

# Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica

Alessandra L. Marinelli, Marcos R. Monteiro, José D. Ambrósio  
*Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais, UFSCar*

Márcia C. Branciforti, Márcio Kobayashi  
*Departamento de Engenharia de Materiais, UFSCar*

Antonio Donato Nobre  
*Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA*

**Resumo:** Este artigo tem a intenção de divulgar e apresentar a inserção da área ou da cadeia produtiva de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais dentro do contexto do Projeto Fênix Amazônico. Duas frentes de pesquisa e desenvolvimento na área de compósitos de polímeros com fibras naturais vegetais são propostas: uma que trabalharia com sistemas de produção com maquinário relativamente barato e simples, para que as comunidades rurais da Amazônia pudessem absorver tal tecnologia; uma outra frente para desenvolver materiais compósitos com tecnologia de fabricação mais avançada. Deste modo esperamos despertar o interesse da comunidade científica e tecnológica das mais diversas áreas em colaborar com o desenvolvimento de novas tecnologias que possam ser utilizadas para a recuperação de áreas degradadas da Amazônia.

**Palavras-chave:** *Compósitos poliméricos, fibras vegetais naturais, termoplástico/madeira, biodiversidade, Floresta Amazônica, parceria.*

## Development of Polymeric Composites with Natural Fibers: A Contribution to the Sustainability of Amazon

**Abstract:** This paper presents the research on Polymeric Composites with Natural Fibers in the Amazon Fenix Project. Two research and development fields based on polymeric composites with natural vegetable fibers are proposed: the first one considers production systems with simple, cheap machinery to facilitate technology assimilation by rural communities in the Amazon; the second one aims at developing composite materials with advanced production technology. It is hoped to raise awareness for scientific and technological development for the recovery of degraded areas in Amazon.

**Keywords:** *Polymer composites, natural vegetable fibers, thermoplastic/wood, biodiversity, Amazon Rainforest, partnership.*

## Introdução

Anteriormente à revolução industrial, o extrativismo primário permitia uma colaboração harmoniosa com a natureza ou, no caso de abuso, levava rapidamente ao colapso<sup>[1]</sup>. Com o advento da tecnologia moderna entretanto, houve um aumento descontrolado nas demandas e no uso das reservas naturais, o que têm trazido conseqüências deletérias ao planeta. Temas como alterações climáticas ou aquecimento global, desequilíbrio de ecossistemas e desastres ambientais têm despertado um grande interesse da comunidade científica e da sociedade em geral, pois efeitos locais, regionais e globais já são associados à forma destrutiva de ação do ser humano sobre a Natureza.

Dentro deste contexto o Brasil tem um papel fundamental no desenvolvimento de políticas de manutenção

e desenvolvimento sustentável, pois em seu território se concentra uma das mais ricas biodiversidades do planeta: a Floresta Amazônica. Com uma área de floresta densa com aproximadamente 5,5 milhões de quilômetros quadrados, dos quais 3,6 milhões estão no Brasil, esta região apresenta uma riqueza incalculável em diversidade de organismos, bem como a maior concentração de água doce do planeta. Minérios, madeiras, espécies vegetais e animais, numa lista de recursos de valor incalculável, são explorados sem controle, permitindo com isso a devastação dos recursos oriundos da floresta. A taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal no período agosto/2003-agosto/2004 - alarmantes 26.130 km<sup>2</sup> – foi a segunda maior da história e equivale a mais de 8.600 campos de futebol por dia. De acordo com estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a destruição em apenas um ano da floresta com a

maior biodiversidade do planeta foi maior do que a área total do Estado de Sergipe e pouco menor do que a Bélgica. Nos últimos três anos, os índices de desmatamento têm se mantido acima de 23 mil km<sup>2</sup>[2]. Além da floresta tropical e sua rica biodiversidade, na Amazônia existem mais de 20 milhões de pessoas, sendo que 62% vivem nas zonas urbanas, principalmente Belém e Manaus, as duas principais cidades da região, as demais pessoas ocupam regiões espalhadas pela floresta[3].

