



COMPÓSITO FABRICADO DO ENDOCARPO DO TUCUMÃ (*ASTROCARYUM ACULEATUM*) COM POLÍMERO TERMOPLÁSTICO¹

Antonio Claudio Kieling², Genilson Pereira Santana³

Submetido 27/03/2017 – Aceito 01/06/2017 – Publicado on-line 15/06/2017

RESUMO

Desenvolver materiais que reduzam a agressão ao ambiente tornou-se alternativa ecologicamente correta na diminuição dos problemas ambientais. A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, onde se encontram várias espécies da fauna e da flora. O tucumã é uma fruta proveniente da Amazônia, seu consumo é bastante comum na região, o aproveitamento pós-consumo destina-se usualmente ao artesanato, entretanto, pesquisadores estudam a possibilidades deste fruto ser transformado em biodiesel para geração de energia elétrica. O trabalho trata da obtenção de compósito polimérico utilizando o endocarpo lenhoso do fruto tucumã como reforço e Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) como matriz polimérica. Caracterizou-se o compósito produzido com TGA, análise granulométrica e teor de umidade. Com base na norma ASTM D695 02-a para ensaio de compressão, foram produzidos compósitos com três tamanhos de grãos diferentes e com proporções distintas e realizado ensaio de compressão nos corpos de prova. Os resultados mostraram que o compósito com grãos pequenos ($129 \pm 97\mu\text{m}$) com porcentagem de 10, 20, e 30% de reforço apresentaram propriedades mecânicas melhores que os compósitos de grãos médios ($577 \pm 134\mu\text{m}$) e grandes ($1436 \pm 285\mu\text{m}$).

Palavras-Chave: Compósito Polimérico, Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Carochos

Manufactured composition of Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) endocarpus with thermoplastic polymer. Developing materials that reduce damage to the environment has become environmentally friendly alternative in reducing environmental problems. The Amazon rainforest is the largest rainforest in the world, home of many species of fauna and flora. The tucumã is a fruit from Amazon rainforest, its consumption is quite common in the region, the post-consumer use is intended usually to craft, however, researchers are studying the possibilities of this fruit be turned into biodiesel to generate electricity. The work consists in obtaining a polymer composite using cored fruit tucumã as reinforcement and Low Density Polyethylene (LDPE) as a polymer matrix. The reinforced material was characterized with TGA, particle size analysis, moisture content. Based on ASTM D695-02-a for compression test composites were manufactured with three different types of grains and different proportions, compression test was performed on the test specimens. The results showed that the composite grains with small dimensions ($129 \pm 97 \mu\text{m}$), with a percentage of 10, 20, and 30% showed enhanced mechanical properties better than composites with medium ($577 \pm 134 \mu\text{m}$) and large grains ($1436 \pm 285 \mu\text{m}$).

Keywords: Polymeric Composites, Low Density Polyethylene (LDPE), Kernels

¹ Parte da tese de doutorando no Curso de Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

² Professor Assistente do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade Estadual do Amazonas, Av. Darcy Vargas, 1220, Parque 10, Manaus, AM – Brasil. E-mail: antonio.kieling@yahoo.com

³ Professor Titular do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II. Manaus, AM – Brasil. E-mail: gsantana2005@gmail.com



1. INTRODUÇÃO

O aumento dos impactos ambientais que vem ocorrendo no planeta tornou a reciclagem uma ferramenta necessária. Em média cada pessoa do planeta gera resíduos sólidos na ordem de 1,2 kg/pessoa/dia. Nas grandes cidades da América Latina e Caribe, a quantidade pode chegar até a 14 kg/pessoa/dia (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). No Brasil a média é de 1,06 kg/pessoa/dia (ABRELPE, 2016). Em Manaus é de 1,3 kg/pessoa/dia e cerca de 70% acabam em lixão ou aterros ao invés de serem reaproveitados (SEMULSP, 2015).

