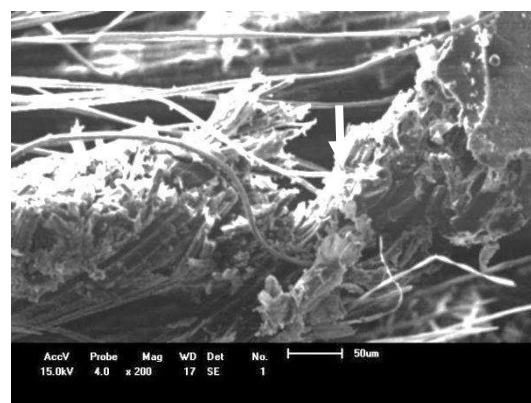
Acredita-se que as bolhas envolvidas pelo quadrado na imagem da Figura 50 (a) sejam resultantes de aprisionamento de ar durante a confecção do compósito. Nota-se, ainda, o arrancamento das fibras na matriz, mecanismo *pull out* (triângulo), indicando baixa adesão interfacial – Figura 50 (b). A presença de vazios afeta as propriedades do material por agirem como concentradores de tensão, reduzindo a absorção de energia de impacto (LIN e JANG, 1990).

As imagens da Figura 51 ilustram as micrografias da superfície de fratura do compósito confeccionado com 23 % m/m de fibra de caroá ensaiado em impacto.

Figura 51. a) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliado 50 vezes b) MEV do compósito com 23% (m/m) de fibra de caroá ampliado 500 vezes



(a)



(b)

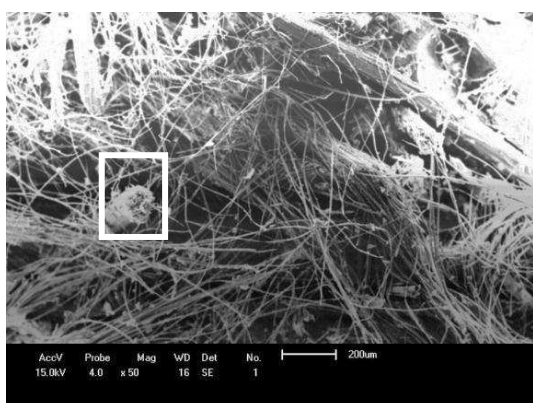
Na Figura 51 (a), observa-se menor quantidade de micro vazios (triângulo) em relação à imagem da Figura 50. Na imagem da Figura 51 (b), observa-se resina, parte mais clara, aderida à superfície externa da fibra (seta); a camada na superfície

externa indica boa adesão interfacial. Segundo Nóbrega (2007), a melhor adesão das fibras pela matriz provoca aumento da eficiência de transferência de tensão para as fibras durante o impacto, conseqüentemente, eleva a resistência do compósito. Estes resultados são coerentes com os apresentados para as propriedades em tração.

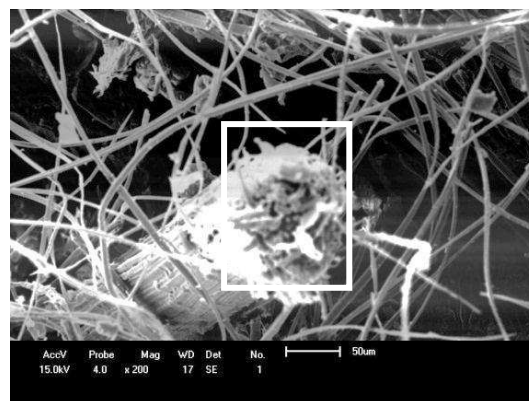
As imagens da Figura 52 ilustram as micrografias das superfícies de fratura dos compósitos confeccionados com 30 e 40 % m/m de fibra de caroá após ensaio de impacto.

Figura 52. a) MEV 30% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 50 vezes b) MEV 30% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 200 vezes c) MEV 40% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 50 vezes d) MEV 40% de fibra de caroá após ensaio de impacto ampliado 200

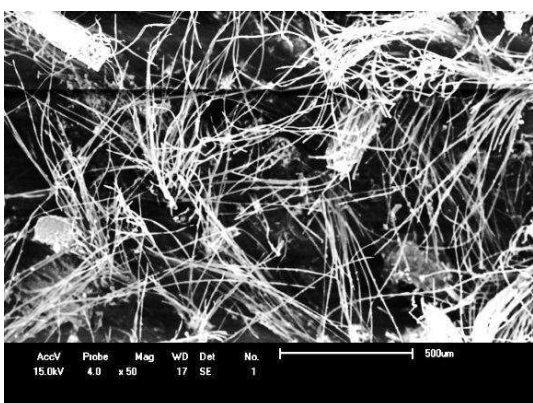
vezes



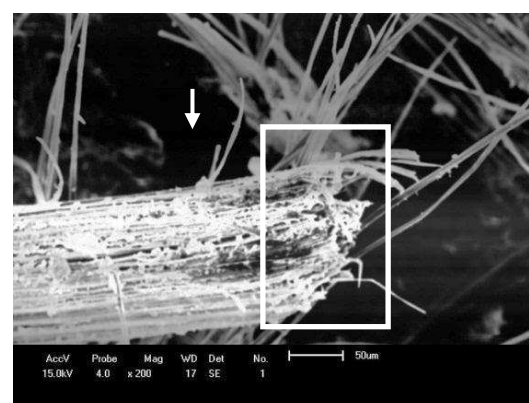
(a)



(b)



(c)



(d)

Os retângulos das imagens da Figura 52 indicam que a extremidade da fibra é formada por inúmeras fibrilas que são rompidas individualmente para separação final da fibra. Pode-se verificar que a superfície da fibra apresenta resíduos da matriz (seta), o que sugere compatibilidade entre fibra e matriz. Nem sempre uma adesão

mais intensa na interface leva a maior resistência ao impacto, pois se a adesão for muito forte, um “golpe” na interface não irá liberar a fibra da matriz e a “trinca” pode se propagar pelo compósito. Em outros casos, se a adesão não for muito intensa, a fibra é deslocada e a energia de impacto é absorvida (BRAHMAKUMAR, 2005).

As imagens da Figura 53 ilustram as micrografias ópticas da região de ruptura dos corpos de prova, confeccionados com fibra de coco, após ensaio de impacto, ampliadas 50 vezes.

Figura 53. a) 13% de fibra de coco após ensaio de impacto b) MO 23% de fibra de coco após ensaio de impacto c) MO do compósito com 30% de fibra de coco após ensaio de impacto d) MO do compósito com 40% de fibra de coco após ensaio de impacto



(a)



(b)



(c)

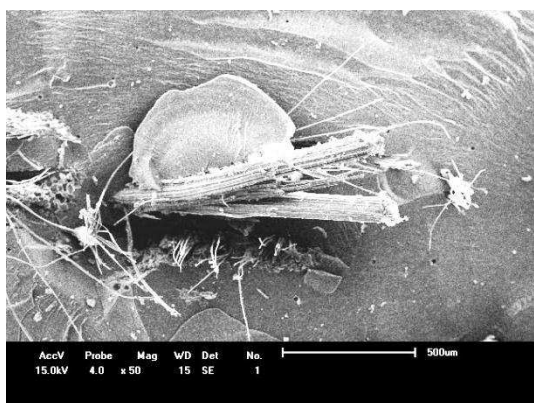


(d)

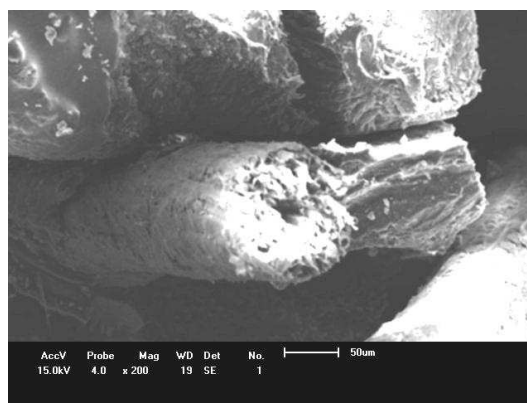
Tal como para os compósitos confeccionados com fibra de caroá, após o ensaio de impacto, as fibras rompem mais próximo à superfície dos compósitos. Diferente do compósito com 40 % m/m de fibra de caroá, o compósito com 40 % m/m de fibra de coco (imagem da Figura 53 d) não apresenta rompimento total das fibras, indicando a maior capacidade de absorção de energia de impacto por parte desse sistema.

As imagens da Figura 54 ilustram as micrografias eletrônicas da superfície de fratura do compósito confeccionado com 13 % m/m de fibra de coco, após o ensaio de impacto.

Figura 54. a) MEV 13% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes b) MEV 13% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 200 vezes



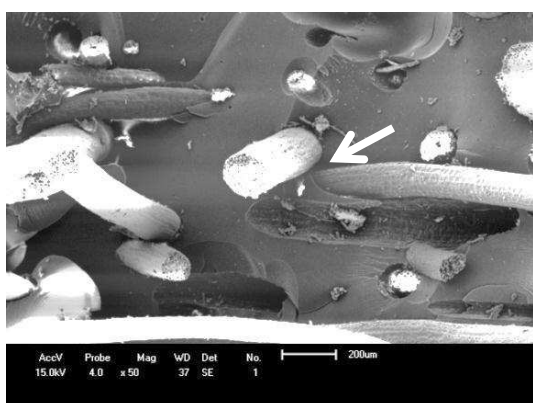
(a)



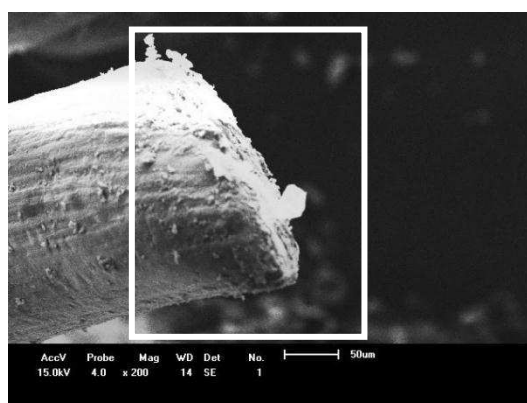
(b)

Diferente do aspecto da fibra de caroá, a fibra de coco apresenta-se menos maleável e com menos tiloses. Na imagem da Figura 54 (b). Tiloses em geral deixam a fibra mais dura, pois forma um tipo de calo ou barreiras na sua anatomia. Na Figura 55, são apresentadas as micrografias da superfície de fratura do compósito confeccionado com 23 % m/m de fibra de coco, após ensaio de impacto.

Figura 55. a) MEV 23% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes b) MEV 23% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 200 vezes



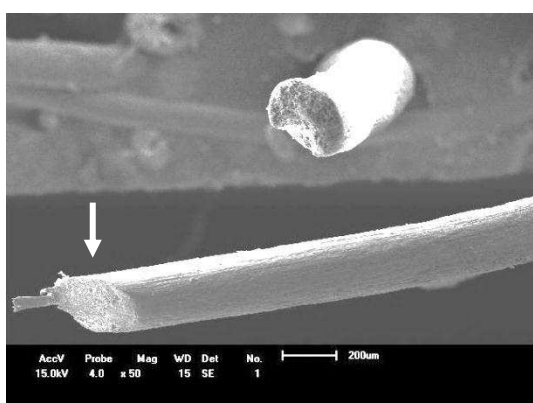
(a)



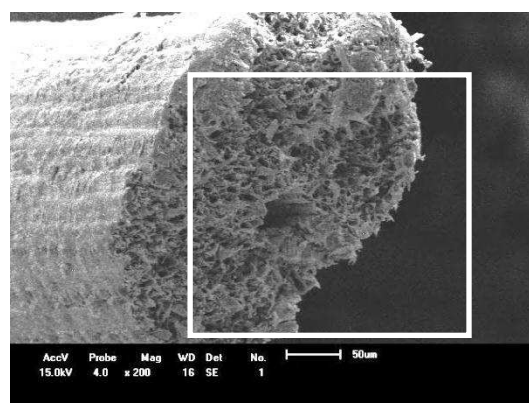
(b)

Diferente da superfície de ruptura do teste de tração, em que a extremidade da fibra de coco apresenta-se com fibras um pouco mais estiradas a superfície da fibra de coco, a superfície de ruptura de impacto apresenta-se plana e regular, retângulo - Figura 55 (b) - devido ao à velocidade do ensaio que limita o estiramento da fibra. Na Figura 55 (a), nota-se que a fibra foi deslocada da matriz - mecanismo *debonding* (seta) – indicando absorção de energia, o que evitou a propagação da trinca através matriz, retardando a fratura. O mesmo comportamento foi reportado por Megiatto Júnior (2006), que estudou compósitos confeccionados com matriz fenólica/sisal. As imagens da Figura 56 ilustram as micrografias na fratura de impacto do compósito confeccionado com 30 % m/m de fibra de coco.

Figura 56. a) MEV 30% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 50 vezes
b) MEV 30% (m/m) de fibra de coco após ensaio de impacto ampliado 200 vezes



(a)



(b)

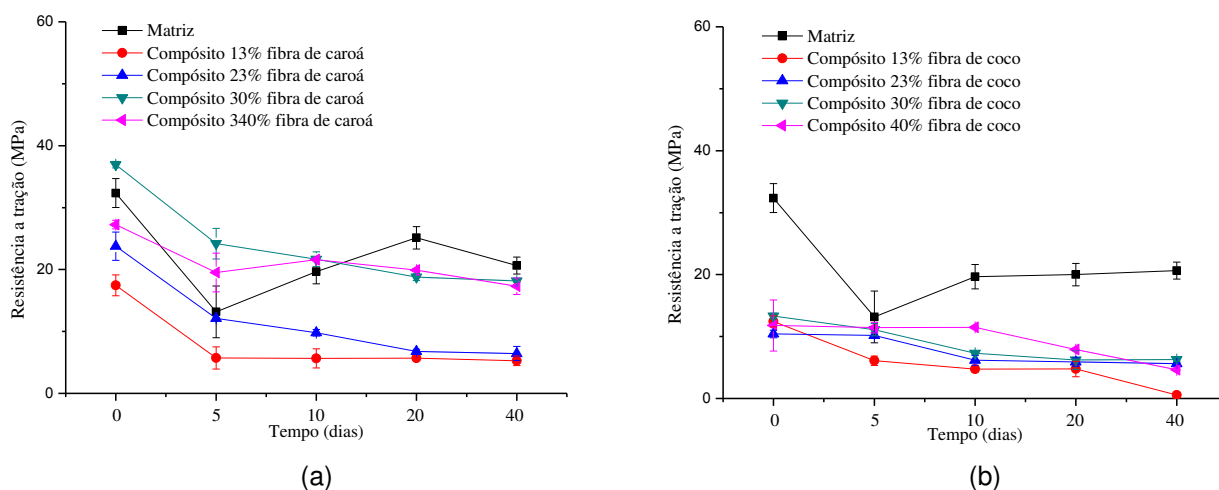
Tal como visto nos compósitos com 13 e 23 % m/m de fibra de coco, a superfície da fibra apresenta-se plana regular, imagem da Figura 56 (a). O retângulo da imagem da Figura 56 (b) ressalta que a extremidade da fibra, formada por inúmeras fibrilas, que foram rompidas para separação final da fibra e mostra também que a matriz não penetrou no interior (lúmen) da fibra.

6.3 Envelhecimento acelerado: envelhecimento térmico

Resistência à tração

Os gráficos da Figura 57 (a) e da Figura 57 (b) ilustram o comportamento em tração durante o envelhecimento térmico, em até 40 dias, dos compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco, respectivamente. Observa-se que, em baixos teores de fibras, compósitos com 13 e 23 % m/m possuem uma resistência tração inferior à da matriz, o que pode ser atribuído à baixa adesão do sistema causada pela higroscopia das fibras ou pelos teores de fibra inferiores ao crítico. A degradação térmica do sistema conduz à redução da capacidade de reforço da fibra e da aderência com a matriz, de modo que a fibra deixa de funcionar como reforço, passando a ser um material de enchimento, com o agravante de ser higroscópico e putrescível. Esse fenômeno pode ser agravado pela variação de umidade da matriz (AGOPYAN e JOHN, 1992).

Figura 57. a) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster
b) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster



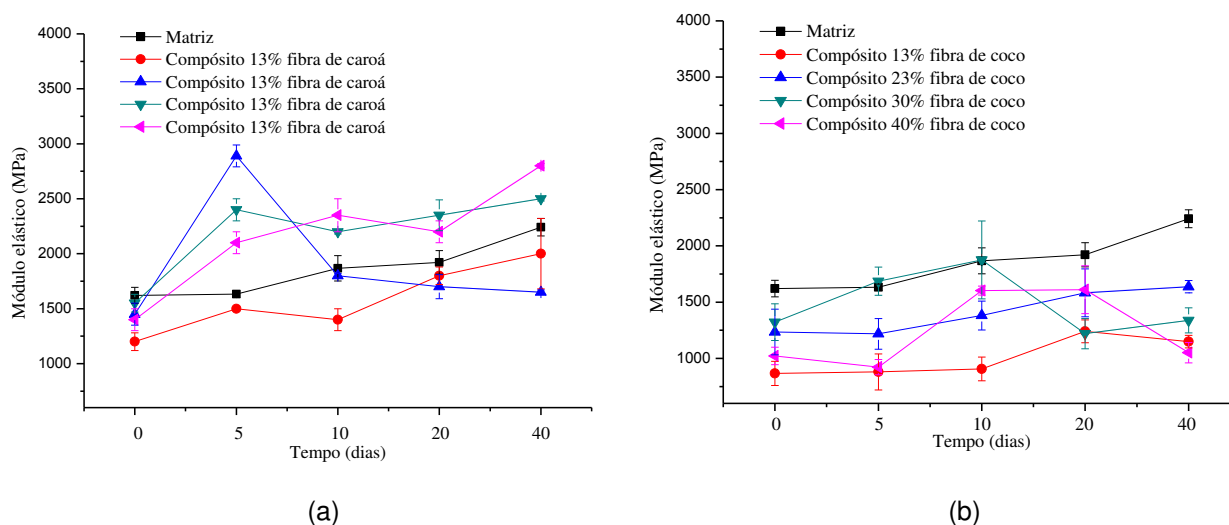
Nos primeiros dez dias de exposição, as resistências da matriz e dos compósitos sofreram expressiva redução em relação ao seu valor original. Por exemplo, o compósito com 23 % de caroá, teve uma redução na resistência à tração de 57 %; e o compósito com 23 % de coco, teve uma redução de 40,7 % em relação à matriz em até dez dias de ensaio. A maior redução á resistência à tração por parte do compósito de caroá em relação aos compósitos de coco pode estar associada à

maior degradação desta fibra, conforme verificado no ensaio de análise térmica (Tabela 7).

Joseph et al. (1999), Cavalcanti (2000) e Alsina et al. (2005) observaram, em sistemas afins, decréscimo na resistência à tração para tempos mais longos de exposição térmica. No caso de Cavalcanti (2000), o decréscimo inicialmente mais acelerado e posterior manutenção em baixos valores da resistência à tração do sistema refletem mudanças estruturais da matriz e das fibras e severa deterioração da interface fibra/matriz, o que leva a perdas significativas de propriedade com o tempo de envelhecimento.

A Figura 58 ilustra o efeito do tempo de envelhecimento térmico no módulo de elasticidade (em tração) da matriz polimérica e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá – Figura 58 (a) – e de coco – Figura 58 (b). Verifica-se que o módulo da matriz apresenta aumento com a exposição térmica, indicando que, nas condições experimentais adotadas, a matriz não degradou termicamente de maneira significativa. O aumento inicial no módulo de elasticidade dos compósitos expostos termicamente é atribuído às reações de pós-cura da matriz termofixa. Segundo Alsina et al. (2005), em tempos mais longos e sob condições mais agressivas, o padrão é uma redução nessa propriedade.

Figura 58. a) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster

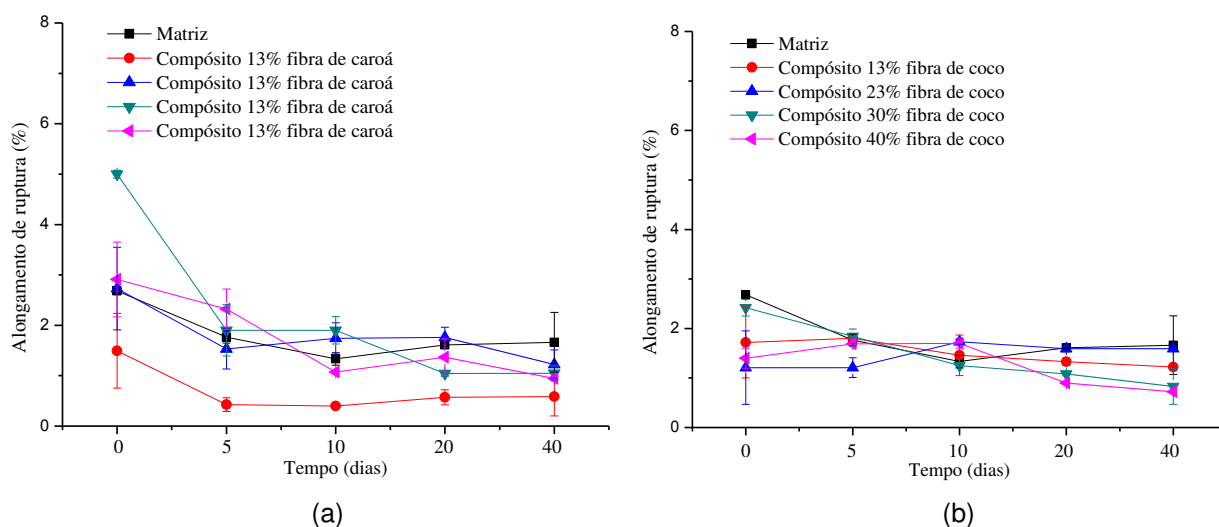


No geral, o módulo de elasticidade dos compósitos aumentou significativamente nos primeiros 5 dias de exposição e apresentou tendência a reduzir e/ou a estabilizar em

tempos subsequentes. Ao contrário do esperado, não foi observada redução do módulo dos compósitos com o tempo de exposição térmica. É possível que o sistema não tenha sido degradado de forma considerável ou tenha havido um processo simultâneo de degradação com formação de radicais livres e recombinação desses radicais, gerando reticulação (pós-cura). Enquanto a cisão de cadeia provoca redução no módulo de elasticidade, a reticulação tende a aumentá-lo. Com dois processos antagônicos, sem que um prevaleça fortemente sobre o outro, o resultado final pode ser a manutenção das propriedades do sistema.

Os valores de alongamento na ruptura para a matriz polimérica e para os compósitos confeccionados com fibras de caroá e de coco em função do tempo de envelhecimento térmico estão ilustrados na Figura 59 (a) e na Figura 59 (b), respectivamente.

Figura 59. a) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster
b) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster

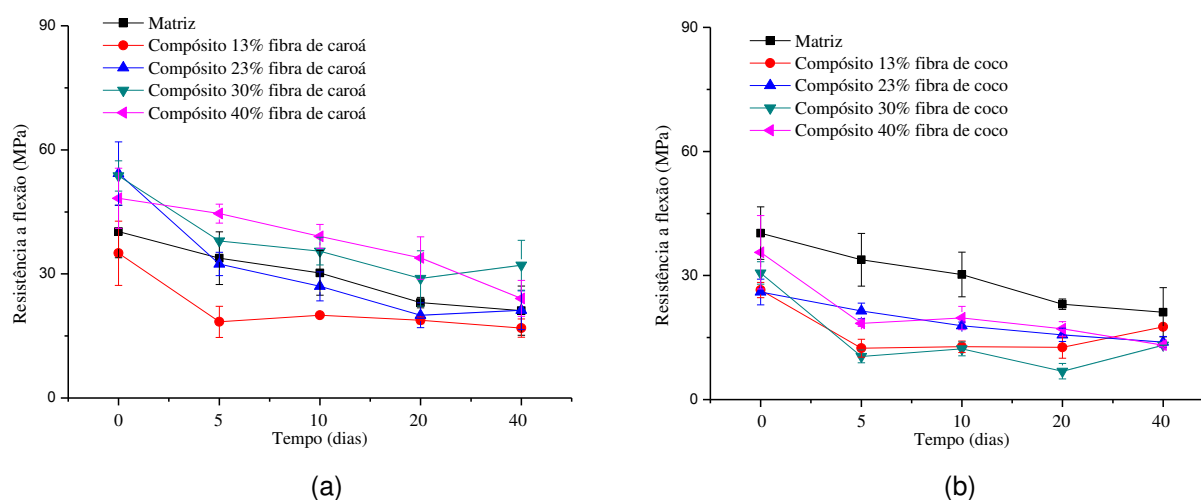


Os resultados indicam que, tanto para a matriz quanto para os compósitos, houve uma redução mais significativa nessa propriedade nos primeiros cinco dias de exposição térmica, o que pode ser atribuído à pós-cura da matriz. Em seguida, o alongamento na ruptura da matriz tendeu a diminuir: este comportamento é atribuído à degradação térmica da matriz. Os resultados obtidos para os efeitos da exposição térmica no alongamento da ruptura da matriz e do compósito são coerentes com os obtidos para a resistência e módulo de elasticidade, discutidos anteriormente.

Resistência à flexão

Os valores de resistência à flexão em função do tempo de envelhecimento térmico da matriz e dos compósitos estão ilustrados na Figura 60 (a) - caroá - e Figura 60 (b) - COCO.