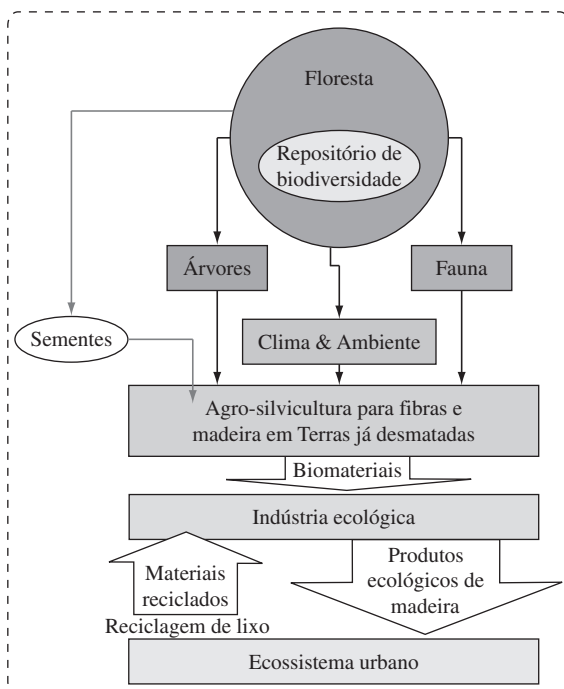
A busca pelo desenvolvimento da região amazônica exige soluções econômica e ecologicamente viáveis, de maneira a converter a destruição sistemática da floresta, modelo atualmente em vigor, em atividades construtivas, inseridas dentro de um contexto de preservação do meio ambiente e do ser humano, que na harmonia levam ao desenvolvimento sustentável da região. Ao longo de sete anos, o pesquisador sênior do INPA, Dr. Antonio Donato Nobre colocou no papel uma série de idéias e observações que ele vivenciou e trocou com diversos colegas nos seus mais de 20 anos de pesquisa na Floresta Amazônica. Assim, surgiu o *Projeto Fênix Amazônico – Renascendo das Cinzas da Destruição, uma proposta para a Construção de um Ecossistema de Empreendimentos Sustentáveis na Amazônia*. Para ilustrar de modo bem resumido, o diagrama a seguir, Figura 1, mostra os principais componentes de um dos sistemas de produção por onde o ecossistema Fênix Amazônico iniciou seu pensar. A floresta conecta-se com as áreas desmatadas por seus serviços ambientais e pelas sementes de espécies madeireiras, fibrosas, oleaginosas, fruteiras, etc. que vão permitir um renascimento das cinzas, reconstruindo o ecossistema degradado, e recriando seus serviços ambientais. Mas tudo isso com

a criação de novas formas de produção de madeiras, fibras, biocombustíveis, alimentos, etc. Todos estes materiais e serviços não se sustentam sem agregação de valor, aí sugere-se a industrialização nas fronteiras rurais da Amazônia, que vão produzir riqueza através da tecnologia e do design, por exemplo em produtos ecológicos de madeira. Por fim, faz-se a ligação com os ecossistemas urbanos através da coleta de matérias primas plásticas, minerais, etc. que serão empregadas na fabricação dos produtos ecológicos de madeira como móveis, casas e variadíssimos artefatos.

Este artigo não tem a intenção de descrever o Projeto Fênix Amazônico em toda a sua abrangência, para não correr o risco de apropriação superficial de suas propostas, que envolve o esforço multidisciplinar de profissionais das mais diversas áreas. Para os leitores que tiverem interesse em conhecê-lo basta entrar em contato por e-mail com os autores deste artigo. Este artigo tem então o objetivo único de apresentar a inserção da área ou da cadeia produtiva de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais dentro do contexto do Projeto Fênix Amazônico, cujo conteúdo relevante reproduzimos no item a seguir. Esperamos assim despertar o interesse da comunidade científica e tecnológica em colaborar com o desenvolvimento de novas tecnologias nesta área que possam ser utilizadas para a recuperação de áreas degradadas da Amazônia.

## A Cadeia Produtiva de Materiais Compósitos no Fênix Amazônico

A cadeia produtiva de materiais compósitos no Fênix está baseada na Silvicultura de Ciclo Curto com espécies amazônicas, imitando o processo natural de recuperação da floresta quando perturbações naturais ocorrem, aliada à tecnologia de fabricação de compósitos de madeira com termoplásticos, que constitui hoje uma das mais importantes áreas de Pesquisa e Desenvolvimento na área de materiais poliméricos. Observa-se que, em escala limitada, a perturbação da floresta tropical também ocorre por tempestades e outros processos naturais. Como consequência, esta floresta desenvolveu engenhosos mecanismos de recompor-se ou cicatrizar-se, através do processo natural de regeneração de árvores em clareiras. Existem algumas espécies que podem tirar proveito da disponibilidade súbita de luz e espaço, tais como embaúba (*Cecropia*), marupá (*Jacaranda copaia*), caroba (*Jacaranda micrantha*), lacre, entre muitas outras, também chamadas de espécies colonizadoras. Elas formam uma floresta secundária densa, criando assim condições para que a complexa, massiva e duradoura floresta tropical possa se restabelecer por sucessão ecológica de longo prazo. Inspirando-se nos sistemas naturais e tradicionais, muitas espécies de plantas pioneiras podem ser cultivadas, com o propósito de colher fibras vegetais e madeira. Estas plantas crescem em taxas extremamente altas como, por exemplo, a madeira balsa (*Ochroma pyramidalis*), que cresceu 14 metros em 14 meses em uma plantação em um pasto degradado perto de Manaus[4]. Estas