A desinformação, combinada com as iniciativas e políticas públicas não eficazes agravam a problemática ambiental causada pelos resíduos sólidos urbanos. Neste contexto, o plástico, considerado uma maravilha do Século XX, polui praticamente todas as regiões da humanidade. Sua reciclagem é pré-requisito importante para não só reduzir a exploração do petróleo como também para reaproveitar o plástico, aumentando sua vida útil. Nos EUA em função do significativo e crescente acúmulo na natureza de resíduos plásticos combinado com seu alto passivo ambiental, já na década de 90, observa-se a comercialização de reciclados. Isso motivou o uso da madeira plástica (*plastic wood*). Essa tecnologia de reciclagem tem a vantagem de utilizar diversos tipos de materiais, como restos de madeira e plásticos, como PET (*poli-tereftalato de etileno*), Polipropileno (PP) e sacolas de supermercados, entre outros. A aplicação de conceitos da Ecologia Industrial na produção de um material compósito ecológico baseado no resíduo de indústrias madeireiras combinado com resina de poliéster mostrou-se viável (TEIXEIRA; CÉSAR, 2006). O *plastic wood* vem sendo comercializado em plataformas de tábuas para circundar piscinas (decks), cercas, laminados em chapas para revestimento interno de portas e porta-malas de veículos, etc. A qualidade desse material é considerada alternativa 100% ecológica, além de respeitar o ambiente e contribuir para a eliminar o resíduo plástico.

O Brasil, também é um fabricante de *plastic wood* principalmente na produção de decks, pergolados, fachadas e revestimentos (MADEPLAST – Mandirituba/PR, IN BRASIL – União da Vitória/PR e

WISEWOOD, Itatiba/SP). Esses produtos brasileiros são fabricados na proporção de 70% resíduos de madeira e 30% plástico. Os fabricantes brasileiros de *plastic wood* usam resíduos oriundos de indústrias madeireiras localizadas em áreas rurais (CORREA et al., 2003).

Em se tratando de fontes de fibras naturais a floresta Amazônica, com sua megabiodiversidade tem muito a contribuir. Como exemplo, o resíduo fibroso do fruto do açaí apresentou alto potencial para a produção de ecopainéis de partículas homogêneas aglomeradas com resina poliuretana bicomponente a base de óleo de mamona (MESQUITA, 2013).

Dentre as espécies com potencial de fornecer fontes de fibras naturais está o endocarpo do tucumã, fruto de uma palmeira pertencente à família da *Arecaceae*, que cresce em áreas abertas, campos, pastagens e vegetação secundária. Essa espécie pode alcançar de 10 a 15 m de altura com 15 a 20 cm de diâmetro em seu tronco. A produção dos frutos varia de 3 a 6 meses, com média de quatro cachos de cerca de 240 frutos por palmeira, tendo de 21,9 a 22,4% do peso total em polpa (KAHN; MOUSSA, 1999). Os frutos são normalmente elipsoides, alaranjados e quando maduros possuem de 3 a 5 cm de comprimento, cuja polpa alaranjada tem de 2 a 4 mm de espessura com consistência pastoso-oleosa e característica fibrosa (FERREIRA et al., 2008).

No Estado do Amazonas, a população consome o fruto em diversos tipos de comida, por exemplo, sorvetes e doces (LORENZI et al., 2004). O consumo se destaca principalmente no recheio de tapiocas (alimento tradicional a base de mandioca/aipim/macaxeira) e em sanduíches (x-caboquinho), com uma quantidade de frutos de tucumã consumidos em Manaus na ordem de 31 toneladas mensais (DIDONET; FERRAZ, 2014). Essa iguaria local produz cerca de 18,15 toneladas mensais somente na forma de caroços (endocarpo) (FIGLIUOLO; SILVA, 2009).

As folhas e estipes são utilizados na construção de casas pelas comunidades do interior da Amazônia. (FERREIRA et al., 2008) O caroço tradicionalmente é usado para alimentar animais domésticos e na defumação



da borracha e a palha para tecer leques e esteiras para artesanato. (SHANLEY; MEDINA, 2005), (AMARAL, 2010).

Apesar do fruto do tucumã ser bastante consumido, em termos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) ainda não existem muitos projetos englobando sua cadeia de produção (CLEMENT; LLERAS PÉREZ; VAN LEEUWEN, 2005). Todavia, a literatura cita que o caroço pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de biocombustível (LIRA et al., 2013), (BARBOSA et al., 2009). Neste contexto, o presente trabalho propõe o uso do endocarpo lenhoso do tucumã como reforço lignocelulósico em matriz termoplástica de Polietileno de Baixa densidade (PEBD).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Obtenção do pó do caroço de Tucumã