Figura 60. a) Resistência à flexão em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Resistência à flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster

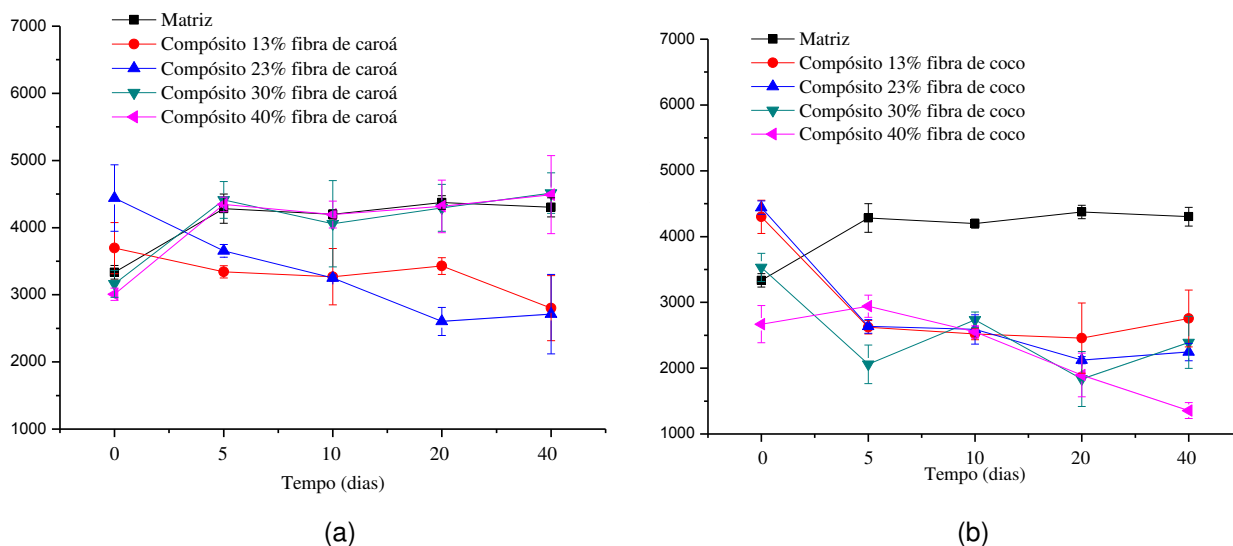


Tal como esperado, os dados indicam que a resistência à flexão da matriz e dos compósitos tendeu a diminuir significativamente com o tempo de envelhecimento térmico, a exemplo do compósito confeccionado com 23 % de fibra de caroá, que teve sua resistência à flexão reduzida em 60,88 % após 40 dias de ensaio e o compósito confeccionado com 23 % de fibra de coco, cuja redução foi de 46,54 %. Esta redução é atribuída à degradação térmica da matriz e do reforço e, sobretudo, ao empobrecimento da interface fibra/matriz causada pela exposição térmica, levando a uma diminuição da resistência mecânica e tornando os polímeros mais frágeis e quebradiços (ESGALHADO e ROCHA, 2002).

O módulo de elasticidade (em flexão) da matriz polimérica e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá e coco durante o ensaio de envelhecimento estão apresentados na Figura 61 (a) e Figura 61 (b), respectivamente. O módulo da matriz aumentou nos primeiros cinco dias de ensaios e nos dias subsequentes estabilizou, enquanto o módulo em flexão dos compósitos tendeu a diminuir

significativamente com o tempo de exposição térmica, principalmente daqueles reforçados por fibras de coco.

Figura 61. a) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster b) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster



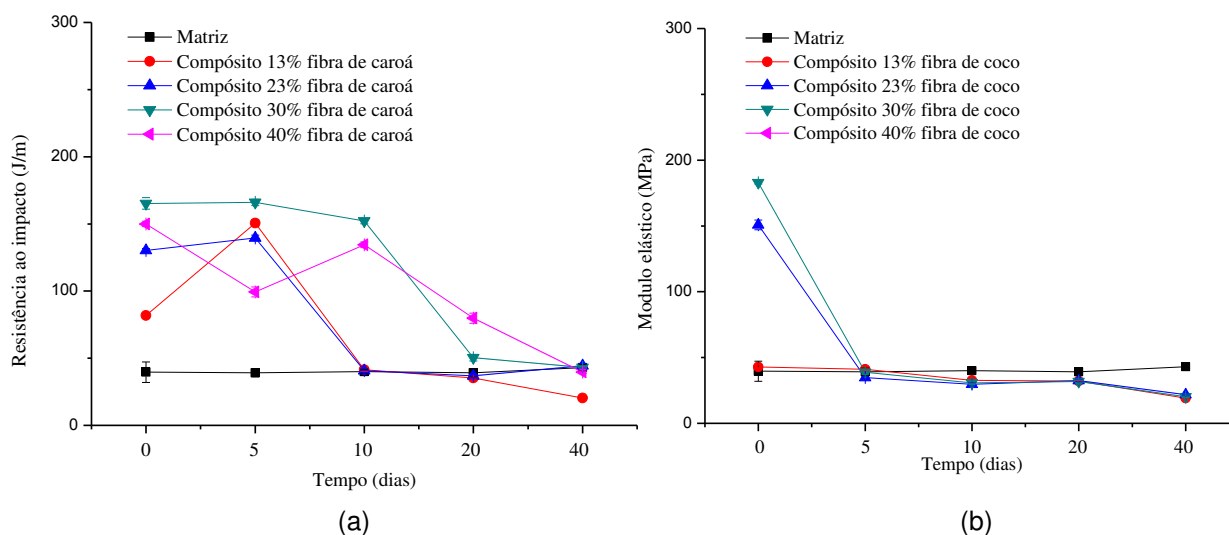
O aumento inicial do módulo em flexão da resina com o tempo de envelhecimento é atribuído à pós-cura. A manutenção dessa propriedade dentro do erro experimental indica que a matriz é pouco afetada pelas condições de envelhecimento adotadas. Assim como com a matriz polimérica, após cinco dias expostos na estufa, houve um aumento no módulo de elasticidade em flexão dos compósitos, atribuído à pós-cura da resina. Para exposições térmicas mais longas, os módulos de elasticidade diminuíram, o que é atribuído à degradação do reforço lignocelulósico e ao empobrecimento da interface fibra/matriz.

De modo geral, o módulo de elasticidade em flexão dos compósitos reforçados por fibra de coco apresentou-se inferior ao daqueles reforçados por fibras de caroá, o que é atribuído ao menor teor de celulose e maior espessura das fibras de coco quando comparadas às de caroá.

Resistência ao impacto

Os dados relativos ao efeito da exposição térmica na resistência ao impacto da matriz polimérica e dos compósitos reforçados com fibras de caroá e coco estão ilustrados na Figura 62 (a) e Figura 62 (b). Os resultados indicam que a resistência ao impacto da matriz foi pouco afetada pela exposição térmica, apresentando valores baixos e praticamente constantes em até 40 dias de ensaio.

Figura 62. a) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos caroá/resina de poliéster
b) Módulo de elasticidade na flexão em função do tempo dos compósitos coco/resina de poliéster



Os compósitos apresentam significativa redução nessa propriedade com o tempo de envelhecimento térmico, principalmente após 10 dias de exposição térmica. Por exemplo, o compósito com 23 % de fibra de caroá, teve uma redução de 65 % nessa propriedade em 40 dias de ensaio, enquanto a redução observada no compósito confeccionado com 23 % de fibra de coco foi de 85,33 %. Esta redução significativa pode ser interpretada como resultado de um enrijecimento da matriz causado pela pós-cura e à degradação das fibras lignocelulósicas por exposição térmica prolongada.

A resistência ao impacto é uma propriedade bastante complexa, uma vez que está associada à tenacidade do material, ou seja, depende de sua resistência e ductilidade, o que fez com que Agopyan e John (1992) afirmassem que ensaios de impacto em painéis reforçados com fibras vegetais são inadequados como indicador de degradação devido à alta variabilidade apresentada nos resultados.

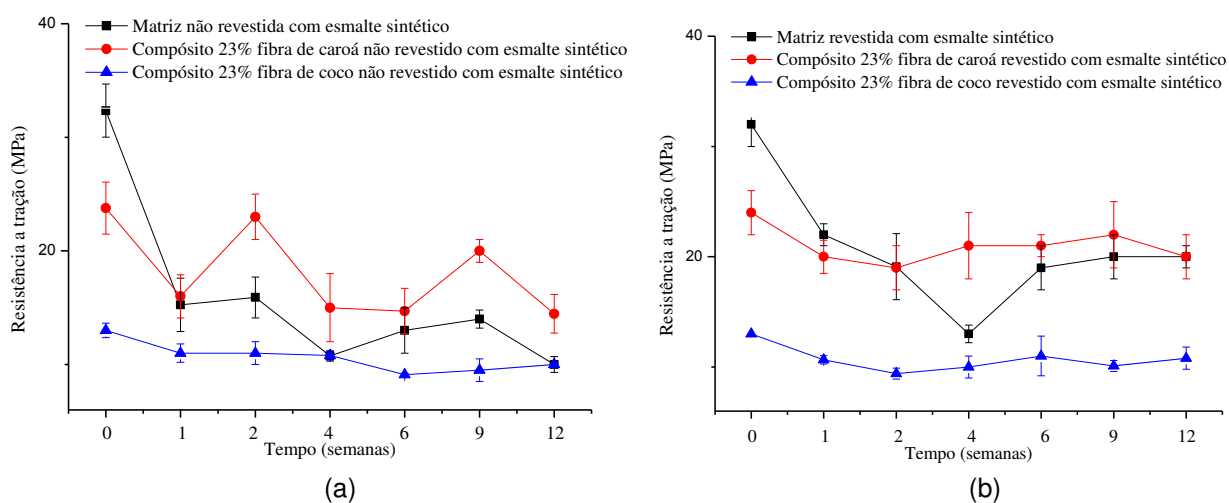
6.4 Envelhecimento acelerado: envelhecimento UV/temperatura/umidade

O ensaio de envelhecimento acelerado UV/temperatura/umidade foi realizado nas amostras com melhor desempenho físico e mecânico, ou seja, aquelas com 23 % m/m de fibra (caroá ou coco).

Resistência à tração

Matriz e compósitos poliéster/caroá e poliéster /coco cujas superfícies foram revestidas ou não com esmalte sintético, foram envelhecidas por exposição a ciclos de UV/temperatura/umidade. As resistências da matriz e desses compósitos estão ilustradas na Figura 63 (a) e Figura 63 (b), respectivamente.

Figura 63. a) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Resistência à tração em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético



Os resultados indicam que, independente de estarem revestidas por esmalte sintético ou não, a resistência à tração de todos os sistemas tenderam a diminuir significativamente com o tempo de exposição, sendo esta queda mais significativa para o compósito com fibra de caroá não revestido com esmalte sintético, que sofreu uma redução de aproximadamente 33 % nessa propriedade, e para o compósito de poliéster/caroá revestido com esmalte sintético que teve uma redução de 20 % na sua resistência à tração na primeira semana de exposição.

Considerados os erros experimentais, em geral, os valores de resistência à tração após 12 semanas de exposição a ciclos de irradiação UV/temperatura/umidade são

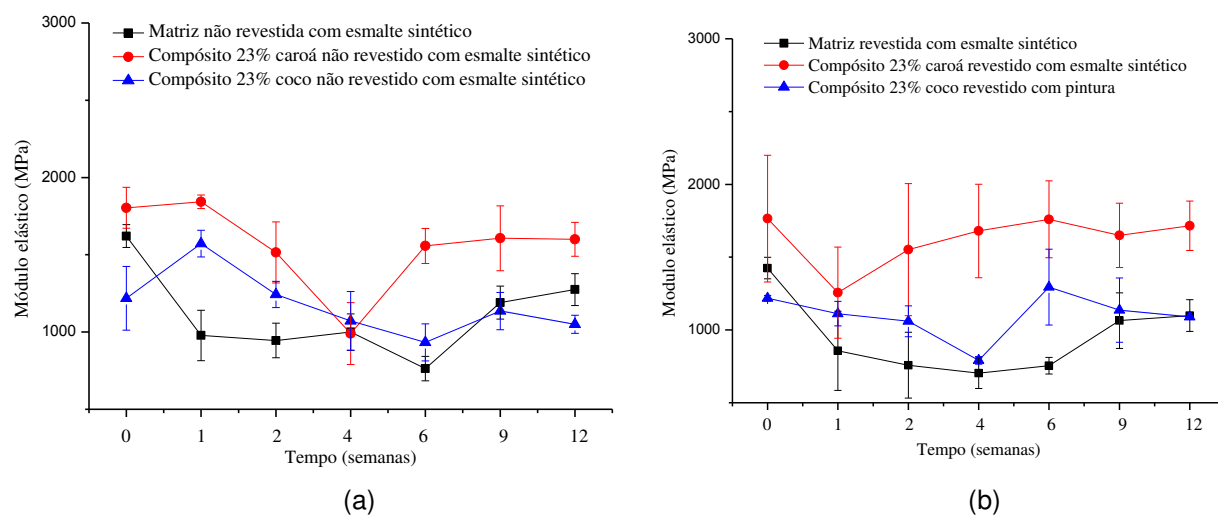
similares aos obtidos após uma semana de exposição. Por exemplo, os compósitos confeccionados com fibra de caroá sem revestimento após uma semana de ensaio apresentou 15,25 MPa de resistência a tração e após 12 semanas de ensaio, 14,5 MPa. O mesmo ocorreu com os demais compósitos, como o confeccionado com fibra de coco com revestimento que possuía 10,66 MPa de resistência a tração após a primeira semana de ensaio e, depois de doze semanas, 9,4 MPa. Estes valores indicam que o revestimento aplicado nos corpos de prova protegeu as amostras, minimizando sua degradação quando expostas ao envelhecimento acelerado por radiação UV/temperatura/umidade.

Percebe-se queda mais significativa na resistência da matriz em relação à dos compósitos com o tempo de envelhecimento acelerado – redução de 68,75 % de resistência à tração para a matriz não revestida com esmalte sintético e 37,5 % para a matriz revestida, após 12 semanas de ensaio. Portanto, pode-se afirmar que a incorporação das fibras vegetais evitou a degradação acelerada por exposição térmica/UV/umidade do compósito, o que não era esperado.

A redução na resistência tênsil das amostras de compósitos confeccionados com fibra de coco sujeitas ao envelhecimento acelerado por ciclos de UV/temperatura/umidade foi menor do que a apresentada por compósitos semelhantes reforçados por fibras de caroá. Acredita-se que, por apresentar menor espessura em relação à fibra de coco, a fibra de caroá possui maior área exposta à matriz e à irradiação UV.

A Figura 64 apresenta o módulo de elasticidade da matriz e dos compósitos de caroá e coco não revestidos com pintura – Figura 64 (a) - e revestidos com pintura - Figura 64 (b) - que foram envelhecidos por UV com até doze semanas de ensaios.

Figura 64. a) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Módulo de elasticidade na tração em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético

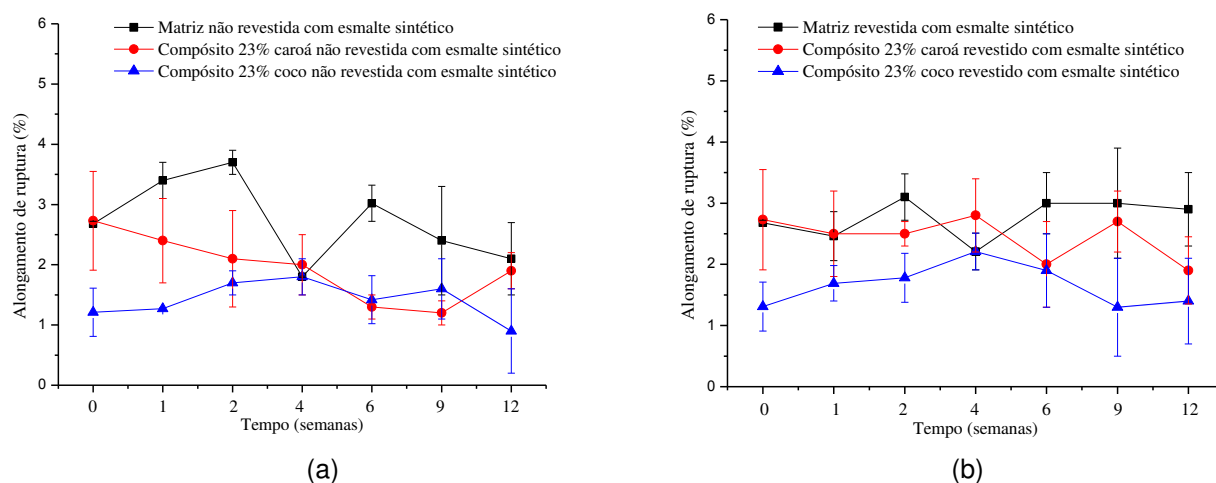


As amostras de resina, caroá e coco, não revestidas com esmalte sintético, apresentaram, após 12 semanas de envelhecimento acelerado por ciclos de UV/temperatura/umidade, reduções de 21,11 e 13 %, respectivamente, em relação ao seu módulo de elasticidade em tração. Nas amostras que foram revestidas com esmalte sintético, essa redução de módulo de elasticidade, no final do ensaio, foi de 10, 9 e 10 % respectivamente. Assim como para o ensaio de resistência à tração, verifica-se que o esmalte sintético protegeu as amostras, minimizando sua degradação.

Percebe-se redução linear no módulo de elasticidade em tração com o tempo de envelhecimento. Perdas progressivas e baixos valores de módulo de elasticidade também foram encontrados por Singh et al. (1996) ao estudaram o efeito do envelhecimento acelerado com exposição à UV em perfis confeccionados com juta e resina fenólica com até 500 horas de ensaio.

Os valores de alongamento de ruptura para a matriz polimérica e para os compósitos em ciclos de UV/temperatura/umidade estão ilustrados graficamente na Figura 65.

Figura 65. a) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Alongamento de ruptura em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético

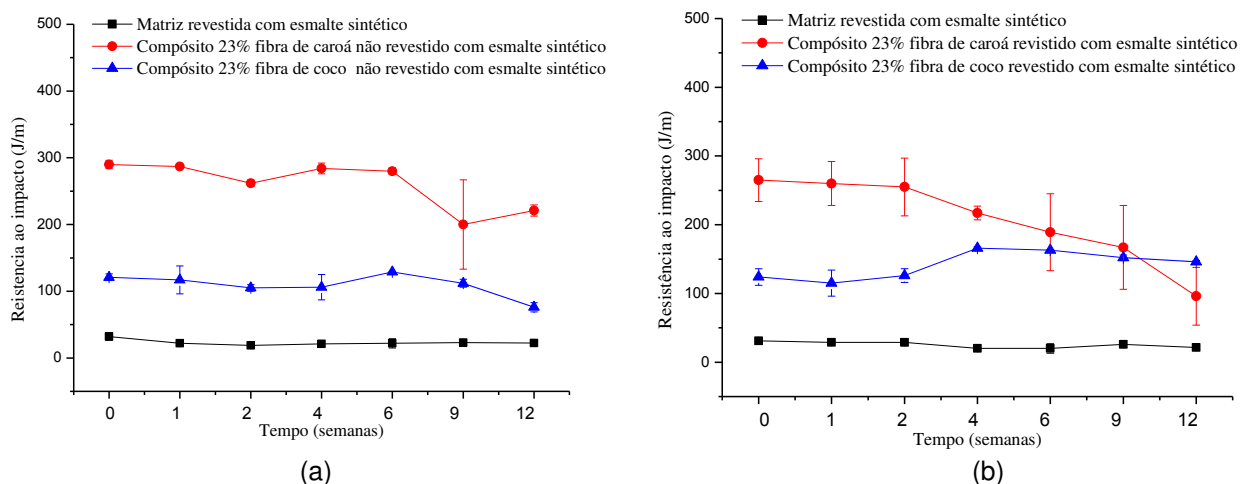


Os resultados indicam que, apesar dos desvios experimentais, em geral, o alongamento na ruptura tendeu a diminuir cerca de 28 % para o compósito caroá sem revestimento de esmalte sintético, e redução de 30 % para o compósito caroá com revestimento, sendo este comportamento atribuído à degradação térmica da matriz. Os resultados obtidos para os efeitos da exposição térmica no alongamento da ruptura da matriz e do compósito são coerentes com aqueles obtidos para a resistência e módulo de elasticidade, discutidos anteriormente.

Resistência ao impacto

As resistências ao impacto em função do tempo de envelhecimento UV da matriz e dos compósitos de caroá e coco com e sem revestimento com esmalte sintético estão ilustrados na Figura 66 (a) e (b).

Figura 66. a) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos não revestidos com esmalte sintético b) Resistência ao impacto em função do tempo dos compósitos revestidos com esmalte sintético



Verifica-se que os valores de resistência ao impacto das amostras sem e com revestimento e envelhecidas por radiação mantiveram-se relativamente constantes, com discreta redução nesta propriedade. A resistência à tração, módulo de elasticidade e resistência ao impacto das amostras revestidas apresentou redução menor de propriedades com o tempo de envelhecimento UV do que a dos compósitos não revestidos, confirmando a proteção dos compósitos por parte do revestimento.

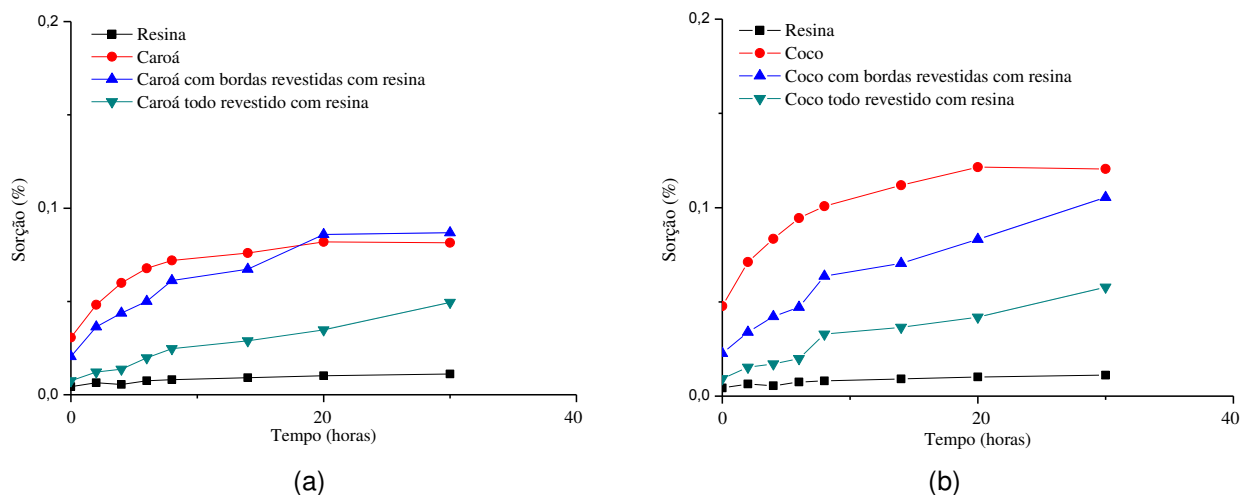
6.5 Sorção de água higrotérmico

Os gráficos da Figura 67 (a) e da Figura 67 (b) ilustram o ensaio de sorção de água higrotérmico (imersão em água fervente) dos compósitos com melhores desempenhos mecânico estudados, ou seja, compósitos com 23 % de fibra de caroá e com 23 % de fibra de coco (APÊNDICE C).

Corpos de prova, revestidos e não revestidos com esmalte sintético, tiveram suas bordas seladas com resina para evitar o contato direto da água com as fibras, evitando, assim, o fenômeno de sorção por capilaridade. As seguintes amostras de resina e compósitos foram analisadas: resina, poliéster/caroá, poliéster/caroá com bordas revestidas com resina e poliéster/caroá todo revestido com resina – Figura

67(a) - poliéster/coco, poliéster/coco com bordas revestidas com resina e poliéster/coco todo revestido com resina – Figura 67(b).

Figura 67. a) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá
b) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco



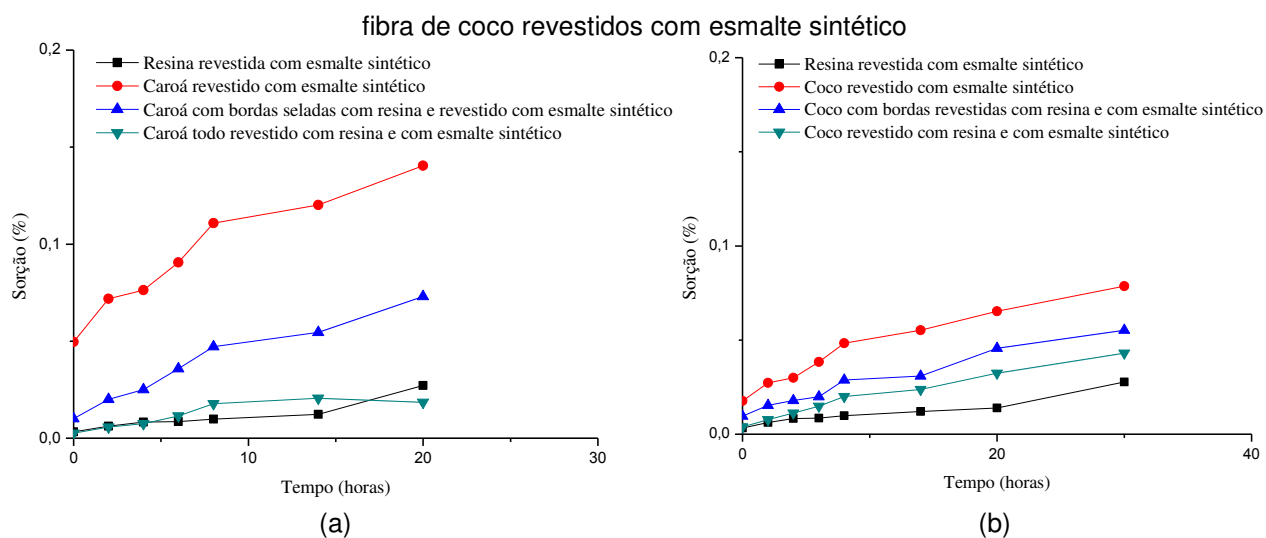
Verifica-se que, a matriz apresenta percentagem de sorção de água pouco significativa. Segundo Silva (2003), a sorção dos compósitos é pouco influenciada pela matriz. A sorção de água dos compósitos confeccionados com fibras vegetais é maior do que a da matriz, o que é atribuído tanto à presença de poros quanto à hidrofiliabilidade das fibras vegetais. Estudos anteriores, como em Nóbrega (2007), demonstraram que a sorção de água em compósitos poliéster/fibras vegetais aumenta com o teor de fibras.

Como observado anteriormente no MEV da Figura 32, as fibras vegetais além de serem higroscópicas, possuem vazios capazes de absorver umidade, logo o fato dos compósitos apresentarem maior teor de sorção em relação à matriz, já era esperado. Como esperado, que a taxa de sorção de água é mais rápida em tempos curtos, tendendo a diminuir em tempos mais longos e a estabilizar (SOBRINHO, 2005; MOTEZUKI, 2010). Verificou-se também que a sorção de água diminuiu com o revestimento do sistema com a matriz, confirmando que esta age como uma barreira protetora, retardando a difusão de umidade para o interior da peça.

Os resultados obtidos indicam que o teor de água absorvido tende a ser um pouco maior para o compósito com fibra de coco do que, para aquele com fibra de caroá, o que pode estar relacionado a diferenças no teor de celulose entre as duas fibras.