**Figura 1.** Principais componentes do sistema de produção do projeto Fênix Amazônico.

árvores de madeira branca leve (*softwood*) podem ser colhidas em ciclos de um ou dois anos, gerando receita a curto prazo para colonos e outros agricultores. Sob a sombra destas árvores pioneiras de crescimento rápido, podem ainda ser cultivadas espécies arbóreas de madeira nobre (*hardwood*) que necessitam de sombra e proteção para se desenvolverem, tais como mogno (*Swietenia macrophylla*), cumarú (*Dipteryx odorata*), angelim (*Hymenolobium*), entre outras (Figura 2). Ciclos de 5 a 8 anos permitem a colheita destas madeiras nobres com pequenos diâmetros (de 10 a 20 cm, boa para laminação e madeiras engenheiradas, para uso na construção civil), ou ciclos de 25 anos podem ser escolhidos para madeiras com diâmetro médio (maior que 30 cm, para uso convencional). A produção anual ou bianual de madeira branca prossegue até que as copas das árvores de crescimento lento (madeira nobre) se toquem formando um dossel denso. Após a colheita das madeiras nobres, o ciclo com as árvores de madeira branca pode recomeçar, renovando-se assim indefinidamente o plano de produção, reconstituindo assim corredores ecológicos para a fauna e funcionando também como base ecológica para polinizadores. O cultivo intensivo destas espécies florestais para produção de fibras e madeiras, tanto para as de crescimento rápido quanto para as de crescimento lento, apresenta um significativo número de desafios técnicos que vão requerer utilização de todo o conhecimento disponível e ir além.

A proposta em si parece um tanto simples, porém é sabido que diversos problemas poderão ocorrer, daí a necessidade de se envolver profissionais de diversas áreas de atividades. Por exemplo, um problema previsto se refere à herbivoria de jovens animais da floresta, que torna as árvores recém plantadas suscetíveis à ação predatória de suas folhas por animais silvestres como roedores e cervos e também por animais domésticos como bovinos e caprinos. Uma das soluções adotadas por caboclos na Amazônia para isolar suas roças deste tipo de ataque pode ser aplicada na silvicultura proposta no Fênix: uma cerca viva de espécies de tronco espinhoso seria plantada em todo perímetro da plantação, como por exemplo a palmeira pupunha (*Bactris gasipaes*). A proximidade



**Figura 2.** Exemplo de utilização de árvores de madeira branca leve, *softwood*, para fornecer sombra e proteção às madeiras nobres, *hardwood*.

dos troncos espinhosos não convida à passagem de animais predadores, preservando a sua área interna. Adicionalmente, a própria cerca viva fornecerá uma série de alimentos e materiais com potencial de uso na própria propriedade rural ou para venda (palha para cestaria, fibras vegetais para compósitos, fruto, palmito, madeira para móveis, ração para animais, etc.). Vale ressaltar que as espécies aqui citadas apenas exemplificam os sistemas de produção, existindo, no entanto, uma infinidade de espécies que poderiam ser também utilizadas. Uma grande variedade de plantas de ciclo curto, como alimentícias, adubos verdes, plantas medicinais e mesmo plantas oleaginosas, entre tantas outras opções podem ser cultivadas. Estes sistemas de produção integrados (fibra, madeira, comida, rações, essências e biomassa de energia, entre outros) evoluirão, ciclando por fases de sucessão que poderiam emprestar sua dinâmica a partir do sistema natural e responder com grande flexibilidade a problemas internos, como ataques de pragas, e mesmo condicionantes externas, como flutuações nos mercados consumidores.