A fabricação do compósito com caroço de tucumã e polímero termoplástico iniciou-se na obtenção do pó. Para isso, os caroços com diâmetro médio de $33,45 \pm 1,65$ mm, obtidos de 30 amostras com massa média de $21,80 \pm 2,74$ g (medição com paquímetro e balança analítica com resolução 0,05 mm e 0,1 g) foram reduzidos. Inicialmente os caroços foram inseridos em um recipiente feito a partir de garrafa de PET. Em seguida os caroços, dentro do recipiente, foram quebrados manualmente com auxílio de uma marreta pequena (Tramontina modelo master), separando-se a amêndoa do endocarpo lenhoso, finalizando-se o processo com trituração deste último para a obtenção de tamanhos significativos típicos do pó de madeira do caroço. A melhor forma de quebra do caroço foi no sentido vertical (perpendicular à linha das fibras), onde se utiliza menor força, conforme se evidenciou nos ensaios de compressão nos sentidos horizontal e vertical, cuja média para quebra do caroço foi de $296,8 \pm 77,4$ kgf. (Máquina universal ensaio compressão EMICTM modelo 23-20).

Para a análise granulométrica do pó do endocarpo, adotaram-se as seguintes classificações para os grãos: a) Grão Lignocelulósico Pequeno (GLP), b) Grão Lignocelulósico Médio (GLM) e c) Grão Lignocelulósico Grande (GLG) como forma de melhor identificar suas dimensões, em base as

classificações C₁, C₂₋₃ e C₄ da Norma Européia EN 15149-2 (2010). A medição do tamanho dos grãos foi realizada através de uma câmara Moticam acoplada a um Microscópio Estereoscópio Binocular SMZ-168 Mitutoyo com aumento de 20X em escala de 100 µm, com os dados processados através do software Motic Images Plus 2.0. Realizou-se a análise em seis amostras para os GLP, GLM e GLG, sendo respectivamente 129 µm, 577 µm e 1436 µm a média calculada para estes grãos, com granulometria de 32-226 µm, 443-711 µm e 1151-1721 µm. Realizou-se a separação do pó com auxílio de peneiras de 50 e 80 mesh (marca AVITEST).

2.2. Perda de umidade e termogravimetria TGA do pó

Determinou-se a perda de umidade do pó conforme a norma ABNT NBR 14929 (2003). Para isso, a amostra foi aquecida em uma estufa (marca QUIMIS, modelo Q314M) a 110 ± 3 °C por 5 h. O pó também foi submetido à análise termogravimétrica TGA (termoanalisador marca SHIMADZU, modelo TA-60WS). A amostra foi submetida a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min com intervalo de 25 a 1000 °C, com atmosfera inerte de N₂.

2.3. Fabricação dos compósitos

Os compósitos poliméricos foram preparados nos três tipos de grãos (GLP, GLM e GLG) de acordo com as seguintes proporções: a) 10% pó de endocarpo + 90% de PEBD, b) 20% pó de endocarpo + 80% de PEBD, c) 30% pó de endocarpo + 70% de PEBD. As condições usadas para a produção dos compósitos em prensa isostática de compressão a quente (marca PRAZIS, modelo EMB-30, UTAM 5593) foram as seguintes: Aquecimento do molde durante 5 min. a 140 °C, tempo de processo 5 min. a 150 °C, pressão 50 kgf cm⁻² e voltagem 220 V. Depois de produzidos, os compósitos foram submetidos a ensaio de compressão conforme recomendação da ASTM D695-02^a (2002). O corpo de prova utilizado no ensaio de compressão possui seção cilíndrica (diâmetro 24 mm, altura 36 mm, volume 16,29 cm³, peso 15,80 g), com altura equivalente a 1,5 vezes o diâmetro. O equipamento utilizado para o teste de

compressão consistiu em máquina de ensaio universal EMIC (EMICTM, modelo GR048).

3. RESULTADOS

A análise termogravimétrica do pó do endocarpo do tucumã caracteriza-se por apresentar perdas contínuas de massa de 25 a 100 °C referente a água de umidade (Figura 1). No intervalo de 100 a 250 °C pode ser observado que o endocarpo permanece sem qualquer tipo de degradação. Somente de 250 a 550 °C é possível observar dois eventos endotérmicos, atribuídos a decomposição térmica da celulose, hemicelulose e lignina que são substâncias presentes no endocarpo.