Os gráficos da Figura 68 ilustram as curvas de absorção de água das seguintes amostras: resina revestida com esmalte sintético, compósitos poliéster/caroá revestido com esmalte, poliéster/caroá com bordas revestidas com resina e com esmalte, poliéster/caroá todo revestido com resina e esmalte; poliéster/coco revestido com esmalte, poliéster/coco com bordas revestidas com resina e com esmalte, poliéster/coco todo revestido com resina e esmalte.

Figura 68. a) Teor de absorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá revestidos com esmalte sintético b) Teor de absorção da resina e dos compósitos confeccionados com



Sabe-se que as fibras naturais absorvem menos umidade quando envolvidas por alguma camada de proteção, como resina e revestimento sintético. Como esperado, os compósitos de *caroá* e coco que não foram revestidos com resina absorveram maior quantidade de água do que os demais compósitos, ou seja, aqueles que tiveram apenas suas bordas revestidas ou os que tiveram todas as faces seladas, respectivamente.

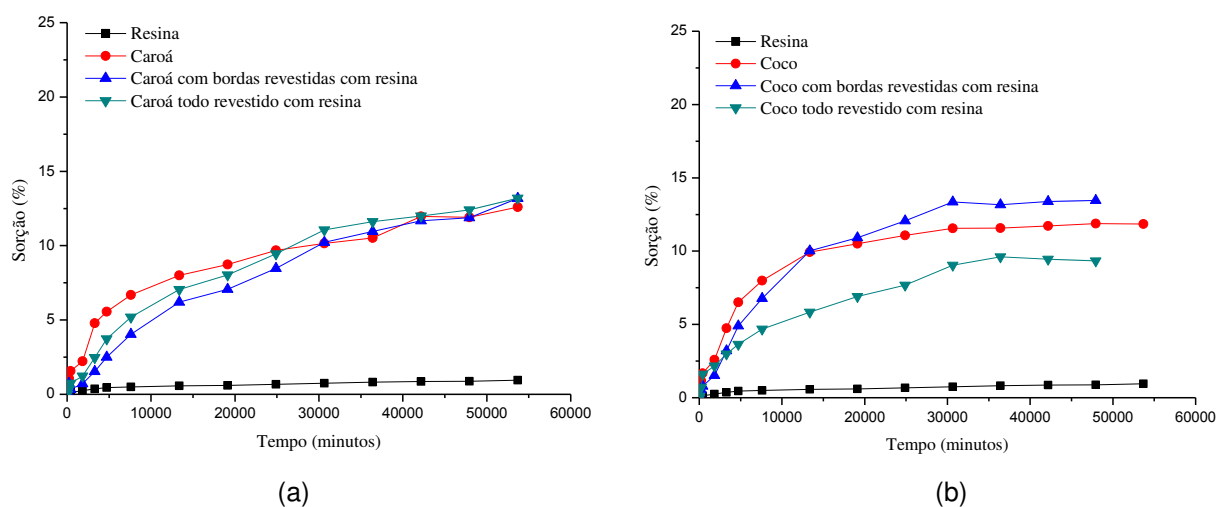
Para o caso em que houve proteção dupla, isto é, revestimento por resina e esmalte sintético, a sorção de água foi equivalente nos compósitos reforçados com fibras de caroá ou de coco. No entanto, quando o revestimento limitou-se ao esmalte sintético, a sorção de água do compósito poliéster/caroá foi nitidamente superior à do compósito poliéster/coco de mesma composição imerso em água fervente por um período de 20 minutos. O motivo para este comportamento não é claro. Acredita-se que esteja associado à porosidade, finura e teor de celulose das fibras de caroá, mas um estudo sistemático e aprofundado precisaria ser realizado para afirmar

inequivocamente os motivos para as diferenças de comportamento entre as duas fibras utilizadas nesse estudo.

6.6 Sorção de água à temperatura ambiente

Tal como para o ensaio de envelhecimento higrotérmico, o ensaio de sorção de água (APÊNDICE D) foi realizado nas mostras com melhor desempenho físico e mecânico: compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco com 23 % m/m de fibra. Os corpos de prova tiveram suas bordas seladas com resina para evitar a sorção de água por capilaridade. Inicialmente, as amostras analisadas foram: resina, caroá, caroá com bordas revestidas com resina e caroá todo revestido com resina – Figura 69 (a) -, resina, coco, coco com bordas revestidas com resina e coco todo revestido com resina – Figura 69 (b).

Figura 69. a) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá b) Teor de sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco



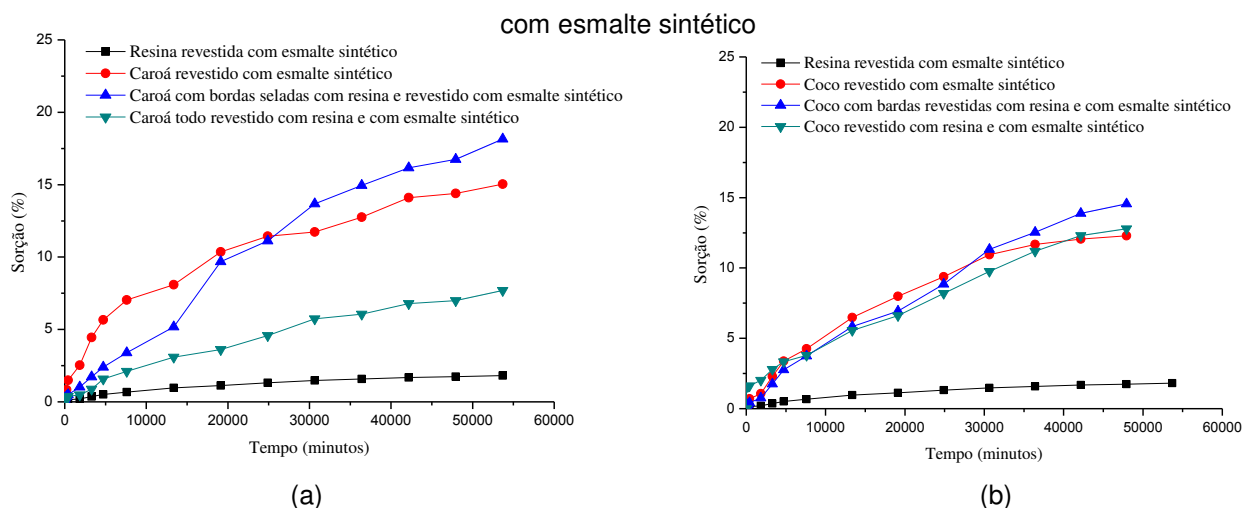
Observa-se mínima na sorção de água da matriz durante as 5500h do experimento. A sorção de água dos compósitos é bem maior, atingindo valores próximos a 12-13% ao final do experimento. A taxa de sorção inicial é elevada nos primeiros instantes de imersão, a exemplo do compósito poliéster/caroá, que absorveu 7,1 % de água e o compósito confeccionado com fibra de coco, que absorveu 8,7 % nos primeiros 1000 minutos de ensaio. A taxa de sorção diminui, tendendo ao equilíbrio em tempos mais longos de exposição. Resultados semelhantes foram reportados

por Cavalcanti (2006). O elevado número de vazios das fibras contribuem para a menor densidade, maior absorção de água, maior absorção acústica e menor condutividade térmica do compósito.

Tal como observado no ensaio higrotérmico, a sorção de água dos compósitos confeccionados com fibra de caroá é maior do que a dos compósitos confeccionados com fibra de coco. Contudo, uma pequena quantidade de umidade absorvida pode afetar o comportamento do compósito. As fibras naturais absorvem menos umidade quando envolvidas por alguma camada de proteção, como resina e revestimento sintético.

Os gráficos da Figura 70 ilustram as curvas de absorção de água das seguintes amostras: resina revestida com esmalte sintético, compósitos poliéster/caroá revestido com esmalte, poliéster/caroá com bordas revestidas com resina e com esmalte, poliéster/caroá todo revestido com resina e esmalte; poliéster/coco revestido com esmalte, poliéster/coco com bordas revestidas com resina e com esmalte, poliéster/coco todo revestido com resina e esmalte.

Figura 70. a) Sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de caroá revestidos com esmalte sintético b) Sorção da resina e dos compósitos confeccionados com fibra de coco revestidos



O teor de água absorvida pelos compósitos de caroá e coco que não foram revestidos com resina foi maior do que o dos compósitos que tiveram apenas suas bordas revestidas ou daqueles que tiveram todas as faces seladas, respectivamente. Como esperado, o revestimento limitou o teor de água absorvido pelo compósito. Esperava-se que os compósitos revestidos com esmalte sintético absorvessem menos água, porém, para alguns compósitos, resultados opostos foram observados.

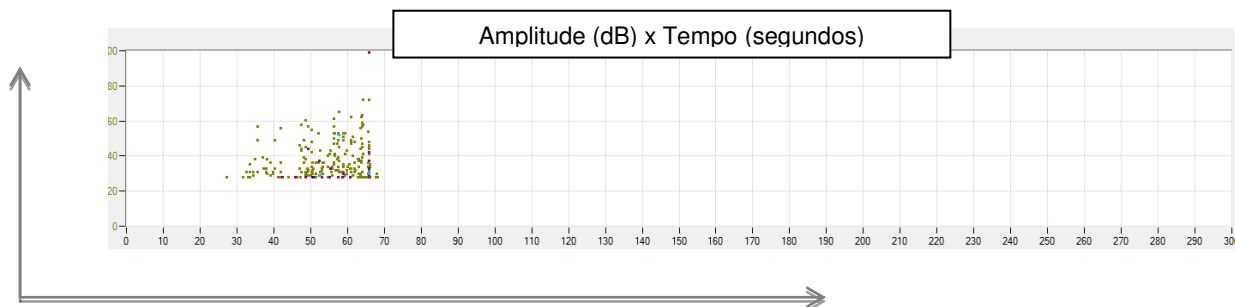
Por exemplo, o compósito de caroá sem revestimento absorveu 12,5 % de água, enquanto o compósito de caroá revestido com esmalte sintético absorveu cerca de 15 % de água ao final do ensaio. Determinados fatores são decisivos para que alguns compósitos com esmalte sintético absorvessem mais água do que os que não possuem esmalte são eles:

- a) Como os corpos de prova foram usinados manualmente a partir de placas moldadas por compressão, as amostras possuem dimensões variadas, fato comprovado através do cálculo da relação de absorção de água em função da área e volume de cada corpo de prova (APÊNDICE D);
- b) As amostras deveriam ter sido lixadas e uniformizadas antes de receber o esmalte (aplicação de *primer*, por exemplo);
- c) Falta de padronização na espessura do esmalte sintético, já que este foi feito de forma manual sem controle dimensional;
- d) Falta de adesão do esmalte no corpo de prova, já que, com o passar do tempo, o esmalte pode vir a soltar-se da superfície da amostra, não garantindo a real absorção de água por parte do compósito.

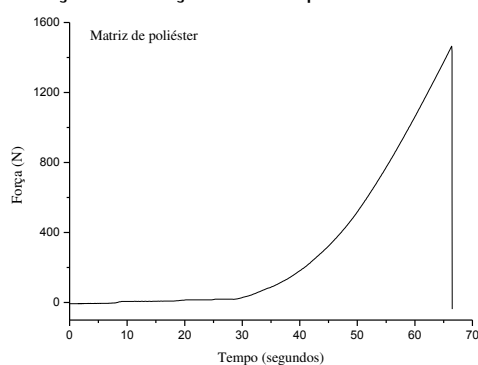
Os fatores que influenciaram o ensaio de sorção de água dos compósitos revestidos com esmalte fizeram com que os resultados de sorção de água não fossem confiáveis, porém, eles servem como estudos preliminares para ensaios futuros.

6.7 Emissão acústica

A Figura 71 apresenta a distribuição de tempo em segundos em função da amplitude em decibéis para a matriz de poliéster. Nota-se que as atividades de emissão acústica iniciam em 30 segundos com amplitudes próximo a 20 dB, os *hits* (“*hit*” é o sinal gerado pelos sensores – cada ponto no gráfico interpreta a máxima amplitude da forma de onda gerada no sensor) ficam mais intensos por volta de 65 segundos, chegando a 100 dB. O registro máximo de 100 dB para todos os gráficos de emissão acústica apresentados neste trabalho pode estar associado a um dispositivo de segurança de proteção devido a elevada quantidade de decibéis.

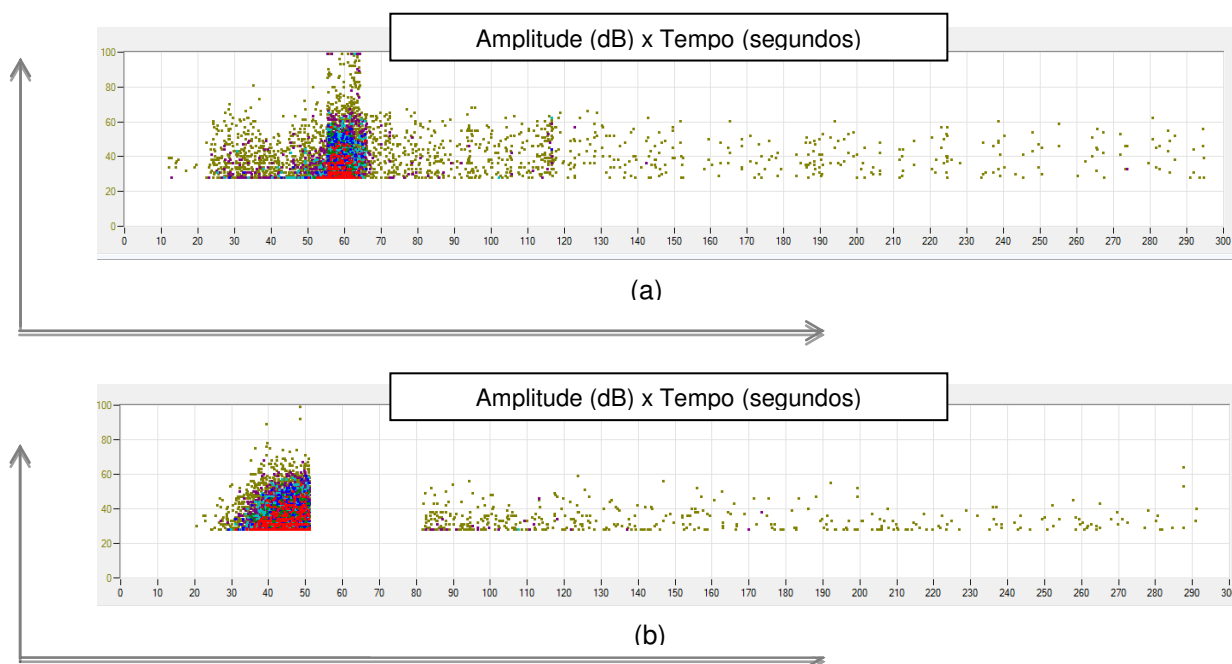
Figura 71. Emissão acústica da matriz de poliéster

Nota-se coerência entre os gráficos de emissão acústica e o gráfico de resistência a tração (N) em função do tempo para a matriz de poliéster (Figura 72). Ambos iniciam o ensaio em 30 segundos, apresentam tensão máxima por volta de 65 segundos e logo após ocorre à ruptura do material.

Figura 72. Força em função do tempo da matriz de poliéster

As imagens da Figura 73 ilustram graficamente a distribuição no tempo para as atividades de emissão acústica para os compósitos com 13 e 40 % de fibra de caroá.

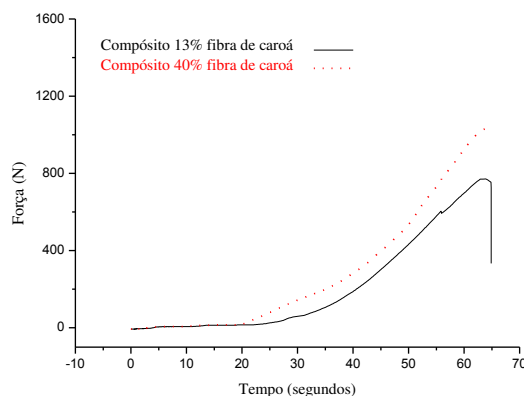
Figura 73. Emissão acústica do compósito com a) 13% de fibra de caroá b) 40% de fibra de caroá



Observa-se que tanto para o compósito para 13 % quanto para o de 40 % de fibra de caroá a atividade acústica inicia-se com poucos sinais e baixa amplitude, por volta de 20 segundos de ensaio e atinge índice de amplitude de 40 dB. A maior concentração de *hits* se dá em 100 dB, alcançada pelos compósitos por volta de 65 (13 % caroá) e 50 (40 % caroá) segundos.

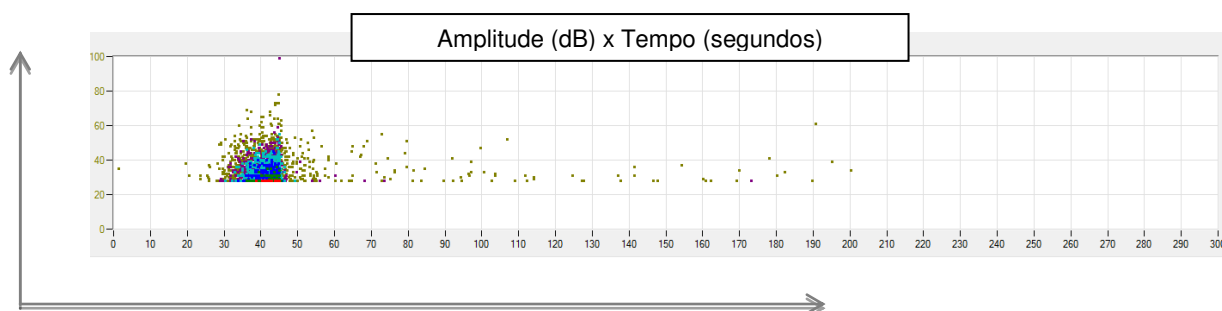
Comparando os gráficos de emissão acústica com os de resistência a tração em função do tempo (Figura 74), observa-se que ambos apresentam força máxima por volta de 65 e 50 segundos para os compósitos com 13 e 40 % de fibra de caroá, respectivamente. Nos gráficos de força x tempo, nota-se que a ruptura dos corpos de prova acontece por volta de 67 (13 %) e 57 (40 %) segundos, diferente do que indicam os gráficos de emissão acústica, onde se observam *hits* após este tempo. É possível que os *hits* registrados estejam associados tanto à energia armazenada dissipada ao longo do tempo como também a rompimentos das microfibrilas. Estudos mais aprofundados e sistemáticos necessitam ser realizados antes que qualquer conclusão a esse respeito possa ser alcançada.

Figura 74. Força em função do tempo dos compósitos com 13 e 40 % de fibra de caroá

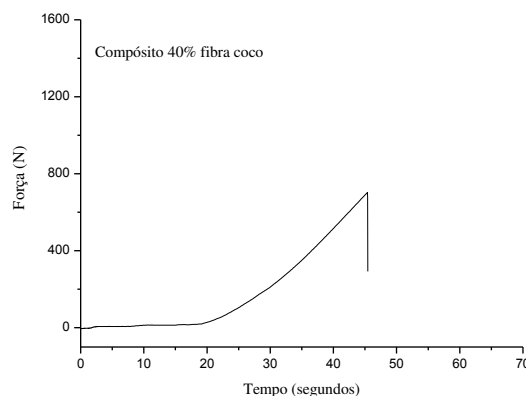


A Figura 75 apresenta a distribuição de tempo em segundo em função da amplitude em decibéis para o compósito com 40 % de fibra de coco. Tal como para os compósitos de caroá (13 e 40 %), o compósito de coco iniciou sua emissão acústica por volta de 20 segundos com amplitude de 40 dB. Para o compósito com 40 % de fibra de coco, a emissão acústica máxima (100 dB) ocorre por volta de 45 segundos.

Figura 75. Emissão acústica do compósito com 40% de fibra de coco



Associando o gráfico de emissão acústica com o de força em função do tempo (Figura 76), nota-se que a força máxima ocorre por volta de 45 segundos e a fratura do corpo de prova ocorre 47 segundos após o início do ensaio. Assim como para a amostra com 13 e 40 % de fibra de caroá, observam-se no gráfico de emissão acústica *hits* após a fratura da amostra.

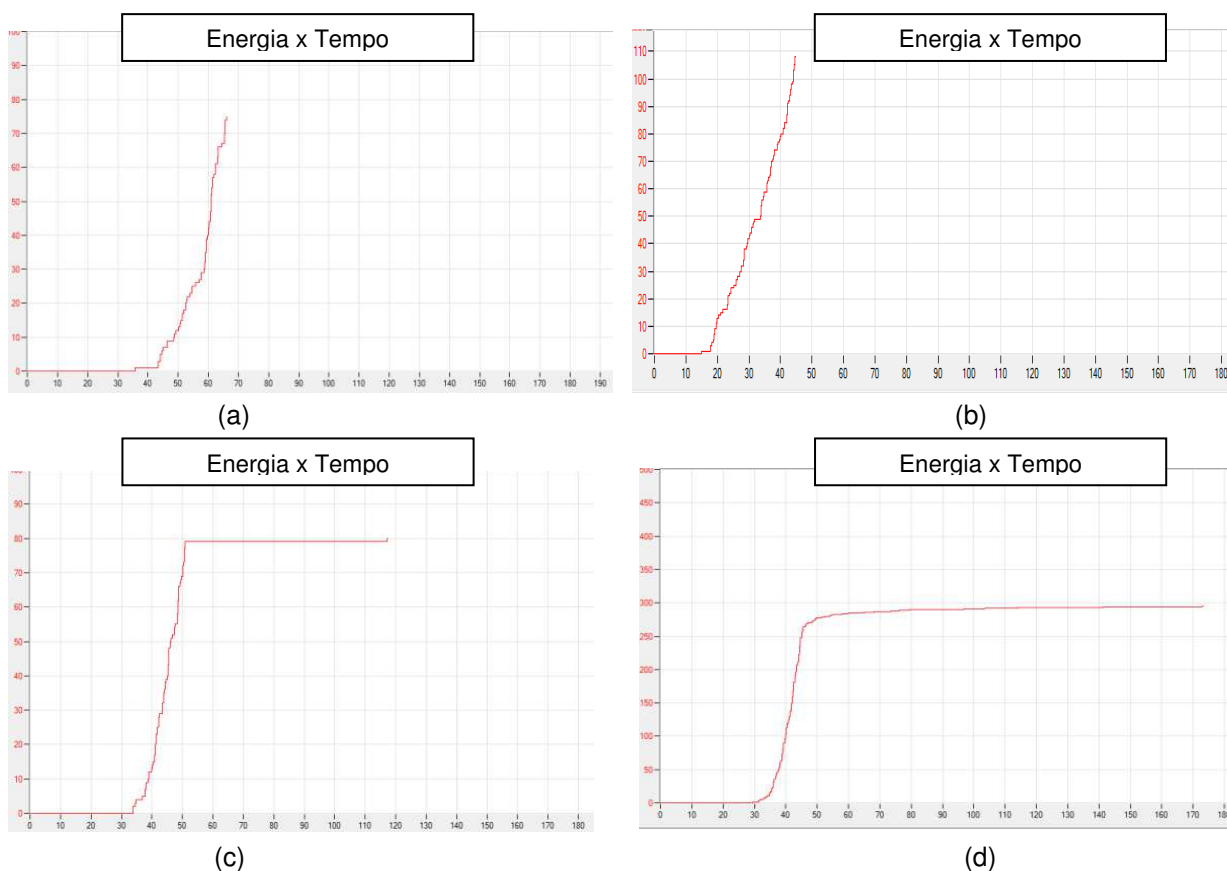
Figura 76. Força em função do tempo compósito com 40% de fibra de coco

Comparando o compósito confeccionado com 40% de fibra de caroá com o confeccionado com 40% de fibra de coco, observa-se que o de caroá rompe em tempos mais longos e que o compósito de caroá possui resistência mais elevada do que o de coco com mesmo teor de fibra, 27,26 e 11,73 MPa (Figura 34), o que justifica o tempo mais prolongado para o rompimento da amostra de caroá.

No geral observa-se que os gráficos de emissão acústica dos compósitos apresentam maior número de *hits* do que o gráfico da matriz polimérica. Acredita-se que esse comportamento possa ser atribuído ao deslocamento da interface, delaminação e ao maior número de percurso de trincas ocorridas nos compósitos.

As energias geradas durante as deformações no corpo de prova estão ilustradas nas imagens da Figura 77. Segundo Teófilo (2013), nesse tipo de gráfico quando a curva do gráfico esta paralela ao eixo das abcissas significa que se tem uma situação estável e sem propagação de defeitos (a linearidade da curva é causada por sinais de mesma intensidade). Segundo Moura (2012) apud Teófilo (2013), quando a curva se mostra exponencial ou com picos verticais aleatórios existe a indicação da propagação instável da trinca no material.

Figura 77. Energias de emissão acústica para a deformação durante tensionamento a) matriz b) 13% fibra de caroá c) 40% fibra de caroá d) 40% fibra de coco



Para a matriz (Figura 77 a), observa-se que os primeiros índices de energia ocorrem por volta de 30 segundos, após esse acontecimento há um aumento abrupto de energia em torno de 70 segundos culminando com a ruptura do material. A energia de emissão do compósito com 13 % de fibra inicia-se próximo há 20 segundos e, assim como na matriz, ocorre um aumento de energia seguido do rompido da amostra em 45 segundos. Nos compósitos com maiores teores de fibras (40% de fibra de caroá e coco, respectivamente), observam-se primeiros sinais de energia por volta de 45 segundos, após esse acontecimento tem-se certa constância.

Os gráficos de energia de emissão acústica sugerem que os compósitos com maiores teores de fibras apresentam propagação estável de trincas devido a uma melhor distribuição de tensões nos compósitos. A técnica parece ser promissora e sensível aos efeitos do tipo de fibra e possivelmente ao tipo de matriz no mecanismo de fratura de compósitos poliméricos.