Serão necessários consideráveis esforços interdisciplinares na investigação do porque do sucesso das florestas plantadas dos caboclos que se parecem ao caos de uma “capoeira” contrastando com os retumbantes fracassos de inúmeras plantações de árvores na Floresta em esquemas de monocultura. Talvez o segredo resida em estudar a ecologia, biologia, fitossanidade e biogeoquímica não das florestas manejadas, mas sim da própria luxuriante e produtiva floresta nativa, pois aí residem todas as soluções, testadas e aprovadas por milhões de anos de preciosa evolução biológica. Compreendendo em detalhe como a Natureza faz, será muito mais fácil aplicar estas soluções nos sistemas manejados. Obviamente, estes estudos não serão realizados por pesquisadores da área de compósitos de polímeros com fibras vegetais naturais, mas caberia a estes profissionais a tarefa de avaliar o imenso leque de fibras e madeiras disponíveis na biodiversidade de plantas e apontar aqueles que mais agregariam valor aos produtos fornecidos pela silvicultura de ciclo curto. O modelo de agrosilvicultura inteligente do Fênix Amazônico, com seu rico portfólio de soluções para uso da terra, para a reabilitação de áreas degradadas, para a proteção de remanescentes florestais e para recuperação do bioma Amazônico em seus serviços ambientais deve ser inseparável do que descrevemos como encadeamento em múltiplas cadeias de produção e agregação de valor. A meta é chegar à industrialização na fronteira rural. Duas frentes de pesquisa e desenvolvimento na área de compósitos de polímeros com fibras naturais vegetais poderiam avançar: uma que trabalharia com sistemas de produção com maquinário relativamente barato e simples, para que as comunidades rurais da Amazônia pudessem absorver tal tecnologia; uma outra frente poderia desenvolver materiais compósitos com tecnologia de fabricação mais avançada, tais como extrusão de perfis para a construção civil, injeção de peças plásticas, etc, cujas tecnologias desenvolvidas poderiam ser absorvidas por áreas industriais, como, por exemplo, o Pólo de Manaus. Pela sua biodiversidade, o Brasil poderia

ser pioneiro em muitas tecnologias. A destruição da Floresta não só acarretaria o comprometimento do ciclo hidrológico da América do Sul, mas perderíamos a chance de explorar de forma sustentável um sem número de espécies vegetais e animais, com suas tecnologias naturais envolvidas.

Vale ressaltar que embora grande parte da tecnologia envolvendo a utilização de farinha de madeira em compósitos termoplásticos tenha sido desenvolvida para espécies de eucaliptos e pinheiros, não haveria sentido em se utilizar estas espécies para a região amazônica, pois as mesmas são muito pobres em qualidades intrínsecas e serviços ambientais quando comparadas à floresta tropical. No entanto, ressalvo particularidades das fibras e espécies vegetais da Amazônia, os mesmos princípios para a produção dos compósitos de termoplásticos com fibras vegetais naturais podem ser utilizados, agregando-se valor a estas fibras.

### Compósitos de Polímeros com Fibras Vegetais Naturais

Nos últimos anos um grande interesse mundial tem surgido pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental. Neste contexto os materiais plásticos sintéticos têm recebido especial atenção por originarem várias questões que devem ser focalizadas, principalmente a não-biodegradabilidade e a dificuldade de reciclagem, o que acaba por gerar um grande acúmulo deste tipo de material em depósitos, lixões e na própria natureza<sup>[5]</sup>.

Em busca de uma solução para esse problema, várias pesquisas e trabalhos na área de compósitos poliméricos foram e estão sendo realizados para garantir à preservação ambiental e proporcionar um melhor padrão de vida a sociedade como um todo. Dentre as pesquisas nesta área, que vêm crescendo e que aparecem em destaque, são as que buscam a aplicação para modificadores naturais, principalmente quanto à utilização de fibras naturais<sup>[5-7]</sup>. As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou após beneficiamento. As fibras naturais se dividem em:

- fibras de origem animal;
- fibras de origem vegetal; e
- fibras de origem mineral.

Destaque deve ser dado à utilização de fibras naturais de origem vegetal, em razão da enorme variedade de plantas disponíveis na biodiversidade, passíveis de serem pesquisadas, e por ser uma fonte de recurso renovável. Diversas fibras naturais vegetais são produzidas em praticamente todos os países e usualmente são designadas por materiais lignocelulósicos<sup>[6]</sup>. No Brasil, existe uma grande variedade de fibras vegetais com diferentes propriedades químicas, físicas e mecânicas. As fibras e cargas naturais vegetais, originadas ou não de resíduos, citadas na literatura especializada como potenciais modificadores de polímeros termoplásticos são<sup>[5,8]</sup>:

- Fibras nativas brasileiras: sisal, coco, juta, rami, curauá, fibra de bagaço de cana de açúcar e soja;
- Fibras do exterior: kenaf, fique e hemp;

- Amidos;
- Resíduos de madeira: estes resíduos são comercialmente denominados farinha de madeira ou pó de madeira; e
- Casca de arroz, trigo e outros cereais.

A Tabela 1 apresenta alguns valores de propriedades mecânicas de fibras naturais e fibras convencionalmente utilizadas como reforço em materiais compósitos.