A identificação da celulose conduz a uma discussão sobre a compatibilização do pó do endocarpo do tucumã com o material polimérico. Correa et al. (2003) recomendam, devido ao caráter polar da celulose, o uso de

agentes de acoplamento ou de adesão interfacial. Esses agentes promovem a melhor adesão interfacial entre o esforço celulósico e a matriz polimérica poliolefínica. Neste trabalho não foram utilizados estes agentes.

Em termos de perda de umidade em função do diâmetro, observa-se que os grãos com diâmetro menor (ϕ) apresentaram a maior perda de umidade (Δ) em relação ao restante dos grãos, enquanto que os maiores grãos apresentaram a menor perda de umidade entre as amostras (Tabela 2). Isto se explica pelo fato de que vários grãos menores originários do mesmo grão de maior dimensão apresentariam uma área superficial de troca de calor maior em comparação a este. Embora se observe esse comportamento, os valores de umidade apenas diferem entre si em cerca de 4%.

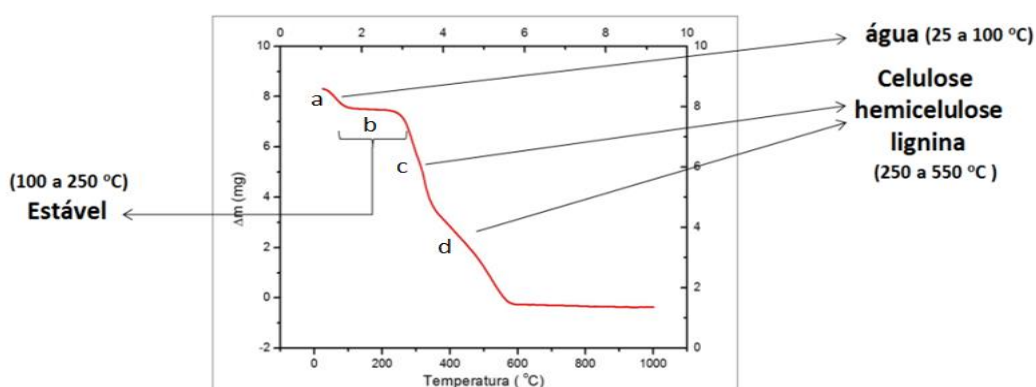


Figura 1 - Análise termogravimétrica do pó. a) água (25-100 °C), b) estável (100-250 °C), c) celulose e hemicelulose (250-350 °C) e d) lignina (350-550 °C).

Em se tratando de módulo de elasticidade, as propriedades mecânicas de compósitos termoplásticos reforçados com pó de madeira tendem a serem inferiores, mas, por outro lado, observa-se ganhos de rigidez obtidos com o pó de madeira em relação aos termoplásticos não-modificados (CORREA et al., 2003). Verificou-se que os compósitos de tucumã perderam capacidade de compressão e elasticidade com a utilização do pó de caroço GLM e GLG (Figura 2). Já para o GLP essas duas propriedades permaneceram praticamente constantes.

Nota-se que os compósitos GLP possuem dois tipos de distribuição partículas. O primeiro formado por tamanhos variando de 20 a 100 μm ; e o segundo variando de 100 a

360 μm . Todavia, GLG e GLM possuem partículas maiores que 360 μm . Esse comportamento permite afirmar que compósitos produzidos a partir de endocarpo do tucumã só tem a capacidade de compressão e elasticidade alterados/reduzidos quando possuem tamanhos de partículas superiores a 360 μm (GLM e GLG).

Tabela 2 – Percentagem da perda de umidade para os GLP, GLM e GLG de acordo com o diâmetro (ϕ)

Grão	ϕ (μm)	Δ (g)*	Umidade (%)
GLG	1436 \pm 285	0,157	8,87
GLM	577 \pm 134	0,163	9,2
GLP	129 \pm 97	0,222	12,53