7. CONCLUSÕES

- As resistências à tração e à flexão dos compósitos tenderam a aumentar com o teor de fibras exceto para elevados teores, indicativo de maior dificuldade de molhamento ou possível agregação das fibras;
- Propriedades mecânicas otimizadas foram obtidas para compósitos contendo 23 a 30 % m/m de fibras;
- A resistência à tração e à flexão dos compósitos confeccionados diminuiu com o tempo de exposição térmica. A presença dessas fibras acelerou o processo de degradação térmica dos sistemas e a degradação do compósito provocou redução da capacidade de reforço da fibra e quebra da aderência com a matriz;
- Os valores de resistência ao impacto das amostras sem revestimento e envelhecidas por ciclo térmico/UV/umidade mantiveram-se relativamente constantes, enquanto os das amostras revestidas apresentaram discreta redução em relação às amostras não revestidas com esmalte sintético;
- O ensaio de envelhecimento acelerado por ciclo térmico/UV/umidade causou redução na resistência à tração, módulo de elasticidade na tração e resistência ao impacto com o tempo de exposição. O recobrimento superficial minimizou os danos causados pelo envelhecimento em todas as amostras (matriz e compósitos);
- Os ensaios de sorção de água por imersão higrotérmica e na temperatura ambiente demonstram que a sorção das amostras revestidas superficialmente (pintadas) foi menor do que a de compósitos equivalentes cujas superfícies não foram pintadas;
- A sorção de água na temperatura ambiente dos compósitos confeccionados com fibra de coco foi menor do que a dos compósitos confeccionados com fibra de caroá;
- O ensaio de emissão acústica demonstrou maior número de *hits* por parte dos compósitos em relação à matriz polimérica, atribuídos ao deslocamento da interface, delaminação e também devido o maior número e percurso de trincas ocorridas nos compósitos.

- Os compósitos com 23% de fibra de caroá e com 23% de fibra de coco são opções para serem aplicados em mobiliários, painéis e divisórias de ambiente, principalmente pelo fato destes compósitos apresentarem menor impacto ambiental, já que são confeccionados com fontes renováveis e vegetais.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudo da influência da orientação das fibras nas propriedades mecânicas dos compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Comportamento de compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco frente à: cola, acabamento e perfuração;
- Estudo de abrasão dos compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Estudo da biodegradação em solo simulado dos compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Efeitos de tratamentos superficiais das fibras nas propriedades de compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Efeitos do teor de água absorvida nas propriedades mecânicas de compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Efeitos do envelhecimento térmico no teor de água absorvida e propriedades mecânicas de compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Estudo do ataque químico nos compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco;
- Emissão acústica em função do tipo de matriz, tipo de fibra e adesão dos compósitos poliéster/caroá e poliéster/coco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADMS, R. D.; COMYN, J.; WAKE, W.C. **Structural adhesives joints in engineering**. 2nd ed., London: Chapman & Hall, 1997, 268 p.
- AGARWAL, B. D. e BROUTMAN, L. J. **Analysis and performance of fiber composites**, 3rd ed., EUA: John Wiley & Sons, 1990, 323 p.
- AGOPYAN, V. e JOHN, V.M. Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. **Building Research & Information**, v.20, n.4, p. 233-235, 1992.
- ALBUQUERQUE NETO, J. R.; CARVALHO, L. H.; ARAÚJO, E. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de juta. **Revista Polímeros**, v.17, n. 1, p. 10-15, 2007.
- ALSINA O.L.S, CARVALHO L.H.D, FILHO F.G.R, ALMEIDA J.R.M.D. Thermal properties of hybrid lignocellulosic fabric-reinforced polyester matrix composites. **Polymer Testing**, v. 24, n. 1, p. 81-85, 2005.
- ALVAREZ, V.; LANNONI, A.; KENNY, J.; VAZQUEZ, A. Influence of twin-screw processing conditions on the mechanical properties of biocomposites. **Journal of Composites Materials**, v.39, n.22, p. 2023-2038, 2005.
- ALVAREZ, V.; VÁZQUEZ A. Thermal degradation of cellulose derivatives/starch blends and sisal fibre biocomposites. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v.84, n.1, p.13-21, 2004.
- ALVES, R. E. **Caracterização de fibras lignocelulósicas pré-tratadas por meio de técnicas espectroscópicas e microscópicas ópticas de alta resolução**. 2011. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 256-04: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2004.
- _____ASTM D 3039 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. Philadelphia, 2008.
- _____ASTM D 3045. Standard Practice for Heat Aging of Plastics Without Load, West Conshohocken, 2010.
- _____ASTM D 3878-95: "Standard Terminology for Composite Materials", Philadelphia, 1995.

____ASTM D 5229 -01: Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, 2014.

____ASTM D 790-03: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, 2003.

____ASTM G 53: Standard Test Method for Operating Light – and Water Exposure Apparatus (Fluorescent UV- Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials. Philadelphia, 1996.

ASTM D 5229 -01: Standard test method for moisture absorption properties and equilibrium conditioning of polymer matrix composite materials. U.S., 1992.

ANDERSON, T. L. **Fracture mechanics: fundamentals and applications**, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 1995, 640p.

ANGRIZANI, C. et al. Influencia da espessura nas propriedades mecânicas de compósitos híbridos interlaminares de curauá/vidro/poliéster. **Revista Polímeros**, v.24, n. 2, 184-189, 2014.

AQUINO, E. M. F. ; OLIVEIRA, J. F. S. ; FREIRE JUNIOR, R. C. S. . Coremat: influência na absorção de umidade e rigidez em compósitos poliméricos. In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador. Anais...Salvador: CONEM, 2008, v. 01, p. 01-10.

ARAGÃO, W. M.; SANTOS, V. A. J.; ARAGÃO, F. B. **Produção de fibra de cultivares de coqueiro**. Comunicado Técnico, Aracaju: Embrapa, v.1-4, n.36, p.4, 2005.

ARAÚJO, C. R.; PERLAZA, L.; MOTHÉ, C.G. Thermal properties of commercial and castor oil polyurethane and composites with curauá Fiber. **Anais international Symposium on Natural Polymers and Composites**, São Carlos – SP, p.547-550, 2002.

AVENA, A. e BUNSELL, A. R. Effect of Hydrostatic pressure on the water absorption of glass fibre-reinforced epoxy resin, **Composites**, France, v. 19, n.5, p. 355-357, 1988.

AYRILMES, N. J et al. Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications. **Fibers and Polymers**, v. 12, n.7, p. 919-926, 2011.

BARBOSA, A. P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras longas de buriti**. 2009. 141f. Doutorado (Tese em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro Campos dos Goytacazes.

BARBOSA, A.P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti**. 2011. 141p. Tese (Doutorado Engenharia e Ciências dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos de Goytacazes- Rio de Janeiro.

BEDIN, M.G. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco in natura e modificada**. 2014. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) Centro de Ciência e Tecnologia Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos de Goytacazes- Rio de Janeiro.

BELTROMI, L. V.; SCIENZA, L. C.; ZATTERA, A. J. Efeito do tratamento alcalino de fibras de curauá sobre as propriedades de compósitos de matriz biodegradável, **Polímeros**, v. 24, n. 3, p. 388-394, 2014.

BRAHMAKUMAR, M.; PAVITHRAN, C.; PILLAI, R. M. Coconut fibre reinforced polyethylene composite: effect of natural wax layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. **Composites Science and Technology**, v. 65, n.1, p. 563-569, 2005.

CALLISTER, W.D. **Materials science and engineering: an introduction**. 5th ed. USA: John Wiley and Sons, Inc, 2007, 692 p.

CANEVAROLO, J. S. V. **Ciência dos Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006, 184p.

CARDOSO, P.; BASTIAN, F.; THIRÉ, R. Produção de laminados compósitos de epóxi/fibras de curauá. **Anais 12º Congresso Brasileiro de Polímeros – Florianópolis – SC**, P. 1-4, 2013.

CARVALHO, K.C.C.; MULINARI, D.R.; VOORWALD, H.J.C.; CIOFFI, M.O.H. Chemical modification effect on the mechanical properties of HIPS/coconut fiber composites. **Bioresource Technology**, v.5, n. 2, p.1143-1155, 2010.

CARVALHO, L .H. Chemical modification of fibers for plastics reinforcement in composites, **1st International Lignocellulosics Plastics Composites**, p.197-222, 1996.

CARVALHO, L. H. e CAVALCANTI, W. S. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 33-37, 2006.

CARVALHO, L. H; PINTO, M.R.O.; PAIVA JÚNIOR, C.Z. Tensile properties of sisal reinforced polyurethane. **Proceedings of the International Symposium on Natural Polymers and Composites**, São Pedro - SP, p. 542-546, 2002.

CASTRO, D.; FROLINE, E.; MARINI, J.; RUVOLO, A. Preparação e caracterização de biocompósitos baseados em fibra de curauá, biopolietileno de alta densidade (bpead) e polibutadieno líquido hidroxilado (PBHL). **Polímeros**, São Carlos, v. 23, n. 1, p. 65-73, 2013.

CAVALCANTE, J. M. **Desenvolvimento de um processo de incorporação de fibras alinhadas e contínuas de juta em matriz termoplástica e caracterização dos compósitos**. 2008. 137f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CAVALCANTI, W. S. **Compósitos poliéster/tecidos tramados vegetal/vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água**. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CAVALCANTI, W. S. **propriedades mecânicas de compósitos poliéster/juta: efeito de tratamentos superficiais, envelhecimento térmico e absorção de água**. 2000, 107f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

CHAND, N.; HASHMI, S.A.R. Mechanical properties of sisal fibre at elevated temperatures. **Journal of Materials Science**. v. 28, n.24, p.6724-6728, 1993.

CLEMONS, C. e CAULFIELD, D. **Natural fibers**. 11th ed. Germany: Wiley-VCH, 2005, 141 p.

Cooperativas organizadas da Embrapa, Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 4 jun. 2011.

CORDEIRO, G. C. **Concreto com fibras**, 2014. Notas de aula.

CORRADINI, E. et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009.

- CORREIA, E. A. S. **Compósitos de matriz geopolimérica reforçados com fibras vegetais de abacaxi e sisal**. 2001.116f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- COUTTS, R. S .P. A Review of australian research into natural fibre cement composites. **Cement e Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 518–526, 2005.
- D'ALMEIDA, J. R. M. Propriedades mecânicas de fibras de juta. **Ciência e cultura**, v. 39, n.11, p.1025-1032, 1987.
- DALTRO, N. R. **Desenvolvimento de um laminado compósito híbrido a base de fibra de vidro / licuri**. 2011. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal.
- DE PAOLI, M.A. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2 ed. São Paulo : Chemkeys, 2008, 218p.
- DI CAMPOS.M. S. **Placas planas à base de cinza de cama sobreposta de suínos e fibra de sisal para piso de escamoteadores com diferentes fontes de aquecimento**. 2010. 156f. Doutorado (Tese em Zootecnia) Universidade de São Paulo – Pirassununga.
- Elekeiroz: Sustentabilidade e ótima performance. Disponível em: <<http://www.elekeiroz.com.br/resinas/default.aspx>>. Acesso em: 5 fev. 2011.
- ESGALHADO. H ; ROCHA. A. **Materiais plásticos para a construção civil características e tipos de aplicação**, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2002.
- FENGEL, D. WEGNER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reaction**. 1st ed., New York, 1993, 613p.
- FONTOURA, C. M. **Desenvolvimento de hélice de material compósito polimérico utilizando moldagem por transferência de resina**. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.
- FRANÇA, M. L. **Obtenção e avaliação de um compósito usando fibra de caroá (Neoglaziovia variegata) e matriz fenólica com pet pós-consumo**. 2012. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

- GASSAN, J.; BLEZKI, A.K. Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres. **Composites Science and Technology**, v.59, n.9, p.1303-1309. 1999.
- GEETHAMMA, V.G.; MATHEW, K.T.; L.; THOMAS, S. Composite of short coir fibre and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre. **Polymer**, v.39. n.6/7, p.1483-1491. 1998.
- GEORGE, J.; SABU, T. Short fiber reinforce plastic composites. **N. P. CHEREMISINOFF, Handbook of Engineering Polymeric Materials**, New York: Marcel Dekker, Inc, p. 811-838, 1997.
- GOH, K. L.; ASPEN R.M.; HUKINS, D. W. L.Review: Finite element analysis of stress transfer in fiber composite materials. **Science Technology**, v. 64, n.9, p.1091-1100, 2004.
- GONÇALVES, J. A. V. **Compósito a base de resina epóxi reforçados com fibra de coco**. 2010. 52f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade Federal de Sergipe. São Cristovão.
- GOWDA, T.; M.; NAIDU, A. C. B.; CHHAYA, R. Some Mechanical properties of untreated jute fabric-reinforced polyester composites. **Journal of Composite Part A: Applied Science and Manufacturing**, v.30, n.3, p. 277-284, 1999.
- GREENBERG, A. R. et al. **Journal of Materials Science**, v.24, p.2549-2554. 1989.
- GUIMARÃES, J. L. et al. Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. **Carbohydrate Polymers**, v.80, n.1, p.130–138, 2010.
- HARPER, C. A. **Handbook of materials for product design**. 1st ed., New York: McGraw-Hill, 2001, 1000 p.
- HILL, Stephen. **Cars that grow on trees**. New Scientist, v.2067, n. 1, p, 36-39, 1997.
- ISHAK, M. et al.Characterization of sugar palm (Arenga pinnata) fibers, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry** . v. 109, n. 2, p. 981-989, 2012.
- JAYABAL, S.; NATARAJAN, U. Influence of fiber parameters on tensile, flexural, and impact properties of nonwoven coir–polyester composites. **The International Journal of Advanced Manufacture Technology**, v.54, n.5-8, p.639-648, 2011.

JOHN, M. J.; SABU, T. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v.71, n.3, p.343-364, 2008.

JOSEPH, K. et al. Tensile Properties of short sisal fiber - reinforced polyethylene composites, **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v.47, n.10, p.1731-1739, 1993.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, S. E.; CARVALHO, H. L. Compósito de matriz poliéster reforçados por fibra de sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.9, n.4, p.136-141, 1999.

JUÁREZ, C.; DURÁN, A.; VALDEZ, P.; FAJARDO, G. Performance of “*agave lecheguilla*” natural fiber in portland cement composites exposed to severe environment conditions. **Building and Environment**, v. 42, n.3, p. 1151-1157, 2007.

KALAPRASAD, G.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Influence of short glass fiber addition on the mechanical properties of sisal reinforced low density polyethylene composites. **Journal of Composites Materials**. Lancaster, v.31, n.5, p.509-527, 1997.

KERSTING, D. F. **Avaliação de resinas epóxi para fabricação de materiais compósitos pelo processo de pultração**. 2004. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.

KLEBA, I.; ZABOLD, J. Poliuretano com fibras naturais ganha espaço na indústria automotiva. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, v. 1, n.75, p.88-89, 2004.

LARANJEIRA, E. **Propriedades de compósitos poliéster/juta. Influência da adição de carga mineral nanoparticulada e sistema antichama**. 2004. 180p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

LEÃO, A.L., TAN, I.H., CRASCHI, J.C., “Curaua fiber – A tropical natural fibers from Amazon - Potential and Application in Composites”, In: International Conference on Advanced Composites, p. 557–564, Hurgada, Egito, 1998.

LI, X.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review. **Journal Polymer Environmental**, v. 15, n.1, p. 25–33, 2007.

- LIAO, K.; TAN, E. Y. M. Tensile strength degradation of glass fiber. PolymerComposite. **Scripta Materialia**, v.44, n.5, p. 785-789, 2001.
- LIN, T. L; JANG, B. Z. Fracture behavior of hybrid composites both short and continuous fibers. **Polymer Composites**, v.11, n.5, p.291-300, 1990.
- LOOS, A. C., SPRINGER, G. S. **Effect of thermal spiking on graphite / epoxy composites**, Journal Composite Materials, v.13, n.1, p.17-34, 1979.
- LOPES, F. F. M. **Desempenho e durabilidade de fibras vegetais modificadas superficialmente e submetidas a meios ácido e alcalino**. 2009. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- MADSEN, B. **Properties of plant fibre yarn polymer composites – An Experimental Study**. Technical University of Denmark. Lyngby: BYG-DTU, 2004, 206 p.
- MALLICK, P. K. **Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design**. Marcel Dekker, 1st ed., New York, 1993, 566 p.
- MALUF, E. Câmara simula envelhecimento de plásticos ao Sol. Disponível em: <http://www.bakelitsul.com.br/bakelitnews_int.php?id=395> Acesso em: jun. 2012.
- MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. Edigard Blucher, 2. ed., São Paulo, 1986, 191p.
- MANZINI, E. e VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, 357 p.
- MARINELLI, A.; MONTEIRO, M.; AMBRÓSIO, J. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.
- MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos - fundamentos e tecnologia**, 1st ed., São Paulo, Editora: Artliber Ltda, 2011, 333 p.
- MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. **Evolução da produção de coco no brasil e o comércio internacional – panorama 2010**, 1st ed., Aracaju, Embrapa, 2011, 28p.

MEDEIROS, E.S.et al. curing behavior of a novolac-type phenolic resin analyzed by differential scanning calorimetry. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 90, n.6, p.1678-1682, 2003.

MEGIATTO JUNIOR, J. D. **Fibras de sisal: estudo de propriedades e modificações químicas visando aplicação em compósitos de matriz fenólica**. 2006. 272f. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Químicas) Universidade de São Paulo. São Carlos.

MENDES, J. et al. Uso da fibra do coco como isolante térmico.1 st ed, Natal, SIENTEX, 2000, 21p.

MERDAS, I. et al. factores governing water absorption by composite matrices, **Composites Science and Technology**, v. 62, n. 4, p. 487-492, 2002.

MISHRA, S. et al. Effect of Process Engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites, **Composites Part A- Applied Science and Manufacturing**, v. 35, n.3, p.363-370, 2004.

MONTEIRO, D.F. et al. Caracterização por TG/DTG e DTA dos compósitos poliméricos obtidos a partir de PP reciclado e resíduos de folhas vegetais. **IX Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria** - Serra Negra – SP, 2014.

MONTEIRO, S. N.; LOPE'S, F. P.D. Ensaio em Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras. **62º Congresso Anual da ABM**. Vitória – ES, p.871-879, 2007.

MONTEIRO, S.; AUINO, R.; LOPES, F.; CARVALHO, E. d'ALMEIDA, R. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, p. 197 – 203, 2006

MOTUZUKI, J. E. **Influência da nanoargila no envelhecimento higrotérmico de compósitos de polipropileno/ PP maleado/ fibra de vidro**. 2010, 172p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade de São Carlos, São Paulo.

MOTHÉ, C. G.; ARAÚJO, C. R. caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.14, n. 4, p.274-278, 2004.

MOTTA, L. C. **Melhoria do desempenho de fibras de coco e sisal para reforço de matrizes cimentícias através de tratamento termomecânico e impregnação de resinas.** 2005. 133f Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica. São Paulo.

MURRAY, N. P. **Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibras de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato.** 2001 Tesis del Doctorales. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

NICOLAI, F.N. **Material compósito de matriz esterevinílica reforçado com fibras naturais de sisal e coco e com fibra de vidro a ser aplicado no design da engenharia naval.** 2007, 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual de Minas Gerais. Belo Horizonte.

NÓBREGA, M. **Compósito de matriz poliéster com fibras de caroá neoglazióvia variegata: caracterização mecânica e sorção de água.** 2007, 123f, Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.

NÓBREGA, M.M.S. et al. Tensile and impact properties of macambira and caroá fiber reinforced unsaturated polyester composites. **International Conference on Science e Technology for Sustainable Development.** New Delhi, 2006.

OGAH, A.O.; AFIUKWA, J.N.; ENGLUND, K. Characterization and comparison of thermal stability of agro waste fibers in bio-composites application, **Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research**, v. 1, n.2, p. 84-93, 2014.

OLIVEIRA, A. K. F. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos.** 2011.246f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais) Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, A.K.; D'ALMEIDA, J. Caracterização da fibra de tururi como elemento para fabricação de eco-compósitos, In: **Anais 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design** – São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, J. **Estudo da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos.** 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

- OLIVEIRA, R. G.; TEIXEIRA, D. E. caracterização de aglomerado com fibras de coco de babaçu e resinas sintéticas. In: **Anais da 58ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência** – Florianópolis - SC, 2006.
- OUDIANI, A. E.; CHAABOUNI, Y.; MSAHLI, S.; SAKLI, F. Crystal Transition from Cellulose I to Cellulose II in NaOH Treated Agave Americana L. Fibre. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n.3, p. 1221–1229, 2011.
- PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Matriz termofixa fenólica em compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.9, n.2, p.78-87, 1999.
- PAIVA, L. O. **Modificação de fibras de coco com nanopartículas de polianilina úteis como sensores de pressão**. 2010. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de casca de coco (*cocos nucifera*) verde: obtenção de partículas**. 2005. 166f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- PAULA, C.M.S. **Estudo da influencia do tratamento químico de fibras de sisal na resistência mecânica de compósitos sisal/epóxi**. 1996. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- PAULA, P.G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- PEIXOTO, R.M. **Mastite em pequenos ruminantes: etiologia, fatores de risco, diagnóstico e sensibilidade aos agentes antimicrobianos e extratos de plantas**. 2009, 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina.
- PEREIRA, A. M. **Determinação de parâmetros da qualidade para a avaliação de revestimentos superficiais de telhas cerâmicas**. 2006.107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

- PEREIRA, D.D. **O Caroá neoglaziovia variegata mez no cariri paraibano: ocorrência, antropização e possibilidades de manejo no assentamento Estrela D'Alva**. 2003. 282f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Estadual da Paraíba. João Pessoa.
- PERREUX, D.; SURI, C., A. Study of the coupling the phenomena of water absorption and damage in glass/epoxy composite pipes. **Composites Science and Technology**, v. 57, n.9-10, p. 1403-1413, 1997.
- POTHAN, L.A.; THOMAS, S.; GEORGE, J. Tensile and impact properties of banana fibre/glass fibre hybrid polyester composites. In: **Annual Meeting of the Polymer Processing Society**, Holanda. Proceedings... 1CD-ROM, 1999.
- PRETO, R. A. **Estudo experimental do comportamento mecânico de compósitos em fibras de basalto**. 2013. 93f. Dissertação (Mestrado Integrado em engenharia Mecânica) Lisboa – Portugal.
- RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. 2011. 148f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósito de matriz fenólica e lignofelólica**. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Ciência Físico-química) Universidade de São Paulo. São Carlos – SP.
- REDDY, N.; YIGI, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. **ROYAUME-UNI: Royal Society of Chemistry**, v.7, n.4, p.190-195, 2005.
- REDDY, N.; YIGI, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks. **Bioresource Technology**, v.100, n.14, p.3563-3569. 2009.
- RIBEIRO, M. B. **A potencialidade do semi-árido brasileiro**. 1st ed., Brasília: Revan, 2007, p.121-136.
- ROCHA, E. V. **Desenvolvimento de fibras de curauá modificadas com polianilina**. 2010. 45f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Metalúrgica) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- RODRIGUES, L.P.S. **Efeitos do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. 2007.114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

ROSA, C.; MOREIRA, D.; BILCATI, G. **Estudo das propriedades físicas da fibra de Curauá**. In: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012, Belém. Anais..., 2012.

ROSA, M. F. et al. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de cascas de coco verde**. Comunicado Técnico 1st ed., Fortaleza: Embrapa, 2001, 61p.

ROUISSON, D. et al. Water Absorption of Hemp Fiber/Unsaturated Polyester Composites, **Polymer Composites**, v.26, n.4, p.510-524, 2005.

ROWELL, R. M. et al. **Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities**. 1st ed., Wisconsin: Forest Products Laboratory, 1997, 28p.

SÁ, M.C.A. et al. Antimicrobial activity of Caatinga biome ethanolic plant extracts against gram negative and positive bacteria. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 18, n.2 , p.62-66, 2011.

SABARIZ, A. Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica Reforçada com Fibras Vegetais. In: **17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2006**, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, v.1, p. 1-5.

SALAZAR, V. L. P.; LEÃO, A. L. Life Cycle Assessment of Automobile Setas Based on Coconut Fiber and Latex. In: **International Symposium on Natural Polymers and Composites**, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: UNESP/EMBRAPA/USP, 2002, p.484-487.

SALOMÃO, R. et al. Efeito de Fibras Poliméricas na Permeabilidade de Concretos Refratários. **Cerâmica**, São Paulo, v. 49, n. 309, p.23-28, 2003.

SAMPAIO, E. V. S.; GAMARRA-ROJAS; C. F. L. e ARAÚJO, M. S. B. Especialização do Uso da Vegetação Nativa no Semi-Árido Nordeste. In: **IX Seminário Sobre a Viabilização do Semi-Árido**, 2003, Recife. Anais... Recife: UFPE/SEBRAE, 2003, p. 39.

SANTOS, A. M. **Estudo de Compósitos Híbridos Polipropileno / Fibras de Vidro e Coco para Aplicações em Engenharia**. 2006. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SAO, K. P., SAMANTARAY, B. K., BHATTACHERJEE, S. X-ray Study of Crystallinity and Disorder in Ramie fiber. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 52, n. 12, p. 1687-1694, 1994.

- SAVASTANO, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Fibras Vegetais para Fins de Obtenção de Material de Construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.
- SELVAM, A., NAIR, N. G., SINGH, P. Synthesis and Characterization of SiC Whiskers from Coconut Shells. **Journal of Materials Science Letters**, v. 17, n.1, p. 57-60, 1998.
- SHARMA, P.; KUMARI, P.; SRIVASTAVA, M. M.; SRIVASTAVA, S. Removal of cadmium from aqueous system by shelled *Moringa oleifera* Lam. Seed powder. **Bioresource Technology**, v.97, n.1, p.299-355, 2006.
- SILVA, A. C. **Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose**. 2002. 145f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP. São Paulo.
- SILVA, C. A.D. **Compósitos de polipropileno reforçados com fibras de sisal para uso na indústria automobilística**. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) Universidade de São Paulo – São Paulo.
- SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. 2010. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.
- SILVA, R. et al. Aplicações de Fibras Lignocelulósicas na Química de Polímeros e em Compósitos. **Química Nova**, São Paulo - SP, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.
- SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003.130f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade de São Paulo – São Carlos.
- SILVA, R. V. et al. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. **Revista Matéria**, v.13, n.1, p. 154 – 161, 2008.
- SILVEIRA, D.G. et al. Micropropagation and *in vitro* conservation of *Neoglaziovia variegata* (Arr. Cam.) Mez, a fiber producted bromeliad from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Londrina, v.52, n.4, p.923-932, 2009.
- SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das Cascas de Coco Verde para Produção de Briquete em Salvador – BA**. 2008.163f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo - Ênfase em Produção Limpa) – Universidade Federal da Bahia – Salvador.

SINGH, B.; GUPTA, M. VERMA, A. Influence of the fibre surface treatment on the properties of sisal-polyester composite. **Polymer Composites**, Índia, v.17, n.6 p. 910-918, 1996.

SOARES, I.M. **Produção e caracterização de compósitos de matriz epóxi reforçada com fibra de rami para fins de reforço estrutural**. 2012. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Uberlândia, Uberlândia.