Vários produtos que empregam fibras naturais vegetais estão sendo desenvolvidos, principalmente para peças de acabamento interno de veículos, onde outras propriedades mecânicas, térmicas e acústicas são relevantes. Algumas fibras ocorrem espontaneamente na natureza e/ou são cultivadas como atividade agrícola. As fibras naturais podem também ser denominadas fibras celulósicas, visto que a celulose é o seu principal componente químico, ou ainda por fibras lignocelulósicas quando levamos em consideração que a maioria das fibras contém lignina, um polímero polifenólico natural<sup>[11]</sup>. O campo de emprego das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo aplicações clássicas na indústria têxtil, o uso como reforço em matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas e, mais recentemente, a utilização como materiais absorventes de metais pesados no tratamento de resíduos industriais, entre outras aplicações.

O processamento de compostos termoplásticos modificados com fibras naturais é bastante complexo devido à natureza higroscópica e hidrofílica das fibras lignocelulósicas. A tendência das fibras lignocelulósicas em absorver umidade irá gerar a formação de vapores durante o processamento<sup>[11]</sup>. Para artigos moldados pelo processo de injeção, a formação de gases trará problemas porque as substâncias voláteis ficam aprisionadas dentro da cavidade durante o ciclo de moldagem por injeção. Se o material não for adequadamente seco, antes do processamento, haverá a formação de um produto com porosidade e com microestrutura semelhante a um expandido estrutural. Esta distribuição de porosidade é influenciada pelas condições de processamento e, conseqüentemente, trará comprometimento às propriedades mecânicas do material modificado. A presença de água absorvida pode também agravar a degradação térmica do material celulósico. A sua degradação hidrolítica, que é acentuada quando a temperatura do polímero fundido alcança os 200 °C, é acompanhada pela liberação de voláteis. Outra desvantagem da utilização de fibras lignocelulósicas é que as mesmas apresentam, além da degradação hidrolítica, outra limitação de temperatura de processo, pois apresenta temperatura de início de perda de massa (~220 °C) devido à hemicelulose.

Diversas técnicas adicionais têm sido sugeridas para melhorar as propriedades de plásticos modificados com fibras lignocelulósicas. A adição de auxiliares de processamento, tais como estearato de cálcio e ceras de polietileno, e de compatibilizantes como polímeros funcionalizados, facilita a processabilidade e/ou introduz maior polaridade no composto polimérico, promovendo maior dispersibilidade das fibras lignocelulósicas<sup>[12]</sup>. Os materiais lignocelulósicos possuem grupos hidroxila polares na

**Tabela 1.** Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras naturais e fibras convencionalmente utilizadas como reforço em compósitos<sup>9,10</sup>.

Fibra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (MPa)	Modulo de Young (GPa)
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Sisal	1,5	2,0-2,5	5511-635	9,4-22
Fibra de côco	1,2	3,0	175	4,0-6,0
Vidro-E	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Vidro-S	2,5	2,8	4750	86,0
Aramida (normal)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Carbono (padrão)	1,4	1,4-1,8	4000	230,0-240,0
Curauá	1,4	4,2	890-4.200	50,4

superfície devidos predominantemente à celulose e à lignina, sendo que estes grupos polares têm grande facilidade em interagir com matrizes poliméricas polares.

Em geral as principais vantagens das fibras naturais vegetais são<sup>[6-8,11,13]</sup>:

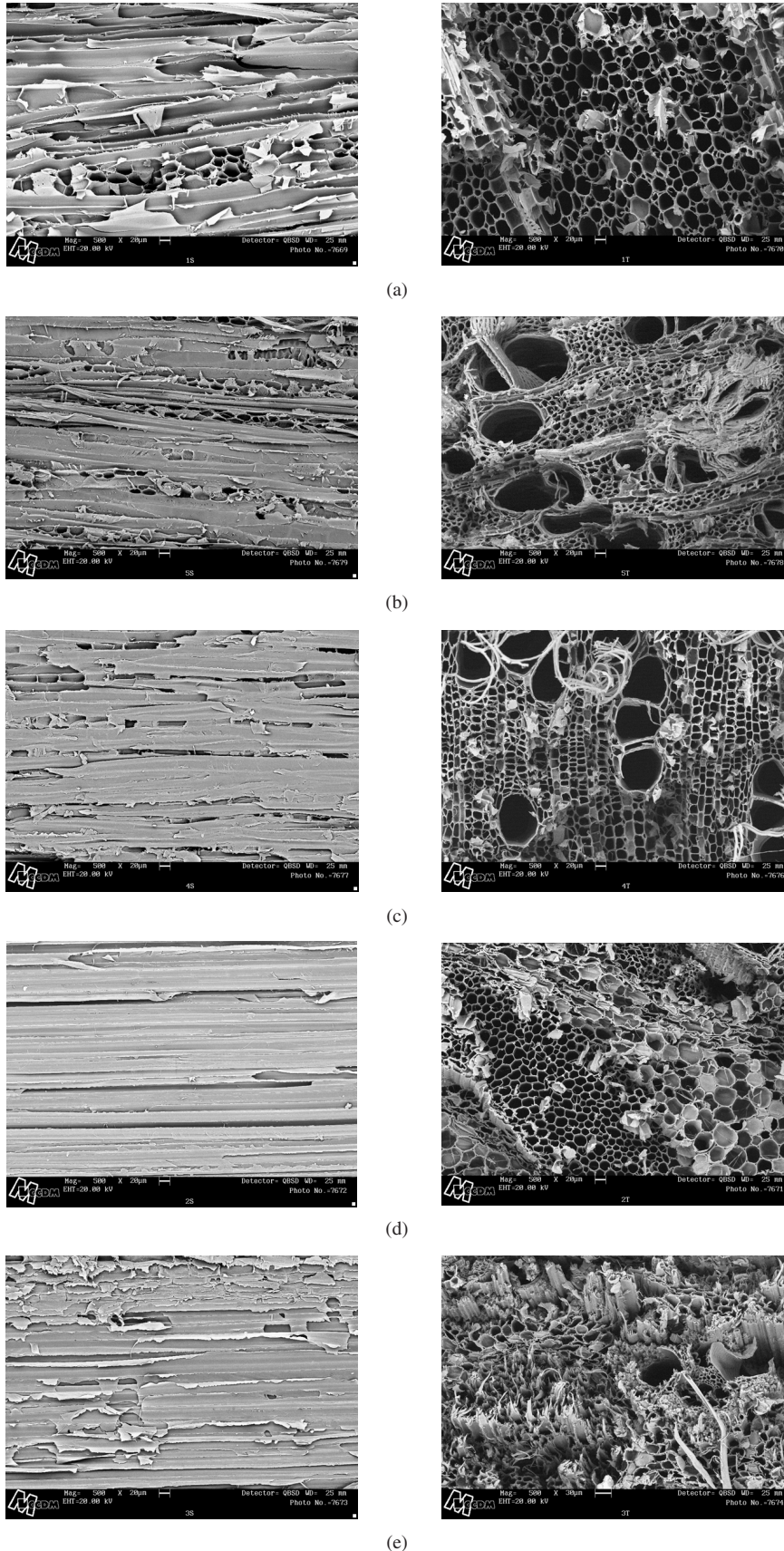
- Fibras de vegetais são materiais renováveis e sua disponibilidade pode ser considerada ilimitada;
- Devido a enorme diversidade de plantas lenhosas e fibrosas encontrável na biodiversidade (65 mil espécies de plantas vasculares na Amazonia, mais de 6 mil delas somente de árvores), existe enorme potencial para a descoberta de fibras naturais com propriedades desejáveis (resistência mecânica, estabilidade química e biológica, resistência ao fogo, leveza, resistência à abrasão e ao cisalhamento, entre outras propriedades de interesse);
- As fibras naturais são menos abrasivas que as fibras artificiais usualmente utilizadas como reforço, como, por exemplo, fibra de vidro, e assim geram um menor desgaste dos equipamentos envolvidos no seu processamento;
- São materiais biodegradáveis, característica crucial para componentes que após esgotar a sua vida útil devem ser descartados;
- Compósitos reforçados com fibras naturais, que também utilizam matrizes biodegradáveis, são considerados os materiais menos agressivos ao meio ambiente e podem ser compostados ao final de sua utilização;
- As fibras naturais representam uma nova fonte de renda para a população rural, podendo evitar o enorme fluxo do campo para a cidade, verificado principalmente nas regiões norte e nordeste do país;
- Possuem baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares neste campo de aplicação; e
- Apresentam baixo custo, em relação aos reforços atualmente empregados.

Compósitos de polímeros com fibras naturais vêm sendo também apontados como alternativas potenciais economicamente rentáveis para a fixação de carbono na natureza, reduzindo também a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante o seu ci-

clo de produção, processamento e utilização, ganhando assim um incremento de seu potencial econômico devido à possibilidade de comércio de créditos carbonos para a cadeia produtiva. Cada tonelada de carbono estava cotada em agosto/2006 entre \$15 e \$18 Euros (um ano antes eram \$5 Euros), valor que deve ir a \$30 ou \$40 Euros entre 2008 e 2012, quando a economia de 5,2% das emissões de carbono combinado na atmosfera (CO<sub>2</sub> equivalente em relação às emissões de 1990) tornar-se obrigatória, conforme estabelecido no Protocolo de Kyoto. Estima-se que compósitos de polipropileno contendo 65% de fibras de cânhamo, por exemplo, podem armazenar em média 325 kg de carbono/tonelada durante a sua vida útil<sup>[14]</sup>.