* Os dados se referem à perda de água em amostra de 1,77 g

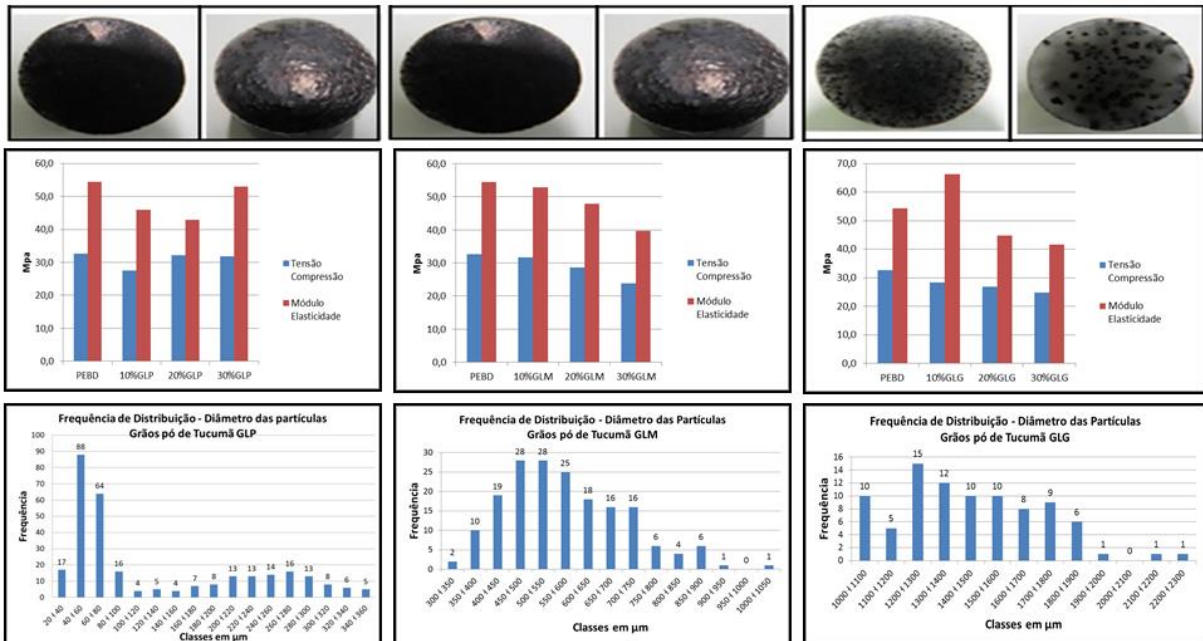


Figura 2 – Caracterização do compósito com granulação pequena (GLP), média (GLM) e grande (GLG) com 10, 20 e 30% em matriz de PEBD: diâmetro das partículas, tensão de compressão e módulo de elasticidade.

Essa afirmação é comprovada na Figura 3, em que pode ser observada uma correlação linear próxima de $r^2 \cong 1,00$ para a compressão em relação à elasticidade. Somente 10% GLG e 20% GLP foram pontos fora da reta, dois resultados que podem ser explicados pela variação do tamanho de partículas usadas na produção desses dois compósitos.

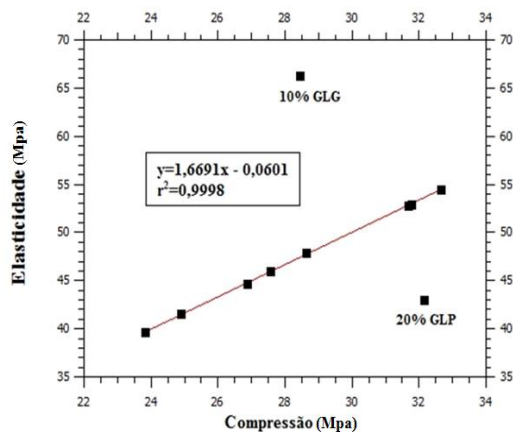


Figura 3 – Compressão versus Elasticidade.

Outro fato interessante é que as fraturas observadas para todos os compósitos produzidos neste trabalho mostraram o mesmo comportamento (Figura 4). De modo geral, as

fraturas observadas não apresentaram vazios que comprometem as propriedades mecânicas de compressão. Esse fato leva a sugerir que estes compósitos são caracterizados por boa aderência entre o endocarpo do Tucumã e o PEBD utilizado.

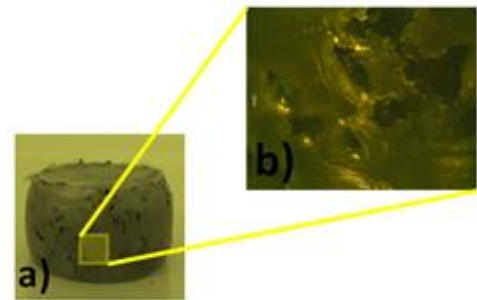


Figura 4 – Fraturas típicas observadas na compressão dos compósitos produzidos a partir do endocarpo do Tucumã e PEBD no ensaio de compressão. (a) compósito polimérico de tucumã 10% GLG e 90% PEBD após o ensaio. (b) Fratura na superfície do compósito.