SOARES, S. D. **Correlações entre emissão acústica de defeitos e parâmetros de mecânica da fratura na avaliação da integridade de equipamentos pressurizados**. 2008. 261f. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SOBRINHO, L. L. **Desenvolvimento de matriz polimérica para material compósito visando reforço de dutos de aço**. 2005. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

SOUZA, J. P. F. **Inspeção de defeitos em revestimentos de materiais compósitos aplicados em tanques metálicos utilizando shearografia**. 2012. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SPINACE, M. A. S. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal × curauá. **Polímeros**, v.21, n.3, p. 168-174, 2011.

SPINACÉ, M. et al. Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal × curauá. **Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 168-174, 2011 .

SUDDLELL, B. C.; EVANS, W. J.; ISAAC, D. H.; CROSKY, A. A. Survey Into the Application of Natural Fiber Composites in the Automotive Industry. **In: International Symposium on Natural Polymer and Composites, 2002, São Carlos. Anais...2002**, p. 455-460.

TEODORO K. et al. Hissers de fibra de sisal obtidos sob diferentes condições de hidrólise ácida: efeito do tempo e da temperatura de extração. **Polímeros**, v. 21, n. 4, p. 280-285, 2011.

TEÓFILO, E. T. **Investigação da falha prematura por stress cracking em PET – efeito de carga nanoparticulada e uso da técnica de emissão acústica**.

2013. 159f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- TERMONIA, Y. Kinetic model for the mechanical properties of polymer glasses. **Journal of Materials Science**, v. 24, n. 1, p. 247-251, 1989.
- TITTA, S. P. S. **Efeito dos tratamentos de superfície das fibras de bagaço de cana e sisal nas propriedades de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2002. 202f. Dissertação (Mestrado em Físico Química) Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- TOLÊDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 22, n.2, p. 127-143, 2000.
- TOMCZAK, F. **Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do brasil**. 2010. 150f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Universidade Federal do Paraná - Curitiba.
- VAN DAM, J. E. G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. part 1: lignin as intrinsic thermosetting binder resin". **Industrial Crops and products**, v. 19, n. 3, p. 207-216, 2004a.
- VAN DAM, J. E. G. et al. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. **Industrial Crops and products**, v. 20, n. 1, p. 97-101, 2004.
- VENDRUSCOLO, M. A. **Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para aplicação como reforço de base de fundações superficiais**. 2003. 224f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.
- WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural Fibers: Can They Replace Glass in Fiber Reinforced Plastics. **Composites Science and Technology**, v. 63, n.9, p. 1259-1264, 2003.
- WANG, W., SAIN, M.; COOPER, P. A. Study of moisture absorption in natural fiber plastic composites, **Composites Science and Technology**, v. 66, n. 3-4, p. 379-386, 2005.
- WANG, W.; SAIN, M.; COOPER, P. A. Study of moisture absorption in natural fiber plastic composites. **Composite Science Technology**, v. 66, 2006, 379p.

WINANDY, J. E. and ROWELL, R. M. The chemistry of wood strength. **Advances in the Chemistry**, v. 207, n. 5, p. 211-255, 1984.

XAVIER, L.P. **O caroá**. 2nd ed., Natal: EMPARN, 1982. 270p.

YAO, F.; WU, Q.L.; LEI, Y.; GUO, W. H.; XU, Y. J. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis. **Polymer Degradation and Stability**. Essex, v.93, n.1, p.90-98, 2008.

ZÁRATE, E. N.; ARANGUREN, M.I; REBOREDO, M. M. Resol/vegetable fibers composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v.77, n.8 p. 1832-1840, 2000.

ZHOU, J.; LUCAS, P. J. Hicrothermal effects of epoxy resin. part i: the nature of water in epoxy, **Polymer**, v. 40, n.20, p. 5505-5512, 1999.

APÊNDICE A – Propriedades mecânicas

Densidade / Resistência, módulo elástico e alongamento de ruptura na tração

| Teor de fibra % (m/m) | Densidade caroá (g/cm ³) | Densidade coco (g/cm ³) | Tração caroá (Mpa) | Tração coco (Mpa) | Módulo elástico caroá (Mpa) | Módulo elástico coco (Mpa) | Alongamento de ruptura caroá (%) | Alongamento de ruptura coco (%) |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0 | 1,3±0,10 | 1,3±0,10 | 32,35±1,33 | 32,35±1,33 | 1626±47 | 1626±47 | 2,68±0,04 | 2,68±0,04 |
| 13 | 1,24±0,04 | 1,2±0,001 | 17,55±0,43 | 12,44±0,09 | 1228±56 | 886,33±108 | 1,49±0,74 | 1,72±0,7 |
| 23 | 1,26±0,06 | 1,02±0,005 | 23,81±0,46 | 10,93±1,63 | 1470±57 | 1235±137 | 2,73±0,08 | 1,21±0,74 |
| 30 | 1,2±0,018 | 1,02±0,004 | 36,94±0,74 | 13,66±0,59 | 1550±55 | 1323±163 | 5±0,08 | 2,42±0,01 |
| 40 | 1,2±0,001 | 1,018±0,004 | 27,39±0,38 | 11,64±0,61 | 1428±64 | 1022±77 | 2,91±0,74 | 1,4±0,2 |

Resistencia e módulo elástico na flexão / Resistência ao impacto

| Teor de fibra % (m/m) | Resistencia a flexão caroá (Mpa) | Resistencia a flexão coco (Mpa) | Módulo elástico caroá (Mpa) | Módulo elástico coco (Mpa) | Resistencia ao impacto caroá (J/m) | Resistencia ao impacto coco (J/m) |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 40±6,78 | 40±6,78 | 3334±88 | 3332±100 | 20,4±2 | 20,6±2,3 |
| 13 | 37±4,9 | 23±1,58 | 3752±117 | 4548±85 | 49,8±3,9 | 40±2,2 |
| 23 | 57±3,5 | 22±1,78 | 4646±70,9 | 2520±75 | 113±5,7 | 150±7,9 |
| 30 | 56±2,5 | 32±3,5 | 3194±82 | 3678±81,4 | 170±7,9 | 186±4,1 |
| 40 | 51±2,3 | 38±3,56 | 3112±79 | 2745±87,3 | 147±9,7 | - |

Envelhecimento térmico: Resistência à tração (MPa)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco | 40% Coco |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0 | 32,35±1,33 | 17,55±0,43 | 23,81±0,46 | 36,94±0,74 | 27,39±0,38 | 12,44±0,09 | 10,93±1,63 | 13,66±0,59 | 11,64±0,61 |
| 5 | 13,26±0,38 | 5,77±0,26 | 12,28±0,22 | 24,33±0,38 | 19,8±0,7 | 6,2±0,36 | 10 ±0,16 | 11,28±0,54 | 11,23±0,53 |
| 10 | 19,72±0,27 | 5,73±0,36 | 9,78±0,34 | 21,28±1,08 | 21,72±0,58 | 4,74±0,2 | 6,13±0,22 | 7,32±0,27 | 11,48±0,26 |
| 20 | 24,8±1,25 | 5,70±0,24 | 6,8±0,36 | 18,70±0,34 | 19,86±0,31 | 4,77±0,27 | 5,77±0,19 | 6,25±0,18 | 7,9±0,28 |
| 40 | 20,68±0,27 | 5,27±0,17 | 6,45±0,16 | 18,19±0,41 | 17,34±0,21 | 0,54±0,19 | 5,64±0,49 | 6,29±0,2 | 4,64±0,09 |

Envelhecimento térmico: Módulo elástico na tração (MPa)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco | 40% Coco |
|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|----------|
| 0 | 1628±47 | 1228±56 | 1470±57 | 1550±55 | 1428±64 | 866,3±108 | 1235±203 | 1323±163 | 1022±77 |
| 5 | 1630±21 | 1514±58 | 2884±37 | 2400±36 | 2110±23 | 880±160 | 1218±137 | 1686±125 | 922±67 |
| 10 | 1855±97 | 1435±74 | 1802±35 | 2200±36 | 2350±79 | 906±105 | 1381±129 | 1876±346 | 1603±40 |
| 20 | 1920±25 | 1820±83 | 1720±57 | 2370±45 | 2200±79 | 1240,5±102 | 1583±213 | 1220±134 | 1610±213 |
| 40 | 2277±50 | 2000±79 | 1670±45 | 2500±36 | 2800±79 | 1149±56 | 1637±55 | 1338±112 | 1051±91 |

Envelhecimento térmico: Alongamento de ruptura na tração (%)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco | 40% Coco |
|--------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| 0 | 2,68±0,04 | 1,49±0,74 | 2,73±0,82 | 5±0,08 | 2,91±0,74 | 1,72±0,72 | 1,21±0,74 | 2,42±0,17 | 1,4±0,2 |
| 5 | 1,766±0,11 | 0,42±0,13 | 1,53±0,39 | 1,9±0,50 | 2,32±0,40 | 1,8±0,1 | 1,21±0,2 | 1,84±0,15 | 1,69±0,04 |
| 10 | 1,33±0,12 | 0,40±0,01 | 1,74±0,31 | 1,9±0,27 | 1,07±0,03 | 1,46±0,41 | 1,73±0,05 | 1,25±0,05 | 1,7±0,1 |
| 20 | 1,61±0,01 | 0,57±0,15 | 1,76±0,20 | 1,04±0,05 | 1,36±0,36 | 1,33±0,075 | 1,59±0,04 | 1,08±0,03 | 0,9±0,01 |
| 40 | 1,66±0,59 | 0,58±0,38 | 1,22±0,29 | 1,05±0,15 | 0,94±0,03 | 1,22±0,055 | 1,59±0,035 | 0,83±0,36 | 0,72±0,01 |

Envelhecimento térmico: Resistência à flexão (MPa)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco | 40% Coco |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0 | 40,25±6,34 | 35±7,77 | 54,28±7,67 | 53,71±3,66 | 48,28±7,28 | 26,49±1,85 | 26,02±3,12 | 30,62±2,7 | 35,62±8,88 |
| 5 | 33,81±6,39 | 18,41±3,78 | 32,4±2,82 | 37,97±0,17 | 44,58±2,29 | 12,44±2,17 | 21,42±1,89 | 10,44±1,55 | 18,44±0,77 |
| 10 | 30,24±5,39 | 19,99±0,14 | 27±3,5 | 35,51±3,33 | 39,08±2,91 | 12,78±1,41 | 17,86±0,87 | 12,27±1,68 | 19,73±2,81 |
| 20 | 23,07±1,27 | 18,79±0,82 | 20±3 | 28,9±6,69 | 33,84±5,13 | 12,62±2,59 | 15,66±1,61 | 6,87±1,85 | 17,1±1,77 |
| 40 | 21,14±5,95 | 16,9±2,22 | 21,23±4,7 | 32,1±6,02 | 24,09±4,34 | 17,59±0,02 | 13,91±1,35 | 13,14±0,02 | 13,16±0,47 |

Envelhecimento térmico: Módulo elástico na flexão (MPa)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco | 40% Coco |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 3335±102 | 3695±380 | 4442±337 | 3153,4±13 | 3029±71 | 4344±130 | 4430±223 | 3510±258 | 2639±127 |
| 5 | 4282±218 | 3342±90 | 3654±94 | 4406±187 | 4321±121 | 2624±132 | 2639±71 | 2092±155 | 2944±131 |
| 10 | 4197±69 | 3269±420 | 3250±45 | 4099±286 | 4192±134 | 2530±86 | 2551±108 | 2736±81 | 2540±74 |
| 20 | 4374±101 | 3429±125 | 2603±209 | 4246±207 | 4351±120 | 2471±291 | 2122±75 | 1859±219 | 1863±104 |
| 40 | 4302±141 | 2801±483 | 2712±591 | 4523±147 | 4472±318 | 2713±278 | 3316±120 | 2336±148 | 1401±92 |

Envelhecimento térmico: Resistência ao impacto (J/m)

| Tempo (dias) | Resina | 13% Caroá | 23% Caroá | 30% Caroá | 40% Caroá | 13% Coco | 23% Coco | 30% Coco |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|
| 0 | 39,6±7,7 | 81,8±1,7 | 130,2±1,4 | 165,2±4,3 | 150 ±2,1 | 42,8±1,48 | 150,8±3,76 | 183±1,22 |
| 5 | 39,2±3,1 | 150,6±2,3 | 139,6±2,0 | 166±2,4 | 99,4±3,7 | 41±1,22 | 34,8±0,57 | 38,8±1,64 |
| 10 | 40±1,58 | 41,4±1,14 | 40,8±1,48 | 152,2±2,1 | 134,4±2,1 | 32,71±1,29 | 29,6±1,14 | 30,8±0,83 |
| 20 | 39,2±2,8 | 35,2±0,57 | 36,8±1,3 | 50,4±2,5 | 79,8±3,7 | 32,2±0,37 | 32,5±1,11 | 31,8±1,09 |
| 40 | 43±2,3 | 20,4±0,8 | 44,4±1,67 | 43,2±0,57 | 39,6±1 | 19,11±0,74 | 21,7±0,67 | 20,2±0,57 |

Envelhecimento UV: Resistência à tração (MPa)

| Tempo (semanas) | Resina não revestida | 23% Caroá não revestida | 23% Coco não revestido | Resina revestida | 23% Caroá revestido | 23% Coco revestido |
|-----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 32,35±1,33 | 23,81±0,46 | 10,93±1,63 | 32,1±2,1 | 24,1±2,1 | 13,2±0,8 |
| 1 | 15,28±1,25 | 16±1,9 | 11±0,81 | 22,3±1 | 20,3±1,5 | 9,4±0,3 |
| 2 | 15,9±1,8 | 23±2 | 11±1 | 19,1±3 | 19,2±2,1 | 10,6±0,5 |
| 4 | 10,75±0,41 | 15±3 | 10,79±0,4 | 13,5±0,8 | 21,1±3,0 | 10,1±1,0 |
| 6 | 13±2 | 14,7±2 | 9,1±0,12 | 19±2 | 21,2±1,4 | 11,3±1,8 |
| 9 | 14±0,8 | 20±1 | 9,5±1 | 20,1±2 | 22,0±3,1 | 10,1±0,5 |
| 12 | 10±0,7 | 14,46±1,7 | 10±0,1 | 20±1 | 20,1±2,0 | 10,8±1,2 |

Envelhecimento UV: Módulo elástico na tração (MPa)

| Tempo (semanas) | Resina não revestida | 23% Caroá não revestida | 23% Coco não revestido | Resina revestida | 23% Caroá revestido | 23% Coco revestido |
|-----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 1626±20,4 | 1804±91 | 1218±206 | 1231±321 | 1562±435 | 1218±20 |
| 1 | 978±163 | 1843±44 | 1572±86 | 856±272 | 1256±313 | 1112±84 |
| 2 | 945±112 | 1515±498 | 1243±85 | 758±226 | 1552±453 | 1060±106 |
| 4 | 1000±118 | 990±200 | 1072±190 | 703±105 | 1680±321 | 791±26 |
| 6 | 763±79 | 1557±114 | 933±120 | 754±57 | 1760±264 | 1294±270 |
| 9 | 1190±107 | 1607±210 | 1136±121 | 1064±191 | 1650±221 | 1136±221 |
| 12 | 1275±103 | 1600±110 | 1050±58 | 1099±109 | 1716±170 | 1089±165 |

Envelhecimento UV: Alongamento de ruptura na tração (MPa)

| Tempo (semanas) | Resina não revestida | 23% Caroá não revestida | 23% Coco não revestido | Resina revestida | 23% Caroá revestido | 23% Coco revestido |
|-----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 2,67±0,07 | 2,73±0,04 | 1,22±0,04 | 2,68±0,04 | 2,73±0,82 | 1,31±0,4 |
| 1 | 3,4±0,3 | 2,4±0,7 | 1,37±0,02 | 2,46±0,4 | 2,5±0,7 | 1,69±0,29 |
| 2 | 3,7±0,2 | 2,1±0,8 | 1,7±0,2 | 3,1±0,38 | 2,5±0,2 | 1,78±0,4 |
| 4 | 1,8±0,01 | 2,0±0,5 | 1,8±0,3 | 2,2±0,3 | 2,8±0,6 | 2,21±0,3 |
| 6 | 3,02±0,3 | 1,3±0,2 | 1,42±0,4 | 3±0,5 | 2±0,7 | 1,9±0,6 |
| 9 | 2,4±0,9 | 1,2±0,2 | 1,6±0,5 | 3±0,9 | 2,7±0,5 | 1,3±0,8 |
| 12 | 2,1±0,6 | 1,9±0,3 | 0,9±0,7 | 2,9±0,6 | 1,9±0,55 | 1,4±0,7 |

Envelhecimento UV: Resistência ao impacto (MPa)

| Tempo (semanas) | Resina não revestida | 23% Caroá não revestida | 23% Coco não revestido | Resina revestida | 23% Caroá revestido | 23% Coco revestido |
|-----------------|----------------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| 0 | 39,6±7,7 | 130±1,4 | 150±3,7 | 33±1 | 265±31 | 124±12 |
| 1 | 22±3 | 287± | 187±2 | 29±1 | 260±32 | 115±19 |
| 2 | 19±3 | 262± | 105±5 | 29±5 | 255±42 | 126±10 |
| 4 | 21±4 | 284± | 106±19 | 20±1 | 217±10 | 166±2 |
| 6 | 22±7 | 280± | 129±0,6 | 20±7 | 189±56 | 163±1 |
| 9 | 23±1 | 200± | 112±6 | 26±5 | 167±61 | 152±4 |
| 12 | 22,5±1,2 | 221± | 76±7 | 21,5±1 | 96±42 | 146±2 |

APÊNDICE B – ANOVA

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo)

Resistência à tração

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Caroa 13 Resina | -14,914 | 0,50183 | 1 | Coco 13 Resina | -19,896 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 23 Resina | -8,576 | 0,50183 | 1 | Coco 23 Resina | -21,938 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 23 Caroa 13 | 6,338 | 0,50183 | 1 | Coco 23 Coco 13 | -2,042 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 30 Resina | 4,542 | 0,50183 | 1 | Coco 30 Resina | -18,978 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 13 | 19,456 | 0,50183 | 1 | Coco 30 Coco 13 | 0,918 | 0,46082 | 0 |
| Caroa 30 Caroa 23 | 13,118 | 0,50183 | 1 | Coco 30 Coco 23 | 2,96 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 40 Resina | -5,078 | 0,50183 | 1 | Coco 40 Resina | -20,566 | 0,46082 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 13 | 9,836 | 0,50183 | 1 | Coco 40 Coco 13 | -0,67 | 0,46082 | 0 |
| Caroa 40 Caroa 23 | 3,498 | 0,50183 | 1 | Coco 40 Coco 23 | 1,372 | 0,46082 | 0 |
| Caroa 40 Caroa 30 | -9,62 | 0,50183 | 1 | Coco 40 Coco 30 | -1,588 | 0,46082 | 1 |

Módulo elástico na tração

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Caroa 13 Resina | -470 | 36,00655 | 1 | Coco 13 Resina | -739,8 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 23 Resina | 178,8 | 36,00655 | 1 | Coco 23 Resina | -400 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 23 Caroa 13 | 648,8 | 36,00655 | 1 | Coco 23 Coco 13 | 339,8 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 30 Resina | 82 | 36,00655 | 0 | Coco 30 Resina | -266 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 13 | 552 | 36,00655 | 1 | Coco 30 Coco 13 | 473,8 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 23 | -96,8 | 36,00655 | 0 | Coco 30 Coco 23 | 134 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 40 Resina | 62,2 | 36,00655 | 0 | Coco 40 Resina | -560,6 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 13 | 532,2 | 36,00655 | 1 | Coco 40 Coco 13 | 179,2 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 23 | -116,6 | 36,00655 | 1 | Coco 40 Coco 23 | -160,6 | 30,56207 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 30 | -19,8 | 36,00655 | 0 | Coco 40 Coco 30 | -294,6 | 30,56207 | 1 |

Alongamento de ruptura na tração

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Coco 13 Resina | -0,956 | 0,03829 | 1 | Caroa 13 Resina | -1,184 | 0,06749 | 1 |
| Coco 23 Resina | -1,448 | 0,03829 | 1 | Caroa 23 Resina | 0,062 | 0,06749 | 0 |
| Coco 23 Coco 13 | -0,492 | 0,03829 | 1 | Caroa 23 Caroa 13 | 1,246 | 0,06749 | 1 |
| Coco 30 Resina | -0,25 | 0,03829 | 1 | Caroa 30 Resina | 2,282 | 0,06749 | 1 |
| Coco 30 Coco 13 | 0,706 | 0,03829 | 1 | Caroa 30 Caroa 13 | 3,466 | 0,06749 | 1 |
| Coco 30 Coco 23 | 1,198 | 0,03829 | 1 | Caroa 30 Caroa 23 | 2,22 | 0,06749 | 1 |
| Coco 40 Resina | -1,276 | 0,03829 | 1 | Caroa 40 Resina | 0,234 | 0,06749 | 1 |
| Coco 40 Coco 13 | -0,32 | 0,03829 | 1 | Caroa 40 Caroa 13 | 1,418 | 0,06749 | 1 |
| Coco 40 Coco 23 | 0,172 | 0,03829 | 1 | Caroa 40 Caroa 23 | 0,172 | 0,06749 | 0 |
| Coco 40 Coco 30 | -1,026 | 0,03829 | 1 | Caroa 40 Caroa 30 | -2,048 | 0,06749 | 1 |

Resistência à flexão

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Caroa 13 Resina | -2,6 | 2,75681 | 1 | Coco 13 Resina | -17 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 23 Resina | 17,2 | 2,75681 | 1 | Coco 23 Resina | -17,2 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 23 Caroa 13 | 19,8 | 2,75681 | 1 | Coco 23 Coco 13 | -0,2 | 2,48355 | 0 |
| Caroa 30 Resina | 16,2 | 2,75681 | 1 | Coco 30 Resina | -7,2 | 2,48355 | 0 |
| Caroa 30 Caroa 13 | 18,8 | 2,75681 | 1 | Coco 30 Coco 13 | 9,8 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 23 | -1 | 2,75681 | 1 | Coco 30 Coco 23 | 10 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 40 Resina | 11,6 | 2,75681 | 1 | Coco 40 Resina | -1,2 | 2,48355 | 0 |
| Caroa 40 Caroa 13 | 14,2 | 2,75681 | 1 | Coco 40 Coco 13 | 15,8 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 23 | -5,6 | 2,75681 | 1 | Coco 40 Coco 23 | 16 | 2,48355 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 30 | -4,6 | 2,75681 | 1 | Coco 40 Coco 30 | 6 | 2,48355 | 0 |

Módulo elástico na flexão

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Caroa 13 Resina | 417,4 | 57,45837 | 1 | Coco 13 Resina | 1213,4 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 23 Resina | 1311,4 | 57,45837 | 1 | Coco 23 Resina | -814,6 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 23 Caroa 13 | 894 | 57,45837 | 1 | Coco 23 Coco 13 | -2028 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 30 Resina | -140,6 | 57,45837 | 0 | Coco 30 Resina | 344 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 13 | -558 | 57,45837 | 1 | Coco 30 Coco 13 | -869,4 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 23 | -1452 | 57,45837 | 1 | Coco 30 Coco 23 | 1158,6 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 40 Resina | -222,6 | 57,45837 | 1 | Coco 40 Resina | -589,6 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 13 | -640 | 57,45837 | 1 | Coco 40 Coco 13 | -1803 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 23 | -1534 | 57,45837 | 1 | Coco 40 Coco 23 | 225 | 53,02648 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 30 | -82 | 57,45837 | 0 | Coco 40 Coco 30 | -933,6 | 53,02648 | 1 |

Resistência ao Impacto

| All Levels | | | | All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|-------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Caroa 13 Resina | 29,4 | 4,09878 | 1 | Coco 13 Resina | 0,2 | 2,751 | 0 |
| Caroa 23 Resina | 92,6 | 4,09878 | 1 | Coco 23 Resina | 19,6 | 2,751 | 1 |
| Caroa 23 Caroa 13 | 63,2 | 4,09878 | 1 | Coco 23 Coco 13 | 19,4 | 2,751 | 1 |
| Caroa 30 Resina | 149,6 | 4,09878 | 1 | Coco 30 Resina | 129,6 | 2,751 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 13 | 120,2 | 4,09878 | 1 | Coco 30 Coco 13 | 129,4 | 2,751 | 1 |
| Caroa 30 Caroa 23 | 57 | 4,09878 | 1 | Coco 30 Coco 23 | 110 | 2,751 | 1 |
| Caroa 40 Resina | 126,6 | 4,09878 | 1 | Coco 40 Resina | 165,6 | 2,751 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 13 | 97,2 | 4,09878 | 1 | Coco 40 Coco 13 | 165,4 | 2,751 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 23 | 34 | 4,09878 | 1 | Coco 40 Coco 23 | 146 | 2,751 | 1 |
| Caroa 40 Caroa 30 | -23 | 4,09878 | 1 | Coco 40 Coco 30 | 36 | 2,751 | 1 |

Envelhecimento térmico – Resistência à tração

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -19,098 | 0,54308 | 1 |
| 10 0 | -12,638 | 0,54308 | 1 |
| 10 5 | 6,46 | 0,54308 | 1 |
| 20 0 | -7,554 | 0,54308 | 1 |
| 20 5 | 11,544 | 0,54308 | 1 |
| 20 10 | 5,084 | 0,54308 | 1 |
| 40 0 | -11,67 | 0,54308 | 1 |
| 40 5 | 7,428 | 0,54308 | 1 |
| 40 10 | 0,968 | 0,54308 | 0 |
| 40 20 | -4,116 | 0,54308 | 1 |

