

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Materiais compósitos

A Norma ASTM D3878-95, define compósito como uma substância consistindo 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. MANO (1991) nos fala que a denominação destes materiais é bastante diversificada, podendo ser tratados como compostos, conjugados ou compósitos.

Das combinações entre metais, cerâmicas e polímeros podem surgir os compósitos. Para tanto, é preciso levar em conta as condições de processamento e as prováveis incompatibilidades entre os componentes. HULL (1996) cita que a finalidade da combinação é prover características específicas para o material resultante, para cada tipo de aplicação desejada.

Em geral, compósitos são formados por dois constituintes, um é a chamada fase matriz que é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa.¹

CALISTER (2007) propõe uma classificação dos compósitos de acordo com o esquema da Figura 2, levando em conta a geometria de reforço.

Segundo D'ALMEIDA², os compósitos podem ser classificados em função da matriz, essa classificação fornece uma indicação geral das propriedades nas quais os compósitos podem ser usados, assim:

Compósitos de matriz polimérica – dividem-se em termorrígidos e termoplásticos, usados em aplicação à baixa temperatura e são os mais largamente utilizados devido à baixa densidade dos polímeros e a sua processabilidade. Ex: Resina de poliéster e fibra de vidro.

¹ Segundo CALLISTER (2005), por “geometria da fase dispersa” subentende-se a forma das partículas, seu tamanho, sua distribuição e sua orientação.

² Notas de sala de aula. Disciplina de Compósitos. José Roberto Moraes d'Almeida. PUC Rio.

Compósito de matriz metálica – consistem em ligas metálicas que têm sua temperatura de serviço máxima definida pela temperatura de fusão da matriz. Ex: Alumínio e fibras de boro.

Compósito de matriz cerâmica – consistem de cerâmica com fibras cerâmicas, são indicadas para aplicações a altas temperaturas. Ex: Carbono e fibras de carbono.

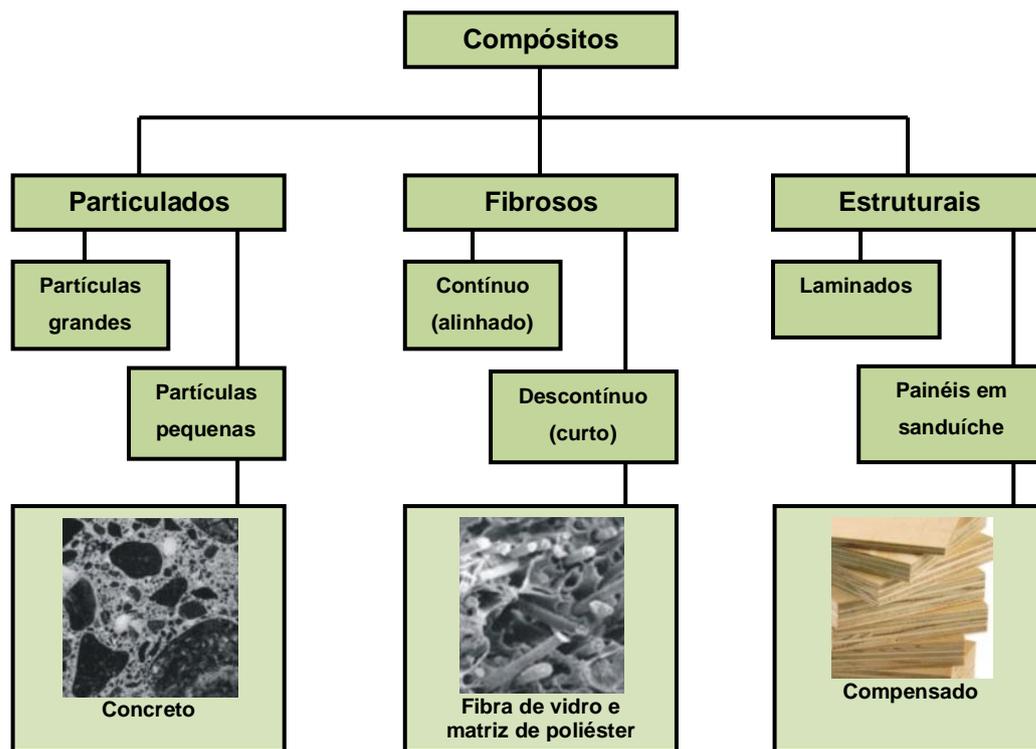


Figura 2 – Classificação de compósitos. (Adaptado de CALISTER, 2007)

2.2 Compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais

A utilização de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos não é uma atividade recente. SILVA (2003) relata que as primeiras patentes com esses materiais datam da década de 60, e que durante os anos 70 e 80, as fibras sintéticas substituíram as fibras vegetais, devido ao seu melhor desempenho e aos aspectos econômicos.