4. CONCLUSÃO

Os resultados do ensaio de compressão mostraram que o compósito com 30 % GLP e 70 % PEBD apresentou um potencial bastante significativo em relação aos outros compósitos produzidos neste trabalho. O compósito de



30% GLP apresentou também uma aparência estética visual muito boa, típicas de madeira, porém com durabilidade idêntica do plástico. Sendo assim, os resultados do compósito de 30% GLP demonstram sua potencialidade de aplicação na área da construção civil e na indústria moveleira, entre outras possibilidades. Estes resultados também evidenciam que o caroço do tucumã pode ser reaproveitado como um novo produto. Esse reaproveitamento é uma alternativa sustentável e redutora do impacto causado pelo acúmulo desordenado de caroços no ambiente.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**, Rio de Janeiro, 2003.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. São Paulo: Abrelpe, 2016.

AMARAL, J. P. Artesanato Quilombola: identidade e etnicidade na Amazônia. **Cadernos do CEOM - Etnicidades**, v. 23, n. 31, p. 61-75, 2010.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D695-02a. **Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.

BARBOSA, B. S.; KOOLEN, H. H. F.; BARRETO, A. C.; SILVA, J. D.; FIGLIUOLO, S. M.; NUNOMURA, S. M. **Aproveitamento do Óleo das Amêndoas de Tucumã do Amazonas na Produção de Biodiesel**. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 2, p. 371-376, 2009.

CLEMENT, C. R.; LLERAS PÉREZ, E.; VAN

LEEUWEN, J. **O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas**. *Agrociências*, v. 9, n. 1-2, p. 67-71, 2005.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S.; RAZZINO, C. A.; HAGE JR, E. **Compósitos Termoplásticos com Madeira. Polimeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.

DIDONET, A. A. e FERRAZ, I. D. K. **O comércio de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey - *Arecaceae*) nas feiras de Manaus (Amazonas, Brasil)**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol 36, nº 2, abr/jun 2014.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; AMARAL, A. S.; SILVEIRA, C. S.. **Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*astrocaryum vulgare* mart)**. *Alimentos e Nutrição*, v. 19, n. 4, p. 427-433, 2008.

FIGLIUOLO, R.; SILVA, J. D. **Cadeia Produtiva Sustentável e Integral do Tucumã do Amazonas: do lixo à produção de cosméticos e biodiesel**. 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2009.

European Committee for Standardization. EN 15149-2. **Solid biofuels - Determination of particle size distribution - Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below**. 2010.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste - A global review of solid waste management**. Washington: World Bank, 2012.

IN BRASIL. www.inbrasil.com.br. <acesso em 15/03/2017>

KAHN, F.; MOUSSA, F. Economic importance of *Astrocaryum aculeatum* (Palmae) in central Brazilian Amazonia. **Acta Botanica Venezuelica**, v. 22, p. 237-245, 1999.

LIRA, C. S.; BERRUTI, F. M.; PALMISANO, P.; BERRUTI, F.; BRIENS, C.; PÉCORÀ, A. R. B. **Fast pyrolysis of Amazon tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) seeds in a bubbling fluidized bed reactor**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 99, p. 23-31, 2013.



LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; MELLO FILHO, L. E.; BACHER, L. B; TORRES, M. A. V.; BACHER, L.; SARTORI, S.; SOUZA, V. C.; MATOS, F. J. A. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004.

MADEPLAST. www.madeplast.com.br. <acesso em 15/03/2017>

MESQUITA, A. L. **ESTUDOS DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DO FRUTO DO AÇAÍ (Euterpe oleracea MART.) DA AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE ECOPAINEL DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE MÉDIA DENSIDADE**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará. 2013.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica**. Belém: CIFOR-IMAZON, 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA – SEMULSP. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Manaus (PMGIRS)**. 2015.

TEIXEIRA, M. G.; CÉSAR, S.F. **PRODUÇÃO DE COMPÓSITO COM RESÍDUO DE MADEIRA NO CONTEXTO DA ECOLOGIA INDUSTRIAL**. Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira. EBRAMEM, 2006.

WISEWOOD SOLUÇÕES ECOLÓGICAS. www.wisewood.com.br. <acesso em 15/03/2017>.