Caroá 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -11,776 | 0,19669 | 1 |
| 10 0 | -11,82 | 0,19669 | 1 |
| 10 5 | -0,044 | 0,19669 | 0 |
| 20 0 | -11,844 | 0,19669 | 1 |
| 20 5 | -0,068 | 0,19669 | 0 |
| 20 10 | -0,024 | 0,19669 | 0 |
| 40 0 | -12,276 | 0,19669 | 1 |
| 40 5 | -0,5 | 0,19669 | 0 |
| 40 10 | -0,456 | 0,19669 | 0 |
| 40 20 | -0,432 | 0,19669 | 0 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -11,532 | 0,20996 | 1 |
| 10 0 | -14,032 | 0,20996 | 1 |
| 10 5 | -2,5 | 0,20996 | 1 |
| 20 0 | -16,99 | 0,20996 | 1 |
| 20 5 | -5,458 | 0,20996 | 1 |
| 20 10 | -2,958 | 0,20996 | 1 |
| 40 0 | -17,36 | 0,20996 | 1 |
| 40 5 | -5,828 | 0,20996 | 1 |
| 40 10 | -3,328 | 0,20996 | 1 |
| 40 20 | -0,37 | 0,20996 | 0 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -12,61 | 0,41692 | 1 |
| 10 0 | -15,666 | 0,41692 | 1 |
| 10 5 | -3,056 | 0,41692 | 1 |
| 20 0 | -18,24 | 0,41692 | 1 |
| 20 5 | -5,63 | 0,41692 | 1 |
| 20 10 | -2,574 | 0,41692 | 1 |
| 40 0 | -18,748 | 0,41692 | 1 |
| 40 5 | -6,138 | 0,41692 | 1 |
| 40 10 | -3,082 | 0,41692 | 1 |
| 40 20 | -0,508 | 0,41692 | 0 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -7,592 | 0,31093 | 1 |
| 10 0 | -5,664 | 0,31093 | 1 |
| 10 5 | 1,928 | 0,31093 | 1 |
| 20 0 | -7,532 | 0,31093 | 1 |
| 20 5 | 0,06 | 0,31093 | 0 |
| 20 10 | -1,868 | 0,31093 | 1 |
| 40 0 | -10,052 | 0,31093 | 1 |
| 40 5 | -2,46 | 0,31093 | 1 |
| 40 10 | -4,388 | 0,31093 | 1 |
| 40 20 | -2,52 | 0,31093 | 1 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -6,18 | 0,16279 | 1 |
| 10 0 | -7,694 | 0,16279 | 1 |
| 10 5 | -1,514 | 0,16279 | 1 |
| 20 0 | -7,67 | 0,16279 | 1 |
| 20 5 | -1,49 | 0,16279 | 1 |
| 20 10 | 0,024 | 0,16279 | 0 |
| 40 0 | -11,896 | 0,16279 | 1 |
| 40 5 | -5,716 | 0,16279 | 1 |
| 40 10 | -4,202 | 0,16279 | 1 |
| 40 20 | -4,226 | 0,16279 | 1 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,9 | 0,48611 | 0 |
| 10 0 | -4,8 | 0,48611 | 1 |
| 10 5 | -3,9 | 0,48611 | 1 |
| 20 0 | -5,156 | 0,48611 | 1 |
| 20 5 | -4,256 | 0,48611 | 1 |
| 20 10 | -0,356 | 0,48611 | 0 |
| 40 0 | -5,288 | 0,48611 | 1 |
| 40 5 | -4,388 | 0,48611 | 1 |
| 40 10 | -0,488 | 0,48611 | 0 |
| 40 20 | -0,132 | 0,48611 | 0 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -2,378 | 0,25291 | 1 |
| 10 0 | -6,336 | 0,25291 | 1 |
| 10 5 | -3,958 | 0,25291 | 1 |
| 20 0 | -7,41 | 0,25291 | 1 |
| 20 5 | -5,032 | 0,25291 | 1 |
| 20 10 | -1,074 | 0,25291 | 1 |
| 40 0 | -7,362 | 0,25291 | 1 |
| 40 5 | -4,984 | 0,25291 | 1 |
| 40 10 | -1,026 | 0,25291 | 1 |
| 40 20 | 0,048 | 0,25291 | 0 |

Coco 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,406 | 0,27883 | 0 |
| 10 0 | -0,24 | 0,27883 | 0 |
| 10 5 | 0,166 | 0,27883 | 0 |
| 20 0 | -3,77 | 0,27883 | 1 |
| 20 5 | -3,364 | 0,27883 | 1 |
| 20 10 | -3,53 | 0,27883 | 1 |
| 40 0 | -6,994 | 0,27883 | 1 |
| 40 5 | -6,588 | 0,27883 | 1 |
| 40 10 | -6,754 | 0,27883 | 1 |
| 40 20 | -3,224 | 0,27883 | 1 |

Envelhecimento térmico – Módulo elástico na tração

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 2,2 | 35,39797 | 0 |
| 10 0 | 226,8 | 35,39797 | 1 |
| 10 5 | 224,6 | 35,39797 | 1 |
| 20 0 | 292 | 35,39797 | 1 |
| 20 5 | 289,8 | 35,39797 | 1 |
| 20 10 | 65,2 | 35,39797 | 0 |
| 40 0 | 648,8 | 35,39797 | 1 |
| 40 5 | 646,6 | 35,39797 | 1 |
| 40 10 | 422 | 35,39797 | 1 |
| 40 20 | 356,8 | 35,39797 | 1 |

Caroá 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 286 | 45,01555 | 1 |
| 10 0 | 208 | 45,01555 | 1 |
| 10 5 | -78 | 45,01555 | 0 |
| 20 0 | 592 | 45,01555 | 1 |
| 20 5 | 306 | 45,01555 | 1 |
| 20 10 | 384 | 45,01555 | 1 |
| 40 0 | 772 | 45,01555 | 1 |
| 40 5 | 486 | 45,01555 | 1 |
| 40 10 | 564 | 45,01555 | 1 |
| 40 20 | 180 | 45,01555 | 1 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 1414 | 29,93326 | 1 |
| 10 0 | 332 | 29,93326 | 1 |
| 10 5 | -1082 | 29,93326 | 1 |
| 20 0 | 250 | 29,93326 | 1 |
| 20 5 | -1164 | 29,93326 | 1 |
| 20 10 | -82 | 29,93326 | 0 |
| 40 0 | 200 | 29,93326 | 1 |
| 40 5 | -1214 | 29,93326 | 1 |
| 40 10 | -132 | 29,93326 | 1 |
| 40 20 | -50 | 29,93326 | 0 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 850 | 26,83282 | 1 |
| 10 0 | 650 | 26,83282 | 1 |
| 10 5 | -200 | 26,83282 | 1 |
| 20 0 | 820 | 26,83282 | 1 |
| 20 5 | -30 | 26,83282 | 0 |
| 20 10 | 170 | 26,83282 | 1 |
| 40 0 | 950 | 26,83282 | 1 |
| 40 5 | 100 | 26,83282 | 1 |
| 40 10 | 300 | 26,83282 | 1 |
| 40 20 | 130 | 26,83282 | 1 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 682 | 43,33128 | 1 |
| 10 0 | 922 | 43,33128 | 1 |
| 10 5 | 240 | 43,33128 | 1 |
| 20 0 | 772 | 43,33128 | 1 |
| 20 5 | 90 | 43,33128 | 0 |
| 20 10 | -150 | 43,33128 | 1 |
| 40 0 | 1372 | 43,33128 | 1 |
| 40 5 | 690 | 43,33128 | 1 |
| 40 10 | 450 | 43,33128 | 1 |
| 40 20 | 600 | 43,33128 | 1 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -5,2 | 29,42421 | 0 |
| 10 0 | 25,2 | 29,42421 | 0 |
| 10 5 | 30,4 | 29,42421 | 0 |
| 20 0 | 380,8 | 29,42421 | 1 |
| 20 5 | 386 | 29,42421 | 1 |
| 20 10 | 355,6 | 29,42421 | 1 |
| 40 0 | 240,4 | 29,42421 | 1 |
| 40 5 | 245,6 | 29,42421 | 1 |
| 40 10 | 215,2 | 29,42421 | 1 |
| 40 20 | -140,4 | 29,42421 | 1 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -15,4 | 29,77932 | 0 |
| 10 0 | 151,2 | 29,77932 | 1 |
| 10 5 | 166,6 | 29,77932 | 1 |
| 20 0 | 347,6 | 29,77932 | 1 |
| 20 5 | 363 | 29,77932 | 1 |
| 20 10 | 196,4 | 29,77932 | 1 |
| 40 0 | 405,4 | 29,77932 | 1 |
| 40 5 | 420,8 | 29,77932 | 1 |
| 40 10 | 254,2 | 29,77932 | 1 |
| 40 20 | 57,8 | 29,77932 | 0 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 350,6 | 19,83935 | 1 |
| 10 0 | 539,6 | 19,83935 | 1 |
| 10 5 | 189 | 19,83935 | 1 |
| 20 0 | -103,6 | 19,83935 | 1 |
| 20 5 | -454,2 | 19,83935 | 1 |
| 20 10 | -643,2 | 19,83935 | 1 |
| 40 0 | 1 | 19,83935 | 0 |
| 40 5 | -349,6 | 19,83935 | 1 |
| 40 10 | -538,6 | 19,83935 | 1 |
| 40 20 | 104,6 | 19,83935 | 1 |

Coco 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -101 | 13,30744 | 1 |
| 10 0 | 590,2 | 13,30744 | 1 |
| 10 5 | 691,2 | 13,30744 | 1 |
| 20 0 | 588,6 | 13,30744 | 1 |
| 20 5 | 689,6 | 13,30744 | 1 |
| 20 10 | -1,6 | 13,30744 | 0 |
| 40 0 | 29,8 | 13,30744 | 0 |
| 40 5 | 130,8 | 13,30744 | 1 |
| 40 10 | -560,4 | 13,30744 | 1 |
| 40 20 | -558,8 | 13,30744 | 1 |

Envelhecimento térmico – Alongamento de ruptura na tração

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,9428 | 0,01911 | 1 |
| 10 0 | -1,386 | 0,01911 | 1 |
| 10 5 | -0,4432 | 0,01911 | 1 |
| 20 0 | -1,102 | 0,01911 | 1 |
| 20 5 | -0,1592 | 0,01911 | 1 |
| 20 10 | 0,284 | 0,01911 | 1 |
| 40 0 | -1,046 | 0,01911 | 1 |
| 40 5 | -0,1032 | 0,01911 | 1 |
| 40 10 | 0,34 | 0,01911 | 1 |
| 40 20 | 0,056 | 0,01911 | 0 |

Caroá 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1,084 | 0,01077 | 1 |
| 10 0 | -1,092 | 0,01077 | 1 |
| 10 5 | -0,008 | 0,01077 | 0 |
| 20 0 | -0,924 | 0,01077 | 1 |
| 20 5 | 0,16 | 0,01077 | 1 |
| 20 10 | 0,168 | 0,01077 | 1 |
| 40 0 | -0,914 | 0,01077 | 1 |
| 40 5 | 0,17 | 0,01077 | 1 |
| 40 10 | 0,178 | 0,01077 | 1 |
| 40 20 | 0,01 | 0,01077 | 0 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|--------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -3,02 | 0,1533 | 1 |
| 10 0 | -3,04 | 0,1533 | 1 |
| 10 5 | -0,02 | 0,1533 | 0 |
| 20 0 | -3,782 | 0,1533 | 1 |
| 20 5 | -0,762 | 0,1533 | 1 |
| 20 10 | -0,742 | 0,1533 | 1 |
| 40 0 | -3,84 | 0,1533 | 1 |
| 40 5 | -0,82 | 0,1533 | 1 |
| 40 10 | -0,8 | 0,1533 | 1 |
| 40 20 | -0,058 | 0,1533 | 0 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1,2 | 0,01333 | 1 |
| 10 0 | -0,984 | 0,01333 | 1 |
| 10 5 | 0,216 | 0,01333 | 1 |
| 20 0 | -0,956 | 0,01333 | 1 |
| 20 5 | 0,244 | 0,01333 | 1 |
| 20 10 | 0,028 | 0,01333 | 0 |
| 40 0 | -1,498 | 0,01333 | 1 |
| 40 5 | -0,298 | 0,01333 | 1 |
| 40 10 | -0,514 | 0,01333 | 1 |
| 40 20 | -0,542 | 0,01333 | 1 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,586 | 0,03561 | 1 |
| 10 0 | -1,864 | 0,03561 | 1 |
| 10 5 | -1,278 | 0,03561 | 1 |
| 20 0 | -1,572 | 0,03561 | 1 |
| 20 5 | -0,986 | 0,03561 | 1 |
| 20 10 | 0,292 | 0,03561 | 1 |
| 40 0 | -1,928 | 0,03561 | 1 |
| 40 5 | -1,342 | 0,03561 | 1 |
| 40 10 | -0,064 | 0,03561 | 0 |
| 40 20 | -0,356 | 0,03561 | 1 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| Level2 0 | 0,092 | 0,02632 | 1 |
| Level3 0 | -0,268 | 0,02632 | 1 |
| Level3 Level2 | -0,36 | 0,02632 | 1 |
| Level4 0 | -0,388 | 0,02632 | 1 |
| Level4 Level2 | -0,48 | 0,02632 | 1 |
| Level4 Level3 | -0,12 | 0,02632 | 1 |
| Level5 0 | -0,5 | 0,02632 | 1 |
| Level5 Level2 | -0,592 | 0,02632 | 1 |
| Level5 Level3 | -0,232 | 0,02632 | 1 |
| Level5 Level4 | -0,112 | 0,02632 | 1 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 0,01 | 0,02034 | 0 |
| 10 0 | 0,518 | 0,02034 | 1 |
| 10 5 | 0,508 | 0,02034 | 1 |
| 20 0 | 0,376 | 0,02034 | 1 |
| 20 5 | 0,366 | 0,02034 | 1 |
| 20 10 | -0,142 | 0,02034 | 1 |
| 40 0 | 0,378 | 0,02034 | 1 |
| 40 5 | 0,368 | 0,02034 | 1 |
| 40 10 | -0,14 | 0,02034 | 1 |
| 40 20 | 0,002 | 0,02034 | 0 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,594 | 0,02581 | 1 |
| 10 0 | -1,172 | 0,02581 | 1 |
| 10 5 | -0,578 | 0,02581 | 1 |
| 20 0 | -1,388 | 0,02581 | 1 |
| 20 5 | -0,794 | 0,02581 | 1 |
| 20 10 | -0,216 | 0,02581 | 1 |
| 40 0 | -1,58 | 0,02581 | 1 |
| 40 5 | -0,986 | 0,02581 | 1 |
| 40 10 | -0,408 | 0,02581 | 1 |
| 40 20 | -0,192 | 0,02581 | 1 |

Coco 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 0,274 | 0,02646 | 1 |
| 10 0 | 0,27 | 0,02646 | 1 |
| 10 5 | -0,004 | 0,02646 | 0 |
| 20 0 | -0,512 | 0,02646 | 1 |
| 20 5 | -0,786 | 0,02646 | 1 |
| 20 10 | -0,782 | 0,02646 | 1 |
| 40 0 | -0,696 | 0,02646 | 1 |
| 40 5 | -0,97 | 0,02646 | 1 |
| 40 10 | -0,966 | 0,02646 | 1 |
| 40 20 | -0,184 | 0,02646 | 1 |

Envelhecimento térmico – Resistência na flexão

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -5,838 | 2,69642 | 0 |
| 10 0 | -11,6 | 2,69642 | 1 |
| 10 5 | -5,762 | 2,69642 | 0 |
| 20 0 | -18,2 | 2,69642 | 1 |
| 20 5 | -12,362 | 2,69642 | 1 |
| 20 10 | -6,6 | 2,69642 | 0 |
| 40 0 | -19,6 | 2,69642 | 1 |
| 40 5 | -13,762 | 2,69642 | 1 |
| 40 10 | -8 | 2,69642 | 0 |
| 40 20 | -1,4 | 2,69642 | 0 |

Caroá 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|--------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -16 | 1,7893 | 1 |
| 10 0 | -13,08 | 1,7893 | 1 |
| 10 5 | 2,92 | 1,7893 | 0 |
| 20 0 | -14,84 | 1,7893 | 1 |
| 20 5 | 1,16 | 1,7893 | 0 |
| 20 10 | -1,76 | 1,7893 | 0 |
| 40 0 | -16 | 1,7893 | 1 |
| 40 5 | 0 | 1,7893 | 0 |
| 40 10 | -2,92 | 1,7893 | 0 |
| 40 20 | -1,16 | 1,7893 | 0 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -22,2 | 1,69941 | 1 |
| 10 0 | -24,8 | 1,69941 | 1 |
| 10 5 | -2,6 | 1,69941 | 0 |
| 20 0 | -34 | 1,69941 | 1 |
| 20 5 | -11,8 | 1,69941 | 1 |
| 20 10 | -9,2 | 1,69941 | 1 |
| 40 0 | -32,4 | 1,69941 | 1 |
| 40 5 | -10,2 | 1,69941 | 1 |
| 40 10 | -7,6 | 1,69941 | 1 |
| 40 20 | 1,6 | 1,69941 | 0 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -15,6 | 1,78885 | 1 |
| 10 0 | -18,2 | 1,78885 | 1 |
| 10 5 | -2,6 | 1,78885 | 0 |
| 20 0 | -25,4 | 1,78885 | 1 |
| 20 5 | -9,8 | 1,78885 | 1 |
| 20 10 | -7,2 | 1,78885 | 1 |
| 40 0 | -21,8 | 1,78885 | 1 |
| 40 5 | -6,2 | 1,78885 | 1 |
| 40 10 | -3,6 | 1,78885 | 0 |
| 40 20 | 3,6 | 1,78885 | 0 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -4,8 | 1,72974 | 0 |
| 10 0 | -7,8 | 1,72974 | 1 |
| 10 5 | -3 | 1,72974 | 0 |
| 20 0 | -15,6 | 1,72974 | 1 |
| 20 5 | -10,8 | 1,72974 | 1 |
| 20 10 | -7,8 | 1,72974 | 1 |
| 40 0 | -23,8 | 1,72974 | 1 |
| 40 5 | -19 | 1,72974 | 1 |
| 40 10 | -16 | 1,72974 | 1 |
| 40 20 | -8,2 | 1,72974 | 1 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -12,94 | 0,59659 | 1 |
| 10 0 | -13,2 | 0,59659 | 1 |
| 10 5 | -0,26 | 0,59659 | 0 |
| 20 0 | -13,34 | 0,59659 | 1 |
| 20 5 | -0,4 | 0,59659 | 0 |
| 20 10 | -0,14 | 0,59659 | 0 |
| 40 0 | -8,34 | 0,59659 | 1 |
| 40 5 | 4,6 | 0,59659 | 1 |
| 40 10 | 4,86 | 0,59659 | 1 |
| 40 20 | 5 | 0,59659 | 1 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -5,1 | 1,05894 | 1 |
| 10 0 | -8,58 | 1,05894 | 1 |
| 10 5 | -3,48 | 1,05894 | 1 |
| 20 0 | -10,3 | 1,05894 | 1 |
| 20 5 | -5,2 | 1,05894 | 1 |
| 20 10 | -1,72 | 1,05894 | 0 |
| 40 0 | -13 | 1,05894 | 1 |
| 40 5 | -7,9 | 1,05894 | 1 |
| 40 10 | -4,42 | 1,05894 | 1 |
| 40 20 | -2,7 | 1,05894 | 0 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -19,8 | 0,63919 | 1 |
| 10 0 | -18,6 | 0,63919 | 1 |
| 10 5 | 1,2 | 0,63919 | 0 |
| 20 0 | -23,82 | 0,63919 | 1 |
| 20 5 | -4,02 | 0,63919 | 1 |
| 20 10 | -5,22 | 0,63919 | 1 |
| 40 0 | -17,6 | 0,63919 | 1 |
| 40 5 | 2,2 | 0,63919 | 1 |
| 40 10 | 1 | 0,63919 | 0 |
| 40 20 | 6,22 | 0,63919 | 1 |

Coco 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -17,6 | 2,06297 | 1 |
| 10 0 | -16,48 | 2,06297 | 1 |
| 10 5 | 1,12 | 2,06297 | 0 |
| 20 0 | -18,64 | 2,06297 | 1 |
| 20 5 | -1,04 | 2,06297 | 0 |
| 20 10 | -2,16 | 2,06297 | 0 |
| 40 0 | -22,74 | 2,06297 | 1 |
| 40 5 | -5,14 | 2,06297 | 0 |
| 40 10 | -6,26 | 2,06297 | 1 |
| 40 20 | -4,1 | 2,06297 | 0 |

Envelhecimento térmico – Módulo elástico na flexão

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 892,6 | 78,25144 | 1 |
| 10 0 | 856,4 | 78,25144 | 1 |
| 10 5 | -36,2 | 78,25144 | 0 |
| 20 0 | 1045,8 | 78,25144 | 1 |
| 20 5 | 153,2 | 78,25144 | 0 |
| 20 10 | 189,4 | 78,25144 | 0 |
| 40 0 | 973,4 | 78,25144 | 1 |
| 40 5 | 80,8 | 78,25144 | 0 |
| 40 10 | 117 | 78,25144 | 0 |
| 40 20 | -72,4 | 78,25144 | 0 |

Caroá 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -331,6 | 175,35425 | 0 |
| 10 0 | -410,2 | 175,35425 | 0 |
| 10 5 | -78,6 | 175,35425 | 0 |
| 20 0 | -262,2 | 175,35425 | 0 |
| 20 5 | 69,4 | 175,35425 | 0 |
| 20 10 | 148 | 175,35425 | 0 |
| 40 0 | -873,8 | 175,35425 | 1 |
| 40 5 | -542,2 | 175,35425 | 1 |
| 40 10 | -463,6 | 175,35425 | 0 |
| 40 20 | -611,6 | 175,35425 | 1 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -781,6 | 150,5283 | 1 |
| 10 0 | -1148,4 | 150,5283 | 1 |
| 10 5 | -366,8 | 150,5283 | 0 |
| 20 0 | -1791,8 | 150,5283 | 1 |
| 20 5 | -1010,2 | 150,5283 | 1 |
| 20 10 | -643,4 | 150,5283 | 1 |
| 40 0 | -1668 | 150,5283 | 1 |
| 40 5 | -886,4 | 150,5283 | 1 |
| 40 10 | -519,6 | 150,5283 | 1 |
| 40 20 | 123,8 | 150,5283 | 0 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 1253,2 | 126,29274 | 1 |
| 10 0 | 946,4 | 126,29274 | 1 |
| 10 5 | -306,8 | 126,29274 | 0 |
| 20 0 | 1093,4 | 126,29274 | 1 |
| 20 5 | -159,8 | 126,29274 | 0 |
| 20 10 | 147 | 126,29274 | 0 |
| 40 0 | 1369,8 | 126,29274 | 1 |
| 40 5 | 116,6 | 126,29274 | 0 |
| 40 10 | 423,4 | 126,29274 | 1 |
| 40 20 | 276,4 | 126,29274 | 0 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 1291,6 | 110,84172 | 1 |
| 10 0 | 1163,2 | 110,84172 | 1 |
| 10 5 | -128,4 | 110,84172 | 0 |
| 20 0 | 1321,6 | 110,84172 | 1 |
| 20 5 | 30 | 110,84172 | 0 |
| 20 10 | 158,4 | 110,84172 | 0 |
| 40 0 | 1442,6 | 110,84172 | 1 |
| 40 5 | 151 | 110,84172 | 0 |
| 40 10 | 279,4 | 110,84172 | 0 |
| 40 20 | 121 | 110,84172 | 0 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1719,4 | 147,92182 | 1 |
| 10 0 | -1813,8 | 147,92182 | 1 |
| 10 5 | -94,4 | 147,92182 | 0 |
| 20 0 | -1872,6 | 147,92182 | 1 |
| 20 5 | -153,2 | 147,92182 | 0 |
| 20 10 | -58,8 | 147,92182 | 0 |
| 30 0 | -1631 | 147,92182 | 1 |
| 30 5 | 88,4 | 147,92182 | 0 |
| 30 10 | 182,8 | 147,92182 | 0 |
| 30 20 | 241,6 | 147,92182 | 0 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1791,4 | 83,40422 | 1 |
| 10 0 | -1878,6 | 83,40422 | 1 |
| 10 5 | -87,2 | 83,40422 | 0 |
| 20 0 | -2307,8 | 83,40422 | 1 |
| 20 5 | -516,4 | 83,40422 | 1 |
| 20 10 | -429,2 | 83,40422 | 1 |
| 40 0 | -1114,4 | 83,40422 | 1 |
| 40 5 | 677 | 83,40422 | 1 |
| 40 10 | 764,2 | 83,40422 | 1 |
| 40 20 | 1193,4 | 83,40422 | 1 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|-----------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1418,4 | 115,80729 | 1 |
| 10 0 | -773,8 | 115,80729 | 1 |
| 10 5 | 644,6 | 115,80729 | 1 |
| 20 0 | -1651,2 | 115,80729 | 1 |
| 20 5 | -232,8 | 115,80729 | 0 |
| 20 10 | -877,4 | 115,80729 | 1 |
| 40 0 | -1174 | 115,80729 | 1 |
| 40 5 | 244,4 | 115,80729 | 0 |
| 40 10 | -400,2 | 115,80729 | 1 |
| 40 20 | 477,2 | 115,80729 | 1 |

Coco 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 304,6 | 68,3436 | 1 |
| 10 0 | -99,6 | 68,3436 | 0 |
| 10 5 | -404,2 | 68,3436 | 1 |
| 20 0 | -776,6 | 68,3436 | 1 |
| 20 5 | -1081,2 | 68,3436 | 1 |
| 20 10 | -677 | 68,3436 | 1 |
| 40 0 | -1238,6 | 68,3436 | 1 |
| 40 5 | -1543,2 | 68,3436 | 1 |
| 40 10 | -1139 | 68,3436 | 1 |
| 40 20 | -462 | 68,3436 | 1 |

Envelhecimento térmico – Resistencia ao impacto

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo em função do teor de fibra)

Resina

| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
|--------------------------|----------|--------|-----|
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -0,4 | 2,6184 | 0 |
| 10 0 | 0,4 | 2,6184 | 0 |
| 10 5 | 0,8 | 2,6184 | 0 |
| 20 0 | -0,4 | 2,6184 | 0 |
| 20 5 | 0 | 2,6184 | 0 |
| 20 10 | -0,8 | 2,6184 | 0 |
| 40 0 | 3,4 | 2,6184 | 0 |
| 40 5 | 3,8 | 2,6184 | 0 |
| 40 10 | 3 | 2,6184 | 0 |
| 40 20 | 3,8 | 2,6184 | 0 |

Caroá 13%

| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 68.8 | 0.92952 | 1 |
| 10 0 | -40.4 | 0.92952 | 1 |
| 10 5 | -109.2 | 0.92952 | 1 |
| 20 0 | -46.6 | 0.92952 | 1 |
| 20 5 | -115.4 | 0.92952 | 1 |
| 20 10 | -6.2 | 0.92952 | 1 |
| 40 0 | -61.4 | 0.92952 | 1 |
| 40 5 | -130.2 | 0.92952 | 1 |
| 40 10 | -21 | 0.92952 | 1 |
| 40 20 | -14.8 | 0.92952 | 1 |

Caroá 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 9,4 | 1,02762 | 1 |
| 10 0 | -89,4 | 1,02762 | 1 |
| 10 5 | -98,8 | 1,02762 | 1 |
| 20 0 | -93,4 | 1,02762 | 1 |
| 20 5 | -102,8 | 1,02762 | 1 |
| 20 10 | -4 | 1,02762 | 1 |
| 40 0 | -85,8 | 1,02762 | 1 |
| 40 5 | -95,2 | 1,02762 | 1 |
| 40 10 | 3,6 | 1,02762 | 1 |
| 40 20 | 7,6 | 1,02762 | 1 |