Porém, a partir da década de 90, com a crescente conscientização ecológica a respeito do uso de materiais não renováveis, a sociedade vem buscando alternativas para sanar os problemas ambientais que ora se apresentam, fazendo ressurgir o uso das fibras vegetais em muitos setores, especialmente o automotivo. Dessa forma, vem crescendo o uso de fibras vegetais como reforço em matrizes poliméricas, tanto por aspectos ecológicos quanto por aspectos tecnológicos e econômicos que esses materiais apresentam.

O uso de fibras vegetais ou lignocelulósicas como reforço em materiais compósitos vem crescendo nos últimos anos, SCHUH & GAYER, 1997. De acordo com ROWELL et al., (1997), 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.

Segundo MONTEIRO et al., (2006), muitas fibras são regularmente cultivadas como o algodão, linho, cânhamo, rami, sisal, juta, etc. Outras existem como subproduto de plantas com finalidade para alimento, como o bagaço de cana, a casca do coco e o caule da bananeira. Um terceiro grupo corresponde àquelas fibras pouco conhecidas que só recentemente vêm sendo investigadas para aproveitamento como reforço de compósitos. Exemplo destas fibras são o curauá, a bucha, a piaçava e, a fibra de ubuçu, objeto de pesquisa deste trabalho.

Fração volumétrica, razão de aspecto, distribuição e orientação das fibras, adesão matriz-fibra e composição química da matriz polimérica e das fibras são os fatores que influenciam diretamente as propriedades mecânicas dos compósitos. Dentre as matrizes mais utilizadas nos compósitos poliméricos encontram-se as fenólicas, poliésteres, epóxis e poliamidas. Estima-se que a maioria dos compósitos poliméricos utiliza matrizes de polímeros termorrígidos. Dentre as resinas termoplásticas, o destaque é para o polietileno de baixa densidade e o polipropileno (SILVA, 2003). Pesquisas com compósitos poliméricos de matrizes biodegradáveis como a resina de mamona, resina de milho, entre outras oriundas de óleos vegetais vêm apresentando resultados promissores.

A Tabela 1 ilustra valores de propriedades de algumas fibras vegetais, sendo possível realizar uma comparação com os materiais sintéticos comumente utilizados na fabricação de materiais compósitos.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e fibras convencionais de reforço.

FIBRA	DIÂMETRO (μm)	DENSIDADE (g/cm^3)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)	ALONGAMENTO (%)
Algodão	16 – 21	1,5 – 1,6	287 - 597	5,5 – 12,6	7 – 8
Juta	200	1,3	393 - 773	26,5	1,5 – 1,8
Linho	....	1,5	354 - 1035	27,6	2,7 – 3,2
Cânhamo	....	.....	690	.....	1,6
Rami	....	1,5	400 - 938	61,4 – 128	3,6 – 3,8
Sisal	50 – 300	1,45	511 - 635	9,4 – 22	3 – 7
Coco	100 – 450	1,15 – 1,45	131 - 175	4 – 13	15 – 40
Vidro - E	8 – 14	2,5	2000 - 3500	70	1,8 – 3,2
Carbono	7 – 10	1,6 – 1,9	4000	230 – 240	1,4 – 1,8

Fonte: MOHANTY et al., (2000), BLEDZKI; GASSAN, (1999).

De acordo com a Tabela 1, é possível observar que o desempenho das fibras de coco como reforço em compósitos é insatisfatória mesmo quando comparada com outras fibras vegetais em função de vários fatores como baixo teor de celulose, altos teores de lignina e hemicelulose, elevado ângulo microfibrilar e alta variação do diâmetro (GEETHAMMA et al., 1999). Mesmo assim, essa fibra vem sendo largamente empregada pela indústria automobilística, tanto no estofamento dos bancos quanto em painéis para interiores dos automóveis (SILVA, 2003).

O número de trabalhos desenvolvidos sobre compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais registrados nas bases de pesquisas é alto. Assim, será mostrada, a seguir, uma rápida revisão bibliográfica sobre estes materiais.

BLEDZKI & GASSAN (1999) realizaram uma revisão geral de compósitos produzidos com fibras naturais, apresentando muitas referências sobre diversos aspectos desses materiais.

MOTHÉ & ARAÚJO (2004) desenvolveram compósitos de resina poliuretano com fibras de curauá. O trabalho teve o objetivo de analisar o comportamento térmico e o mecanismo de decomposição térmica de compósitos do poliuretano/ fibra de curauá nas proporções de 5,10 e 20% (p/p) de fibras. As amostras foram caracterizadas por técnicas de análise térmica (TG, DTG, DTA E

DSC) e propriedades mecânicas (resistência à tração, deformação na ruptura e módulo de Young). Os compósitos de poliuretano se decompõem em dois estágios e mostram três temperaturas de transição vítrea, uma vez que o material apresenta segmentos rígidos e flexíveis. A incorporação de fibra nos compósitos de PU com curauá provocou um aumento no módulo de Young e uma diminuição na deformação na ruptura. O trabalho gerou ainda a confecção de um capacete para ciclista (Figura 3).