### Planejamento dos Estudos do Grupo de Compósitos do Fênix Amazônico

Os estudos iniciais do grupo de compósitos do Fênix estão sendo realizados com o objetivo de se testar a viabilidade do emprego das fibras de madeira balsa e da embaúba, e fibras vegetais de bambu e mamona, em compósitos com termoplásticos, em especial poliolefinas e PVC reciclados a partir de resíduos urbanos. A análise termogravimétrica (TGA) das fibras indicará a temperatura limite de utilização destas fibras e assim, quais as matrizes termoplásticas mais adequadas para preparação dos compósitos. A utilização de matrizes termofixas também poderá ocorrer, com a vantagem de que as suas temperaturas de processamento são bem mais baixas em relação às temperaturas de processamento das matrizes termoplásticas. O conhecimento da estrutura interna (anatomia) das fibras é importante e necessário, pois além de auxiliar na identificação de espécies, no entendimento de processos fisiológicos e no esclarecimento dos mecanismos de adaptação dos vegetais aos diferentes ambientes, fornece informações tais como rugosidade, tamanho dos poros (vasos) e comprimento das fibras, estando todas essas diretamente relacionadas com a capacidade de adesão na interface fibra/matriz polimérica (compatibilidade) e capacidade de homogeneização e conseqüentemente com as propriedades mecânicas finais do compósito. Estudos iniciais da estrutura interna das fibras foram realizados através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A



**Figura 3.** Micrografia obtida por MEV da superfície longitudinal e transversal, respectivamente, das fibras de a) balsa; b) embaúba; c) mamona; e d,e) duas espécies de bambu, sem tratamento.

Figura 3 apresenta as micrografias obtidas por MEV da superfície longitudinal e transversal das fibras de balsa, embaúba, mamona e duas espécies de bambu, “*in natura*”, ou seja, na forma em que é encontrada. As micrografias revelam fibras longas contínuas e vasos de diferentes formas e tamanhos. Estudos sobre o tratamento da superfície das fibras assim como do comprimento e tamanho dos poros das fibras estão sendo realizados pelo grupo.

Estudos sobre a estrutura interna de fibras vegetais mostraram a presença de impurezas naturais e artificiais na superfície dessas fibras provenientes do beneficiamento<sup>[15-17]</sup>. Esses resíduos presentes na superfície das fibras diminuem a adesão quando estas fibras são utilizadas em materiais compósitos ou laminados. Em outro estudo<sup>[18]</sup> foi observado que a lavagem de fibras de sisal com água remove parcialmente impurezas da superfície das fibras, deixando-a mais rugosa, o que pode aumentar a adesão na interface fibra/matriz.

Outro tratamento para melhorar as características adesivas da superfície removendo as impurezas é denominado mercerização (solução de NaOH 10%) e tem sido muito utilizado para tratar fibras celulósicas. Através desse tratamento a tensão superficial e conseqüentemente a molhabilidade das fibras se tornam maiores, melhorando também a ligação através de uma forma mecânica de entrelaçamento entre a matriz e a superfície rugosa das fibras. A mercerização também proporciona o desfibrilamento das fibras, ou seja, a desagregação das fibras em microfibras, aumentando assim a área superficial efetiva disponível para o contato com a matriz líquida. Dados da literatura<sup>[19]</sup> descrevem que muitos compósitos nos quais foram utilizadas fibras mercerizadas, as propriedades mecânicas foram superiores àqueles nos quais foram utilizadas fibras não-tratadas. O tratamento das fibras com ar ionizado é outro método empregado para melhorar a adesão interfacial fibra/matriz polimérica. A viabilidade desse tratamento foi evidenciada em fibras de curauá tratadas com ar ionizado na moldagem de compósitos fenólicos<sup>[20]</sup>.

Dados da literatura sobre o desempenho de materiais compósitos reforçados com fibras mostram que o comprimento crítico (ou a razão de aspecto crítica) das fibras depende da fração volumétrica destas nos compósitos. Em geral, quanto maior a razão de aspecto menor é a fração volumétrica crítica<sup>[21,22]</sup>. A resistência de compósitos com baixa fração volumétrica de fibra é pouco influenciada pela fibra. Nesse caso, as fibras agem como defeitos e fragilizam a matriz, reduzindo a resistência mecânica do compósito. Acima de uma fração crítica a resistência dos compósitos aumenta com o aumento do teor de fibras na matriz.