Caroá 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | 0,8 | 1,69765 | 0 |
| 10 0 | -13 | 1,69765 | 1 |
| 10 5 | -13,8 | 1,69765 | 1 |
| 20 0 | -114,8 | 1,69765 | 1 |
| 20 5 | -115,6 | 1,69765 | 1 |
| 20 10 | -101,8 | 1,69765 | 1 |
| 40 0 | -122 | 1,69765 | 1 |
| 40 5 | -122,8 | 1,69765 | 1 |
| 40 10 | -109 | 1,69765 | 1 |
| 40 20 | -7,2 | 1,69765 | 1 |

Caroá 40%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -50,8 | 1,75898 | 1 |
| 10 0 | -15,8 | 1,75898 | 1 |
| 10 5 | 35 | 1,75898 | 1 |
| 20 0 | -70,4 | 1,75898 | 1 |
| 20 5 | -19,6 | 1,75898 | 1 |
| 20 10 | -54,6 | 1,75898 | 1 |
| 40 0 | -110,6 | 1,75898 | 1 |
| 40 5 | -59,8 | 1,75898 | 1 |
| 40 10 | -94,8 | 1,75898 | 1 |
| 40 20 | -40,2 | 1,75898 | 1 |

Coco 13%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -1,8 | 0,69679 | 0 |
| 10 0 | -10,09 | 0,69679 | 1 |
| 10 5 | -8,29 | 0,69679 | 1 |
| 20 0 | -10,54 | 0,69679 | 1 |
| 20 5 | -8,74 | 0,69679 | 1 |
| 20 10 | -0,45 | 0,69679 | 0 |
| 40 0 | -23,69 | 0,69679 | 1 |
| 40 5 | -21,89 | 0,69679 | 1 |
| 40 10 | -13,6 | 0,69679 | 1 |
| 40 20 | -13,15 | 0,69679 | 1 |

Coco 23%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -116 | 1,18406 | 1 |
| 10 0 | -121,2 | 1,18406 | 1 |
| 10 5 | -5,2 | 1,18406 | 1 |
| 20 0 | -118,3 | 1,18406 | 1 |
| 20 5 | -2,3 | 1,18406 | 0 |
| 20 10 | 2,9 | 1,18406 | 0 |
| 40 0 | -129,1 | 1,18406 | 1 |
| 40 5 | -13,1 | 1,18406 | 1 |
| 40 10 | -7,9 | 1,18406 | 1 |
| 40 20 | -10,8 | 1,18406 | 1 |

Coco 30%

| All Levels | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|
| Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 5 0 | -144,2 | 0,71694 | 1 |
| 10 0 | -152,2 | 0,71694 | 1 |
| 10 5 | -8 | 0,71694 | 1 |
| 20 0 | -151,2 | 0,71694 | 1 |
| 20 5 | -7 | 0,71694 | 1 |
| 20 10 | 1 | 0,71694 | 0 |
| 40 0 | -162,8 | 0,71694 | 1 |
| 40 5 | -18,6 | 0,71694 | 1 |
| 40 10 | -10,6 | 0,71694 | 1 |
| 40 20 | -11,6 | 0,71694 | 1 |

Envelhecimento UV - Resistência na tração
(Amostra/significância/desvio padrão/significativo)

SEM REVESTIMENTO

COM REVESTIMENTO

Resina

Caroá

Coco

Resina

Caroá

Coco

| C1(X1) | | | | C2(Y1) | | | | C3(YEr) | | | | C4 | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | -16,72 | 0,70427 | 1 | 1 0 | -7,752 | 0,85727 | 1 | 1 0 | -2,58 | 0,32977 | 1 | 1 0 | -10,27 | 1,23403 | 1 |
| 2 0 | -16,39 | 0,70427 | 1 | 2 0 | -0,952 | 0,85727 | 0 | 2 0 | -2,28 | 0,32977 | 1 | 2 0 | -13,57 | 1,23403 | 1 |
| 2 1 | 0,33 | 0,70427 | 0 | 2 1 | 6,8 | 0,85727 | 1 | 2 1 | 0,3 | 0,32977 | 0 | 2 1 | -3,3 | 1,23403 | 0 |
| 4 0 | -21,32 | 0,70427 | 1 | 4 0 | -8,952 | 0,85727 | 1 | 4 0 | -2,862 | 0,32977 | 1 | 4 0 | -18,87 | 1,23403 | 1 |
| 4 1 | -4,6 | 0,70427 | 1 | 4 1 | -1,2 | 0,85727 | 0 | 4 1 | -0,282 | 0,32977 | 0 | 4 1 | -8,6 | 1,23403 | 1 |
| 4 2 | -4,93 | 0,70427 | 1 | 4 2 | -8 | 0,85727 | 1 | 4 2 | -0,582 | 0,32977 | 0 | 4 2 | -5,3 | 1,23403 | 1 |
| 6 0 | -19,47 | 0,70427 | 1 | 6 0 | -9,612 | 0,85727 | 1 | 6 0 | -3,86 | 0,32977 | 1 | 6 0 | -12,87 | 1,23403 | 1 |
| 6 1 | -2,75 | 0,70427 | 1 | 6 1 | -1,86 | 0,85727 | 0 | 6 1 | -1,28 | 0,32977 | 1 | 6 1 | -2,6 | 1,23403 | 0 |
| 6 2 | -3,08 | 0,70427 | 1 | 6 2 | -8,66 | 0,85727 | 1 | 6 2 | -1,58 | 0,32977 | 1 | 6 2 | 0,7 | 1,23403 | 0 |
| 6 4 | 1,85 | 0,70427 | 0 | 6 4 | -0,66 | 0,85727 | 0 | 6 4 | -0,998 | 0,32977 | 0 | 6 4 | 6 | 1,23403 | 1 |
| 9 0 | -18,11 | 0,70427 | 1 | 9 0 | -4,152 | 0,85727 | 1 | 9 0 | -3,82 | 0,32977 | 1 | 9 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 |
| 9 1 | -1,39 | 0,70427 | 0 | 9 1 | 3,6 | 0,85727 | 1 | 9 1 | -1,24 | 0,32977 | 1 | 9 1 | -2 | 1,23403 | 0 |
| 9 2 | -1,72 | 0,70427 | 0 | 9 2 | -3,2 | 0,85727 | 1 | 9 2 | -1,54 | 0,32977 | 1 | 9 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 |
| 9 4 | 3,21 | 0,70427 | 1 | 9 4 | 4,8 | 0,85727 | 1 | 9 4 | -0,958 | 0,32977 | 0 | 9 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 |
| 9 6 | 1,36 | 0,70427 | 0 | 9 6 | 5,46 | 0,85727 | 1 | 9 6 | 0,04 | 0,32977 | 0 | 9 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 |
| 12 0 | -22,21 | 0,70427 | 1 | 12 0 | -9,26 | 0,85727 | 1 | 12 0 | -3,68 | 0,32977 | 1 | 12 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 |
| 12 1 | -5,49 | 0,70427 | 1 | 12 1 | -1,508 | 0,85727 | 0 | 12 1 | -1,1 | 0,32977 | 1 | 12 1 | -2 | 1,23403 | 0 |
| 12 2 | -5,82 | 0,70427 | 1 | 12 2 | -8,308 | 0,85727 | 1 | 12 2 | -1,4 | 0,32977 | 1 | 12 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 |
| 12 4 | -0,89 | 0,70427 | 0 | 12 4 | -0,308 | 0,85727 | 0 | 12 4 | -0,818 | 0,32977 | 0 | 12 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 |
| 12 6 | -2,74 | 0,70427 | 1 | 12 6 | 0,352 | 0,85727 | 0 | 12 6 | 0,18 | 0,32977 | 0 | 12 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 |
| 12 9 | -4,1 | 0,70427 | 1 | 12 9 | -5,108 | 0,85727 | 1 | 12 9 | 0,14 | 0,32977 | 0 | 12 9 | 0 | 1,23403 | 0 |

| C1(X1) | | | | C2(Y1) | | | | C3(YEr) | | | | C4 | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | -4 | 0,56946 | 1 | 1 0 | -3,68 | 1,15093 | 1 | 1 0 | -10,27 | 1,23403 | 1 | 1 0 | -10,27 | 1,23403 | 1 |
| 2 0 | -4,7 | 0,56946 | 1 | 2 0 | -3,24 | 1,15093 | 0 | 2 0 | -13,57 | 1,23403 | 1 | 2 0 | -13,57 | 1,23403 | 1 |
| 2 1 | -0,7 | 0,56946 | 0 | 2 1 | 0,44 | 1,15093 | 0 | 2 1 | -3,3 | 1,23403 | 0 | 2 1 | -3,3 | 1,23403 | 0 |
| 4 0 | -3,1 | 0,56946 | 1 | 4 0 | -3,24 | 1,15093 | 0 | 4 0 | -18,87 | 1,23403 | 1 | 4 0 | -18,87 | 1,23403 | 1 |
| 4 1 | 0,9 | 0,56946 | 0 | 4 1 | 0,44 | 1,15093 | 0 | 4 1 | -8,6 | 1,23403 | 1 | 4 1 | -8,6 | 1,23403 | 1 |
| 4 2 | 1,6 | 0,56946 | 0 | 4 2 | 0 | 1,15093 | 0 | 4 2 | -5,3 | 1,23403 | 1 | 4 2 | -5,3 | 1,23403 | 1 |
| 6 0 | -3,2 | 0,56946 | 1 | 6 0 | -2,28 | 1,15093 | 0 | 6 0 | -12,87 | 1,23403 | 1 | 6 0 | -12,87 | 1,23403 | 1 |
| 6 1 | 0,8 | 0,56946 | 0 | 6 1 | 1,4 | 1,15093 | 0 | 6 1 | -2,6 | 1,23403 | 0 | 6 1 | -2,6 | 1,23403 | 0 |
| 6 2 | 1,5 | 0,56946 | 0 | 6 2 | 0,96 | 1,15093 | 0 | 6 2 | 0,7 | 1,23403 | 0 | 6 2 | 0,7 | 1,23403 | 0 |
| 6 4 | -0,1 | 0,56946 | 0 | 6 4 | 0,96 | 1,15093 | 0 | 6 4 | 6 | 1,23403 | 1 | 6 4 | 6 | 1,23403 | 1 |
| 9 0 | -2,3 | 0,56946 | 1 | 9 0 | -1,04 | 1,15093 | 0 | 9 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 | 9 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 |
| 9 1 | 1,7 | 0,56946 | 0 | 9 1 | 2,64 | 1,15093 | 0 | 9 1 | -2 | 1,23403 | 0 | 9 1 | -2 | 1,23403 | 0 |
| 9 2 | 2,4 | 0,56946 | 1 | 9 2 | 2,2 | 1,15093 | 0 | 9 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 | 9 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 |
| 9 4 | 0,8 | 0,56946 | 0 | 9 4 | 2,2 | 1,15093 | 0 | 9 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 | 9 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 |
| 9 6 | 0,9 | 0,56946 | 0 | 9 6 | 1,24 | 1,15093 | 0 | 9 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 | 9 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 |
| 12 0 | -3,8 | 0,56946 | 1 | 12 0 | -3,16 | 1,15093 | 0 | 12 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 | 12 0 | -12,27 | 1,23403 | 1 |
| 12 1 | 0,2 | 0,56946 | 0 | 12 1 | 0,52 | 1,15093 | 0 | 12 1 | -2 | 1,23403 | 0 | 12 1 | -2 | 1,23403 | 0 |
| 12 2 | 0,9 | 0,56946 | 0 | 12 2 | 0,08 | 1,15093 | 0 | 12 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 | 12 2 | 1,3 | 1,23403 | 0 |
| 12 4 | -0,7 | 0,56946 | 0 | 12 4 | 0,08 | 1,15093 | 0 | 12 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 | 12 4 | 6,6 | 1,23403 | 1 |
| 12 6 | -0,6 | 0,56946 | 0 | 12 6 | -0,88 | 1,15093 | 0 | 12 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 | 12 6 | 0,6 | 1,23403 | 0 |
| 12 9 | -1,5 | 0,56946 | 0 | 12 9 | -2,12 | 1,15093 | 0 | 12 9 | 0 | 1,23403 | 0 | 12 9 | 0 | 1,23403 | 0 |

Envelhecimento UV– módulo elástico tração
(Amostra/significância/desvio padrão/significativo)

SEM REVESTIMENTO

COM REVESTIMENTO

Resina

Caroá

Coco

Resina

Caroá

Coco

| C1(X1) | | | | C2(Y1) | | | | C3(YEr) | | | | C4 | | | |
|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|-----|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | -692,6 | 40,21712 | 1 | 1 0 | 23,8 | 62,52935 | 0 | 1 0 | 356,8 | 38,46289 | 1 | 1 0 | | | |
| 2 0 | -665,2 | 40,21712 | 1 | 2 0 | -297,8 | 62,52935 | 1 | 2 0 | 27 | 38,46289 | 0 | 2 0 | | | |
| 2 1 | 27,4 | 40,21712 | 0 | 2 1 | -321,6 | 62,52935 | 1 | 2 1 | -329,8 | 38,46289 | 1 | 2 1 | | | |
| 4 0 | -620,2 | 40,21712 | 1 | 4 0 | -872,8 | 62,52935 | 1 | 4 0 | -119,6 | 38,46289 | 0 | 4 0 | | | |
| 4 1 | 72,4 | 40,21712 | 0 | 4 1 | -896,6 | 62,52935 | 1 | 4 1 | -476,4 | 38,46289 | 1 | 4 1 | | | |
| 4 2 | 45 | 40,21712 | 0 | 4 2 | -575 | 62,52935 | 1 | 4 2 | -146,6 | 38,46289 | 1 | 4 2 | | | |
| 6 0 | -825,6 | 40,21712 | 1 | 6 0 | -279,4 | 62,52935 | 1 | 6 0 | -233 | 38,46289 | 1 | 6 0 | | | |
| 6 1 | -133 | 40,21712 | 1 | 6 1 | -303,2 | 62,52935 | 1 | 6 1 | -589,8 | 38,46289 | 1 | 6 1 | | | |
| 6 2 | -160,4 | 40,21712 | 1 | 6 2 | 18,4 | 62,52935 | 0 | 6 2 | -260 | 38,46289 | 1 | 6 2 | | | |
| 6 4 | -205,4 | 40,21712 | 1 | 6 4 | 593,4 | 62,52935 | 1 | 6 4 | -113,4 | 38,46289 | 0 | 6 4 | | | |
| 9 0 | -454,2 | 40,21712 | 1 | 9 0 | -209,4 | 62,52935 | 1 | 9 0 | -58,4 | 38,46289 | 0 | 9 0 | | | |
| 9 1 | 238,4 | 40,21712 | 1 | 9 1 | -233,2 | 62,52935 | 1 | 9 1 | -415,2 | 38,46289 | 1 | 9 1 | | | |
| 9 2 | 211 | 40,21712 | 1 | 9 2 | 88,4 | 62,52935 | 0 | 9 2 | -85,4 | 38,46289 | 0 | 9 2 | | | |
| 9 4 | 166 | 40,21712 | 1 | 9 4 | 663,4 | 62,52935 | 1 | 9 4 | 61,2 | 38,46289 | 0 | 9 4 | | | |
| 9 6 | 371,4 | 40,21712 | 1 | 9 6 | 70 | 62,52935 | 0 | 9 6 | 174,6 | 38,46289 | 1 | 9 6 | | | |
| 12 0 | -385,2 | 40,21712 | 1 | 12 0 | -220,8 | 62,52935 | 1 | 12 0 | -135,6 | 38,46289 | 1 | 12 0 | | | |
| 12 1 | 307,4 | 40,21712 | 1 | 12 1 | -244,6 | 62,52935 | 1 | 12 1 | -492,4 | 38,46289 | 1 | 12 1 | | | |
| 12 2 | 280 | 40,21712 | 1 | 12 2 | 77 | 62,52935 | 0 | 12 2 | -162,6 | 38,46289 | 1 | 12 2 | | | |
| 12 4 | 235 | 40,21712 | 1 | 12 4 | 652 | 62,52935 | 1 | 12 4 | -16 | 38,46289 | 0 | 12 4 | | | |
| 12 6 | 440,4 | 40,21712 | 1 | 12 6 | 58,6 | 62,52935 | 0 | 12 6 | 97,4 | 38,46289 | 0 | 12 6 | | | |
| 12 9 | 69 | 40,21712 | 0 | 12 9 | -11,4 | 62,52935 | 0 | 12 9 | -77,2 | 38,46289 | 0 | 12 9 | | | |

| C1(X1) | | | | C2(Y1) | | | | C3(YEr) | | | | C4 | | | |
|--------------------------|----------|-----|-----|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|-----|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | | | | 1 0 | -287,2 | 28,88796 | 1 | 1 0 | | | | 1 0 | -151,2 | 28,3301 | 1 |
| 2 0 | | | | 2 0 | 6 | 28,88796 | 0 | 2 0 | | | | 2 0 | -195,6 | 28,3301 | 1 |
| 2 1 | | | | 2 1 | 293,2 | 28,88796 | 1 | 2 1 | | | | 2 1 | -44,4 | 28,3301 | 0 |
| 4 0 | | | | 4 0 | 89,6 | 28,88796 | 0 | 4 0 | | | | 4 0 | -463,4 | 28,3301 | 1 |
| 4 1 | | | | 4 1 | 376,8 | 28,88796 | 1 | 4 1 | | | | 4 1 | -312,2 | 28,3301 | 1 |
| 4 2 | | | | 4 2 | 83,6 | 28,88796 | 0 | 4 2 | | | | 4 2 | -267,8 | 28,3301 | 1 |
| 6 0 | | | | 6 0 | 207,6 | 28,88796 | 1 | 6 0 | | | | 6 0 | 37,2 | 28,3301 | 0 |
| 6 1 | | | | 6 1 | 494,8 | 28,88796 | 1 | 6 1 | | | | 6 1 | 188,4 | 28,3301 | 1 |
| 6 2 | | | | 6 2 | 201,6 | 28,88796 | 1 | 6 2 | | | | 6 2 | 232,8 | 28,3301 | 1 |
| 6 4 | | | | 6 4 | 118 | 28,88796 | 1 | 6 4 | | | | 6 4 | 500,6 | 28,3301 | 1 |
| 9 0 | | | | 9 0 | 109,6 | 28,88796 | 1 | 9 0 | | | | 9 0 | -108,4 | 28,3301 | 1 |
| 9 1 | | | | 9 1 | 396,8 | 28,88796 | 1 | 9 1 | | | | 9 1 | 42,8 | 28,3301 | 0 |
| 9 2 | | | | 9 2 | 103,6 | 28,88796 | 1 | 9 2 | | | | 9 2 | 87,2 | 28,3301 | 0 |
| 9 4 | | | | 9 4 | 20 | 28,88796 | 0 | 9 4 | | | | 9 4 | 355 | 28,3301 | 1 |
| 9 6 | | | | 9 6 | -98 | 28,88796 | 1 | 9 6 | | | | 9 6 | -145,6 | 28,3301 | 1 |
| 12 0 | | | | 12 0 | 169,8 | 28,88796 | 1 | 12 0 | | | | 12 0 | -197,8 | 28,3301 | 1 |
| 12 1 | | | | 12 1 | 457 | 28,88796 | 1 | 12 1 | | | | 12 1 | -46,6 | 28,3301 | 0 |
| 12 2 | | | | 12 2 | 260,2 | 36,42338 | 1 | 12 2 | | | | 12 2 | -2,2 | 28,3301 | 0 |
| 12 4 | | | | 12 4 | 261,2 | 36,42338 | 1 | 12 4 | | | | 12 4 | 265,6 | 28,3301 | 1 |
| 12 6 | | | | 12 6 | 277 | 36,42338 | 1 | 12 6 | | | | 12 6 | -235 | 28,3301 | 1 |
| 12 9 | | | | 12 9 | -21 | 36,42338 | 0 | 12 9 | | | | 12 9 | -89,4 | 28,3301 | 0 |

Envelhecimento UV – Alongamento de ruptura na tração

(Amostra/significância/desvio padrão/significativo)

SEM REVESTIMENTO

COM REVESTIMENTO

Resina

Caroá

Coco

Resina

Caroá

Coco

| C1(X1) | | | | C2(Y1) | | | | C3(YEr) | | | | C4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------|-----|------------|----------|---------|-----|------------|----------|---------|-----|------------|----------|--------|-----|------------|----------|---------|-----|------------|----------|---------|-----|------------|----------|---------|-----|-------|----------|---------|-----|-----|------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|--------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|-----|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|--------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|-------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|---------|---|-----|------|--------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|------|---------|---|-----|-------|---------|---|-----|--------|--------|---|-----|-------|---------|---|-----|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|--------|---|------|--------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|--------|---|------|-------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|--------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|---------|---|------|-----|--------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|--------|--------|---|------|-----|---------|---|------|--------|---------|---|------|-------|---------|---|------|-------|---------|---|------|------|---------|---|------|-------|--------|---|------|------|---------|---|------|------|---------|---|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 0 | -0,184 | 0,12528 | 0 | 1 0 | -0,246 | 0,10237 | 0 | 1 0 | 0,352 | 0,07012 | 1 | 1 0 | 0,618 | 0,1556 | 1 | 1 0 | -0,426 | 0,11593 | 1 | 1 0 | 0,118 | 0,09267 | 0 | 2 0 | 0,484 | 0,12528 | 1 | 2 0 | -0,206 | 0,10237 | 0 | 2 0 | 0,44 | 0,07012 | 1 | 2 0 | -0,566 | 0,11593 | 1 | 2 0 | 0,432 | 0,09267 | 1 | 2 1 | 0,668 | 0,12528 | 1 | 2 1 | 0,04 | 0,10237 | 0 | 2 1 | 0,088 | 0,07012 | 0 | 2 1 | -0,14 | 0,11593 | 0 | 2 1 | 0,314 | 0,09267 | 1 | 4 0 | -0,468 | 0,12528 | 1 | 4 0 | 0,024 | 0,10237 | 0 | 4 0 | 0,896 | 0,07012 | 1 | 4 0 | -1,002 | 0,1556 | 1 | 4 0 | -0,786 | 0,11593 | 1 | 4 0 | 0,632 | 0,09267 | 1 | 4 1 | -0,284 | 0,12528 | 0 | 4 1 | 0,27 | 0,10237 | 0 | 4 1 | 0,544 | 0,07012 | 1 | 4 1 | -1,62 | 0,1556 | 1 | 4 1 | -0,36 | 0,11593 | 0 | 4 1 | 0,514 | 0,09267 | 1 | 4 2 | -0,952 | 0,12528 | 1 | 4 2 | 0,23 | 0,10237 | 0 | 4 2 | 0,456 | 0,07012 | 1 | 4 2 | -1,99 | 0,1556 | 1 | 4 2 | -0,22 | 0,11593 | 0 | 4 2 | 0,2 | 0,09267 | 0 | 6 0 | 0,404 | 0,12528 | 1 | 6 0 | -0,646 | 0,10237 | 1 | 6 0 | 0,634 | 0,07012 | 1 | 6 0 | 0,292 | 0,1556 | 0 | 6 0 | -1,446 | 0,11593 | 1 | 6 0 | 0,276 | 0,09267 | 0 | 6 1 | 0,588 | 0,12528 | 1 | 6 1 | -0,4 | 0,10237 | 1 | 6 1 | 0,282 | 0,07012 | 1 | 6 1 | -0,326 | 0,1556 | 0 | 6 1 | -1,02 | 0,11593 | 1 | 6 1 | 0,158 | 0,09267 | 0 | 6 2 | -0,08 | 0,12528 | 0 | 6 2 | -0,44 | 0,10237 | 1 | 6 2 | 0,194 | 0,07012 | 0 | 6 2 | -0,696 | 0,1556 | 1 | 6 2 | -0,88 | 0,11593 | 1 | 6 2 | -0,156 | 0,09267 | 0 | 6 4 | 0,872 | 0,12528 | 1 | 6 4 | -0,67 | 0,10237 | 1 | 6 4 | -0,262 | 0,07012 | 1 | 6 4 | 1,294 | 0,1556 | 1 | 6 4 | -0,66 | 0,11593 | 1 | 6 4 | -0,356 | 0,09267 | 1 | 9 0 | 0,304 | 0,12528 | 0 | 9 0 | -0,066 | 0,10237 | 0 | 9 0 | 0,004 | 0,07012 | 0 | 9 0 | -0,362 | 0,1556 | 0 | 9 0 | -1,486 | 0,11593 | 1 | 9 0 | 0,452 | 0,09267 | 1 | 9 1 | 0,488 | 0,12528 | 1 | 9 1 | 0,18 | 0,10237 | 0 | 9 1 | -0,348 | 0,07012 | 1 | 9 1 | -0,98 | 0,1556 | 1 | 9 1 | -1,06 | 0,11593 | 1 | 9 1 | 0,334 | 0,09267 | 1 | 9 2 | -0,18 | 0,12528 | 0 | 9 2 | 0,14 | 0,10237 | 0 | 9 2 | -0,436 | 0,07012 | 1 | 9 2 | -1,35 | 0,1556 | 1 | 9 2 | -0,92 | 0,11593 | 1 | 9 2 | 0,02 | 0,09267 | 0 | 9 4 | 0,772 | 0,12528 | 1 | 9 4 | -0,09 | 0,10237 | 0 | 9 4 | -0,892 | 0,07012 | 1 | 9 4 | 0,64 | 0,1556 | 1 | 9 4 | -0,7 | 0,11593 | 1 | 9 4 | -0,18 | 0,09267 | 0 | 9 6 | -0,1 | 0,12528 | 0 | 9 6 | 0,58 | 0,10237 | 1 | 9 6 | -0,63 | 0,07012 | 1 | 9 6 | -0,654 | 0,1556 | 1 | 9 6 | -0,04 | 0,11593 | 0 | 9 6 | 0,176 | 0,09267 | 0 | 12 0 | 0,294 | 0,12528 | 0 | 12 0 | -0,826 | 0,10237 | 1 | 12 0 | 0,094 | 0,07012 | 0 | 12 0 | -0,602 | 0,1556 | 1 | 12 0 | -0,846 | 0,11593 | 1 | 12 0 | -0,248 | 0,09267 | 0 | 12 1 | 0,478 | 0,12528 | 1 | 12 1 | -0,58 | 0,10237 | 1 | 12 1 | -0,258 | 0,07012 | 1 | 12 1 | -1,22 | 0,1556 | 1 | 12 1 | -0,42 | 0,11593 | 1 | 12 1 | -0,366 | 0,09267 | 1 | 12 2 | -0,19 | 0,12528 | 0 | 12 2 | -0,62 | 0,10237 | 1 | 12 2 | -0,346 | 0,07012 | 1 | 12 2 | -1,59 | 0,1556 | 1 | 12 2 | -0,28 | 0,11593 | 0 | 12 2 | -0,68 | 0,09267 | 1 | 12 4 | 0,762 | 0,12528 | 1 | 12 4 | -0,85 | 0,10237 | 1 | 12 4 | -0,802 | 0,07012 | 1 | 12 4 | 0,4 | 0,1556 | 0 | 12 4 | -0,06 | 0,11593 | 0 | 12 4 | -0,88 | 0,09267 | 1 | 12 6 | -0,11 | 0,12528 | 0 | 12 6 | -0,18 | 0,10237 | 0 | 12 6 | -0,54 | 0,07012 | 1 | 12 6 | -0,894 | 0,1556 | 1 | 12 6 | 0,6 | 0,11593 | 1 | 12 6 | -0,524 | 0,09267 | 1 | 12 9 | -0,01 | 0,12528 | 0 | 12 9 | -0,76 | 0,10237 | 1 | 12 9 | 0,09 | 0,07012 | 0 | 12 9 | -0,24 | 0,1556 | 0 | 12 9 | 0,64 | 0,11593 | 1 | 12 9 | -0,7 | 0,09267 | 1 |

Envelhecimento UV- Resistência ao impacto
(Amostra/significância/desvio padrão/significativo)

SEM REVESTIMENTO

COM REVESTIMENTO

Resina

Caroá

Coco

Resina

Caroá

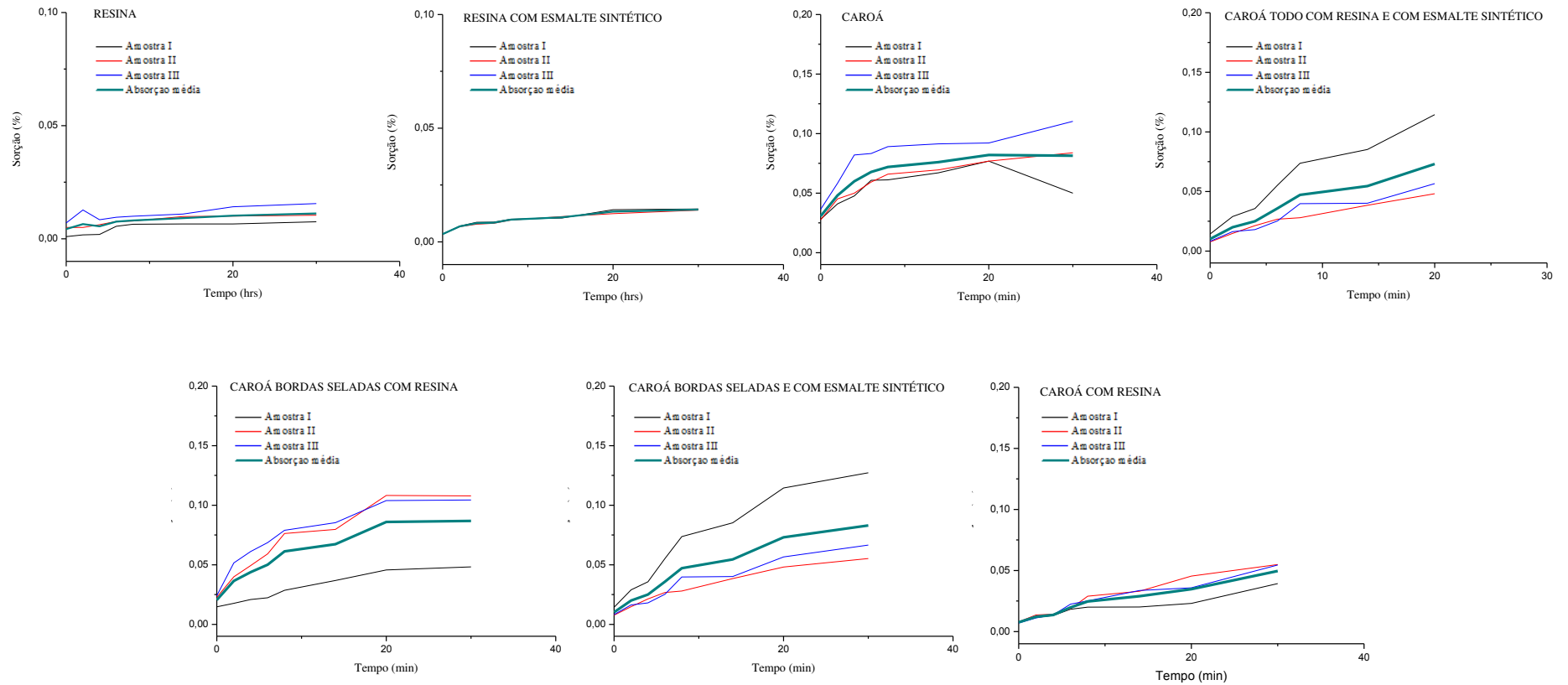
Coco

| C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 | C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 | C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | -1,4 | 1,39847 | 0 | 1 0 | -10,4 | 21,25559 | 0 | 1 0 | -7,8 | 11,19413 | 0 |
| 2 0 | -1,5 | 1,39847 | 0 | 2 0 | -4,2 | 21,25559 | 0 | 2 0 | 0,4 | 11,19413 | 0 |
| 2 1 | -0,1 | 1,39847 | 0 | 2 1 | 6,2 | 21,25559 | 0 | 2 1 | 8,2 | 11,19413 | 0 |
| 4 0 | -11 | 1,39847 | 1 | 4 0 | -47 | 21,25559 | 0 | 4 0 | 30,4 | 11,19413 | 0 |
| 4 1 | -9,6 | 1,39847 | 1 | 4 1 | -36,6 | 21,25559 | 0 | 4 1 | 38,2 | 11,19413 | 1 |
| 4 2 | -9,5 | 1,39847 | 1 | 4 2 | -42,8 | 21,25559 | 0 | 4 2 | 30 | 11,19413 | 0 |
| 6 0 | -10,7 | 1,39847 | 1 | 6 0 | -80,6 | 21,25559 | 1 | 6 0 | 33,8 | 11,19413 | 0 |
| 6 1 | -9,3 | 1,39847 | 1 | 6 1 | -70,2 | 21,25559 | 1 | 6 1 | 41,6 | 11,19413 | 1 |
| 6 2 | -9,2 | 1,39847 | 1 | 6 2 | -76,4 | 21,25559 | 1 | 6 2 | 33,4 | 11,19413 | 0 |
| 6 4 | 0,3 | 1,39847 | 0 | 6 4 | -33,6 | 21,25559 | 0 | 6 4 | 3,4 | 11,19413 | 0 |
| 9 0 | -5,3 | 1,39847 | 1 | 9 0 | -91 | 21,25559 | 1 | 9 0 | 33,6 | 11,19413 | 0 |
| 9 1 | -3,9 | 1,39847 | 0 | 9 1 | -80,6 | 21,25559 | 1 | 9 1 | 41,4 | 11,19413 | 1 |
| 9 2 | -3,8 | 1,39847 | 0 | 9 2 | -86,8 | 21,25559 | 1 | 9 2 | 33,2 | 11,19413 | 0 |
| 9 4 | 5,7 | 1,39847 | 1 | 9 4 | -44 | 21,25559 | 0 | 9 4 | 3,2 | 11,19413 | 0 |
| 9 6 | 5,4 | 1,39847 | 1 | 9 6 | -10,4 | 21,25559 | 0 | 9 6 | -0,2 | 11,19413 | 0 |
| 12 0 | -9,7 | 1,39847 | 1 | 12 0 | -175,2 | 21,25559 | 1 | 12 0 | 23,4 | 11,19413 | 0 |
| 12 1 | -8,3 | 1,39847 | 1 | 12 1 | -164,8 | 21,25559 | 1 | 12 1 | 31,2 | 11,19413 | 0 |
| 12 2 | -8,2 | 1,39847 | 1 | 12 2 | -171 | 21,25559 | 1 | 12 2 | 23 | 11,19413 | 0 |
| 12 4 | 1,3 | 1,39847 | 0 | 12 4 | -128,2 | 21,25559 | 1 | 12 4 | -7 | 11,19413 | 0 |
| 12 6 | 1 | 1,39847 | 0 | 12 6 | -94,6 | 21,25559 | 1 | 12 6 | -10,4 | 11,19413 | 0 |
| 12 9 | -4,4 | 1,39847 | 0 | 12 9 | -84,2 | 21,25559 | 1 | 12 9 | -10,2 | 11,19413 | 0 |

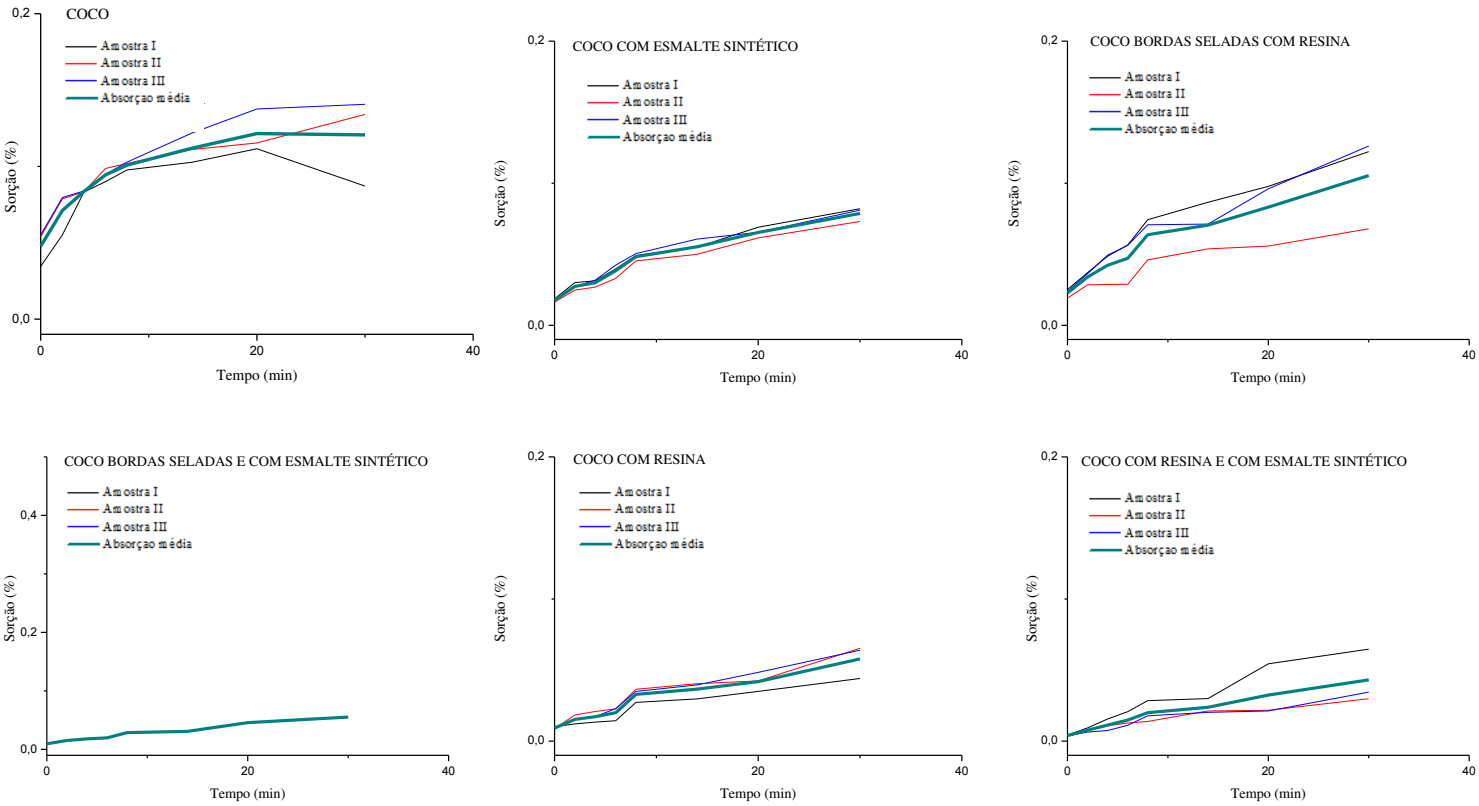
| C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 | C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 | C1(X1) | C2(Y1) | C3(YEr) | C4 |
|--------------------------|----------|---------|-----|--------------------------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|---------|-----|
| All Levels | | | | All Levels | | | | All Levels | | | |
| Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig | Index | MeanDiff | SEM | Sig |
| Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | | Mean Diff for Tukey Test | | | |
| 1 0 | -9 | 1,63881 | 1 | 1 0 | -4,6 | 17,54179 | 0 | 1 0 | 0,8 | 5,99905 | 0 |
| 2 0 | -12 | 1,63881 | 1 | 2 0 | -27,6 | 17,54179 | 0 | 2 0 | -13,2 | 5,99905 | 0 |
| 2 1 | -3 | 1,63881 | 0 | 2 1 | -23 | 17,54179 | 0 | 2 1 | -14 | 5,99905 | 0 |
| 4 0 | -10,4 | 1,63881 | 1 | 4 0 | -5,2 | 17,54179 | 0 | 4 0 | -15,6 | 5,99905 | 0 |
| 4 1 | -1,4 | 1,63881 | 0 | 4 1 | -0,6 | 17,54179 | 0 | 4 1 | -16,4 | 5,99905 | 0 |
| 4 2 | 1,6 | 1,63881 | 0 | 4 2 | 22,4 | 17,54179 | 0 | 4 2 | -2,4 | 5,99905 | 0 |
| 6 0 | -9,6 | 1,63881 | 1 | 6 0 | -4 | 17,54179 | 0 | 6 0 | 6,6 | 5,99905 | 0 |
| 6 1 | -0,6 | 1,63881 | 0 | 6 1 | 0,6 | 17,54179 | 0 | 6 1 | 5,8 | 5,99905 | 0 |
| 6 2 | 2,4 | 1,63881 | 0 | 6 2 | 23,6 | 17,54179 | 0 | 6 2 | 19,8 | 5,99905 | 1 |
| 6 4 | 0,8 | 1,63881 | 0 | 6 4 | 1,2 | 17,54179 | 0 | 6 4 | 22,2 | 5,99905 | 1 |
| 9 0 | -9 | 1,63881 | 1 | 9 0 | -84 | 17,54179 | 1 | 9 0 | -9,8 | 5,99905 | 0 |
| 9 1 | 0 | 1,63881 | 0 | 9 1 | -79,4 | 17,54179 | 1 | 9 1 | -10,6 | 5,99905 | 0 |
| 9 2 | 3 | 1,63881 | 0 | 9 2 | -56,4 | 17,54179 | 1 | 9 2 | 3,4 | 5,99905 | 0 |
| 9 4 | 1,4 | 1,63881 | 0 | 9 4 | -78,8 | 17,54179 | 1 | 9 4 | 5,8 | 5,99905 | 0 |
| 9 6 | 0,6 | 1,63881 | 0 | 9 6 | -80 | 17,54179 | 1 | 9 6 | -16,4 | 5,99905 | 0 |
| 12 0 | -8,9 | 1,63881 | 1 | 12 0 | -79,8 | 17,54179 | 1 | 12 0 | -45,6 | 5,99905 | 1 |
| 12 1 | 0,1 | 1,63881 | 0 | 12 1 | -75,2 | 17,54179 | 1 | 12 1 | -46,4 | 5,99905 | 1 |
| 12 2 | 3,1 | 1,63881 | 0 | 12 2 | -52,2 | 17,54179 | 0 | 12 2 | -32,4 | 5,99905 | 1 |
| 12 4 | 1,5 | 1,63881 | 0 | 12 4 | -74,6 | 17,54179 | 1 | 12 4 | -30 | 5,99905 | 1 |
| 12 6 | 0,7 | 1,63881 | 0 | 12 6 | -75,8 | 17,54179 | 1 | 12 6 | -52,2 | 5,99905 | 1 |
| 12 9 | 0,1 | 1,63881 | 0 | 12 9 | 4,2 | 17,54179 | 0 | 12 9 | -35,8 | 5,99905 | 1 |

APÊNDICE C – Sorção de água higrotérmico

Gráficos de sorção de água dos compósitos revestidos e não revestidos com esmalte sintético



Gráficos de sorção de água dos compósitos revestidos e não revestidos com esmalte sintético



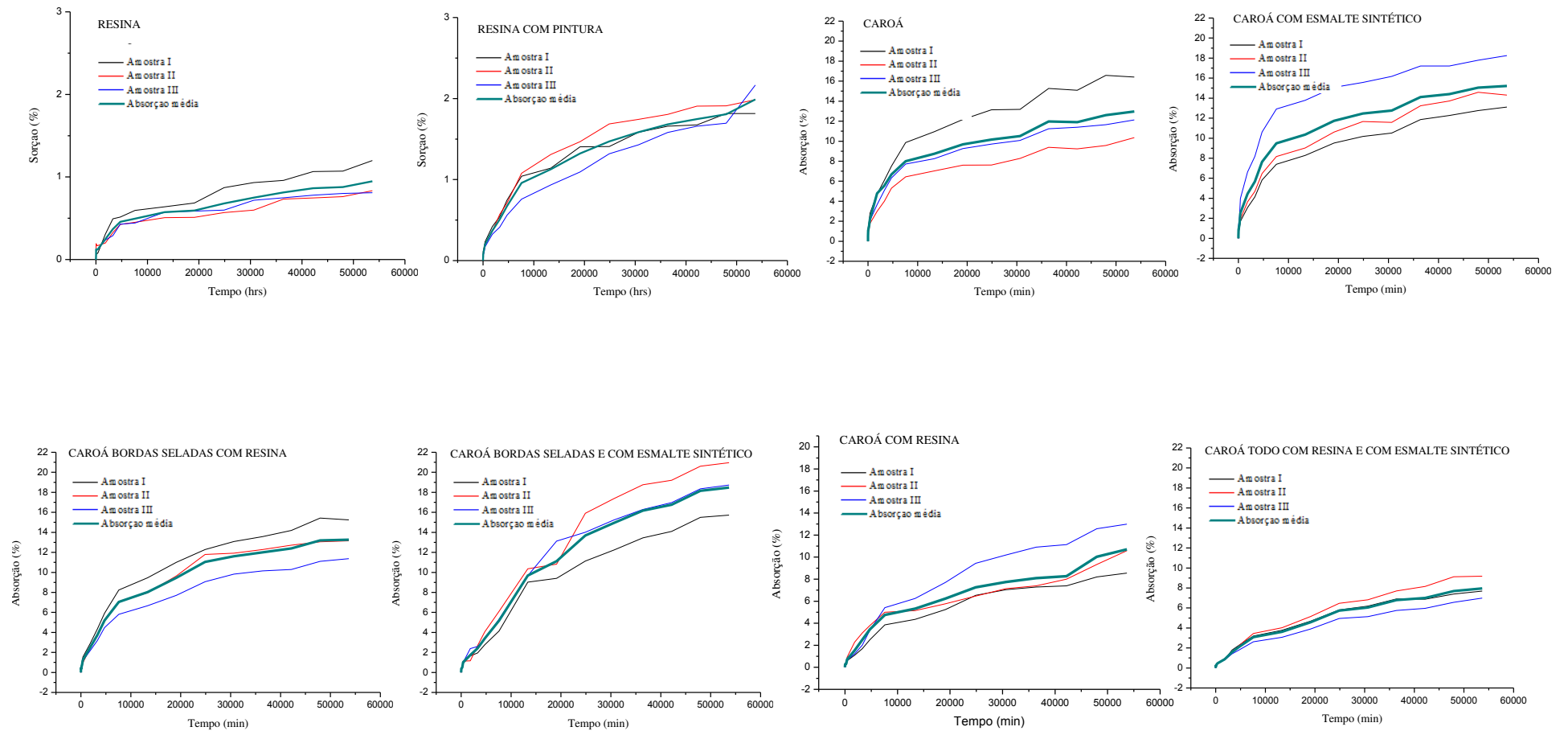
APÊNDICE D – Sorção de água à temperatura ambiente

Composições, dimensões, relações área/volume e absorção em % com 500hrs de ensaio (A 500)

| RESINA | | | | | | A (500) |
|--|---------|---------|------------------------------|------------------------------|--|---------|
| Dimensões | | | | Volume (mm ³) | S/V (mm ² /mm ³) | 0,46 |
| R1 (mm) | R2 (mm) | R3 (mm) | Área S (mm ²) | | | |
| 5,4 | 18,38 | 19,46 | 1124,022 | 1931,444 | 0,581959 | 0,46 |
| 5,54 | 20,33 | 20,27 | 1274,026 | 2282,974 | 0,558056 | |
| 5,62 | 17,84 | 20,56 | 1165,197 | 2061,362 | 0,565256 | |
| RESINA COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 0,46 |
| 5,47 | 19,76 | 19,24 | 1187,025 | 2079,598 | 0,570795 | 0,46 |
| 6,15 | 19,15 | 19,92 | 1243,497 | 2346,028 | 0,530044 | |
| 5,91 | 20,45 | 19,7 | 1280,303 | 2380,932 | 0,537732 | |
| CAROÁ | | | | | | 5,56 |
| 3,41 | 0,45 | 20,94 | 1065,676 | 1353,132 | 0,787562 | 5,56 |
| 3,32 | 5,56 | 20 | 996,5728 | 1229,728 | 0,810401 | |
| 3,39 | 5,54 | 20,02 | 1007,992 | 1264,377 | 0,797224 | |
| CAROÁ COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 5,54 |
| 3,39 | 4,16 | 20,25 | 1064,456 | 1346,177 | 0,790725 | 5,54 |
| 3,48 | 2,62 | 19,54 | 994,184 | 1267,505 | 0,784363 | |
| 3,74 | 1,68 | 19,66 | 1044,681 | 1410,275 | 0,740764 | |
| CAROÁ BORDAS SELADAS | | | | | | 5,9 |
| 3,56 | 3,35 | 20,24 | 1084,685 | 1423,795 | 0,761827 | 5,9 |
| 3,54 | 5,03 | 18,67 | 979,7172 | 1261,032 | 0,776917 | |
| 3,65 | 2,96 | 18,54 | 985,219 | 1295,9 | 0,760259 | |
| CAROÁ BORDAS SELADAS COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 4,16 |
| 3,82 | 3,35 | 20,06 | 1093,653 | 1508,829 | 0,724836 | 4,16 |
| 3,65 | 19,97 | 19,83 | 1082,55 | 1445,419 | 0,748953 | |
| 3,59 | 20,36 | 19,67 | 1088,378 | 1437,728 | 0,757013 | |
| CAROÁ TODO SELADO | | | | | | 2,62 |
| 4,08 | 21,75 | 20,14 | 1217,912 | 1787,224 | 0,681455 | 2,62 |
| 3,61 | 20,19 | 20,45 | 1119,192 | 1490,517 | 0,750875 | |
| 4,34 | 18,67 | 20,91 | 1124,334 | 1694,291 | 0,663601 | |

| CAROÁ TODO SELADO | | | | | | 2,62 |
|---|-------|-------|----------|----------|----------|------|
| 4,08 | 21,75 | 20,14 | 1217,912 | 1787,224 | 0,681455 | 2,62 |
| 3,61 | 20,19 | 20,45 | 1119,192 | 1490,517 | 0,750875 | |
| 4,34 | 18,67 | 20,91 | 1124,334 | 1694,291 | 0,663601 | |
| CAROÁ TODO SELADO COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 1,68 |
| 4,07 | 22,83 | 20,89 | 1325,51 | 1941,059 | 0,68288 | 1,68 |
| 3,75 | 19,31 | 18,84 | 1017,251 | 1364,252 | 0,745648 | |
| 4,57 | 20,11 | 20,02 | 1172,815 | 1839,892 | 0,637437 | |
| COCO | | | | | | 6,51 |
| 3,14 | 19,83 | 19,38 | 1014,85 | 1206,719 | 0,840999 | 6,51 |
| 3,29 | 19,1 | 17,91 | 927,6878 | 1125,446 | 0,824284 | |
| 3,94 | 20,3 | 18,21 | 1042,785 | 1456,472 | 0,715966 | |
| COCO COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 3,35 |
| 3,47 | 20,23 | 19,11 | 1046,21 | 1341,486 | 0,779889 | 3,35 |
| 3,48 | 18,86 | 20,26 | 1036,482 | 1329,721 | 0,779474 | |
| 3,567 | 20,42 | 18,89 | 1051,905 | 1375,912 | 0,764515 | |
| COCO BORDAS SELADAS | | | | | | 5,03 |
| 3,68 | 19,14 | 18,73 | 995,7076 | 1319,251 | 0,754752 | 5,03 |
| 3,79 | 18,44 | 19,8 | 1020,083 | 1383,774 | 0,737174 | |
| 3,54 | 18,51 | 19,07 | 972,0378 | 1249,569 | 0,777898 | |
| COCO BORDAS SELADAS COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 2,96 |
| 3,46 | 19,74 | 17,78 | 961,5928 | 1214,381 | 0,791838 | 2,96 |
| 3,94 | 17,78 | 20,01 | 1009,341 | 1401,765 | 0,72005 | |
| 3,83 | 19,66 | 19,95 | 1087,847 | 1502,191 | 0,724173 | |
| COCO TODO SELADO | | | | | | 3,90 |
| 4,05 | 20,35 | 19,53 | 1117,899 | 1609,614 | 0,694514 | 3,90 |
| 4,25 | 19,93 | 19,85 | 1129,351 | 1681,345 | 0,671695 | |
| 3,92 | 19,38 | 22,42 | 1196,711 | 1703,238 | 0,702609 | |
| COCO TODO SELADO E COM ESMALTE SINTÉTICO | | | | | | 3,35 |
| 3,9 | 20,53 | 19,41 | 1108,507 | 1554,1 | 0,713279 | 3,35 |
| 4,63 | 19,04 | 20,42 | 1142,993 | 1800,129 | 0,634951 | |
| 4,41 | 18,73 | 19,75 | 1079,229 | 1631,336 | 0,661561 | |

Gráficos de sorção de água temperatura ambiente dos compósitos revestidos e não revestidos com esmalte sintético



Gráficos de sorção de água temperatura ambiente dos compósitos revestidos e não revestidos com esmalte sintético