Agentes de acoplagem/compatibilização para promoção de uma melhor interface fibra/matriz e auxiliares de fluxo para aumento da processabilidade também devem ser utilizados. Cargas como talcos também poderão ser utilizadas para aumentar ainda mais a rigidez destes compósitos.

Agentes de expansão poderão ainda ser testados com o objetivo de diminuir a densidade dos compostos.

Paralelamente aos estudos propostos, uma investigação da reciclabilidade destes compósitos será realizada, pensando-se no ciclo de vida dos produtos obtidos.

A médio prazo, a partir da prospecção da biodiversidade de plantas, pretende-se criar uma Biblioteca de Fibras Vegetais Naturais da Amazônia, onde as fibras serão caracterizadas e o seu potencial de uso em compósitos com termoplásticos e termofixos avaliado.

Até o presente momento, as investigações iniciais estão sendo realizadas com recursos próprios do CCDM/UFSCar – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais. O grupo de pesquisa conta hoje com 20 pesquisadores, dos quais 10 são doutores, 9 mestres e 1 graduado. É um grupo aberto, onde todos os pesquisadores que tiverem interesse poderão colaborar e serão muito bem-vindos. Uma vez consolidado o grupo e os resultados preliminares apontarem o caminho a ser seguido (melhores pares matriz – fibra vegetal), será realizada a solicitação de suporte financeiro junto aos Órgãos de Fomento brasileiros.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CCDM pelo apoio financeiro.

## Referências Bibliográficas

1. Diamond, J. - Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed, Viking Publishers, p.575, 2005.
2. <http://www.greenpeace.org.br/amazonia>.
3. <http://www.edumed.net/amazon/region-p.html>.
4. Barbosa, A. - Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - contato: antenor@inpa.gov.br.
5. Mattoso, L. H. C.; Pereira, N. C. ; Souza, M. L. & Agnelli, J. A. M. - Brasília: EMBRAPA Produção e Informação, *in*: Odilon R R F da Silva; Napoleão E D M Beltrão. (Org.). O Agro Negócio do Sisal no Brasil. 1. ed. , p.161, 1999.
6. Nechwatal, A.; Mieck, K. P. & Reußmann, T. - Composites Science And Technology, **63**, p.1273, 2003.
7. Balzer, P. S.; Vicente, L. L.; Briesemeister, R.; Becker, D.; Sordi, V.; Rodolfo Jr, A. & Feltran, M. B. - Polímeros: Ciência e Tecnologia, **17**, p.1, 2007.
8. Carashi, J. C. & Leao, A. L. - Congresso Brasileiro de Polímeros, *in*: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2001, Gramado, RS., p.566, 2001.
9. Bledzki, A. K. & Gassan, J. - Progress in Polymer Science, Oxford, **24**, p.221, 1999.
10. De Paoli, M. A. - Substituição de Fibra de Vidro por Fibras Vegetais, *in*: 6º Seminário das Comissões Técnicas da ABPol, 2002.

11. Pukansky, B. - *European Polymer Journal*, **41**, p.645, 2005.
12. Aziz, S. H.; Ansell, M.; Clarke, S. J. & Panteny, S. R. - *Composites Science and Technology*, **65**, p.525, 2005.
13. Franco, P. J. H. & Gonzalez, A. V. - *Composites. Part A*, **35**, p.339, 2004
14. Pervaiz, M. & Sain, M. M. - *Resources, Conservation and Recycling*, **39**, p.325, 2003.
15. Varghese, S.; Kuriakose, B.; Thomas, S. & Koshy, A. T. *J. Adhes. Technol.*, **8**, p.235, 1994.
16. Joseph, K.; Thomas, S. & Pavithran, C. - *Polymer*, **37**, p.5139, 1996.
17. Joseph, K. & Thomas, S. J. - *Reinf. Plast. Compos.*, **12**, p.139, 1993.
18. Kumar, R. P. & Thomas, S. - *Polym. International*, **38**, p.173, 1995.
19. Mallick, P. K. - *Fiber-Reinforced Composites*, Marcel Dekker Inc., New York, 1988.
20. Paiva, J. M. F.; Wanderson G. T. & Frollini, E. - *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, **9**, p.170, 1999.
21. Elias, H. G. - *Macromolecules*, 2 ed. New York, USA, Plenum Press, 1984.
22. Joseph, K.; Medeiros E. S. & Carvalho, L. H. - *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, **9**, p.136, 1999.

*Enviado: 10/08/07*

*Reenviado: 08/10/07*

*Aceito: 10/10/07*