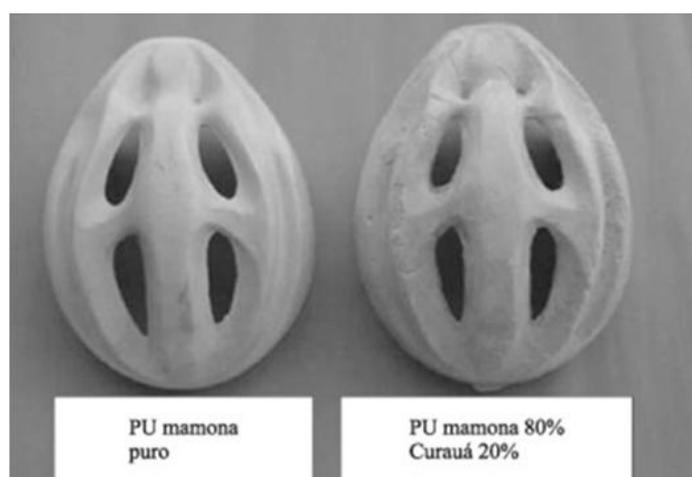


Figura 3 – Capacete para ciclista de PU puro e PU com 20% (p/p) de curauá. (MOTHÉ & ARAÚJO, 2004).

CARVALHO et al., (1999) desenvolveram compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. Nesse trabalho, as propriedades tênsis de compósitos de matriz poliéster, reforçados por fibras curtas de sisal foram determinadas em função do comprimento, teor e orientação das fibras. Os resultados mostraram que para os compósitos investigados, a resistência à tração aumentou com o comprimento das fibras (5 – 45 mm), atingiu um patamar (45 – 55 mm) e então decresceu (55 – 75 mm) enquanto os valores de módulo e de alongamento na ruptura não dependiam do comprimento das fibras. A resistência à tração dos compósitos aumentou com o teor de fibras até 50% em peso e, a partir daí, tendeu a decrescer. A resistência à tração de compósitos reforçados por fibras orientadas e testados longitudinalmente ao reforço foi 10 vezes maior do que a sua resistência transversal e 3 vezes maior do que a resistência de compósitos reforçados por fibras dispostas ao acaso. Os resultados demonstram

que compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras de sisal apresentando bom conjunto de propriedades mecânicas, adequados a várias aplicações puderam ser obtidos. A Figura 4 ilustra o aspecto dos compósitos estudados.

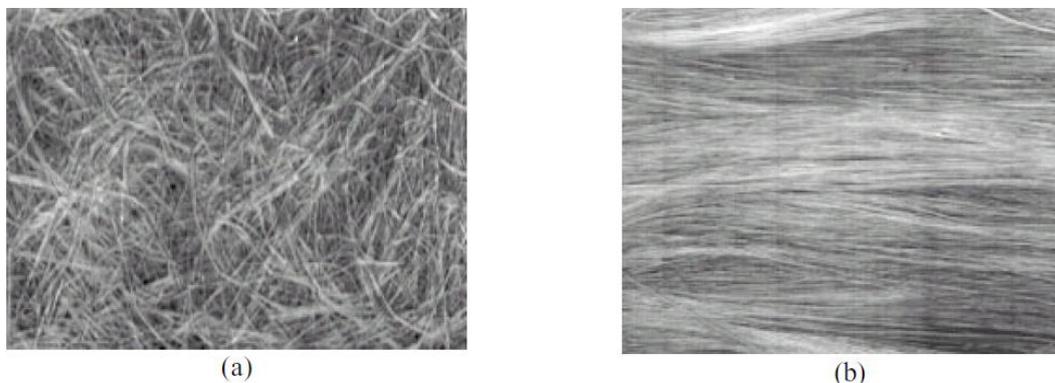


Figura 4 - Aspecto dos compósitos com fibras orientadas aleatoriamente (a) ou unidirecionalmente (b). Fonte: CARVALHO et al.,1999.

PAIVA et al., (1999) desenvolveram compósitos de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais. Neste trabalho, pré-polímeros do tipo fenólico (resóis) e lignina-fenol (40% w/w) foram sintetizados e usados na preparação de matrizes em compósitos reforçados com diversas fibras vegetais (curauá, sisal e bagaço de cana-de-açúcar), sendo essas fibras previamente extraídas com cicloexano/etanol. Os compósitos reforçados com sisal apresentaram um aumento significativo na resistência ao impacto, quando comparados com a matriz termofixa. As fibras de curauá foram submetidas a um tratamento adicional com NaOH 10%, tendo os respectivos compósitos apresentado também resistência ao impacto superior ao da matriz fenólica não reforçada, enquanto que os compósitos reforçados com bagaço de cana-de-açúcar apresentaram pequena alteração nesta propriedade. As fotomicrografias (Figura 5) realizadas por MEV mostram que o compósito lignina-fenol com fibras de bagaço (1,5 cm) como reforço apresenta certa adesão entre as fibras e a matriz, pois as fibras não estão “soltas”, sugerindo que sofreram quebra durante o ensaio de impacto. No compósito com as fibras de sisal, observa-se que as fibras de sisal não estão recobertas pela resina (polímero fenólico), indicando pequena adesão fibra-matriz.

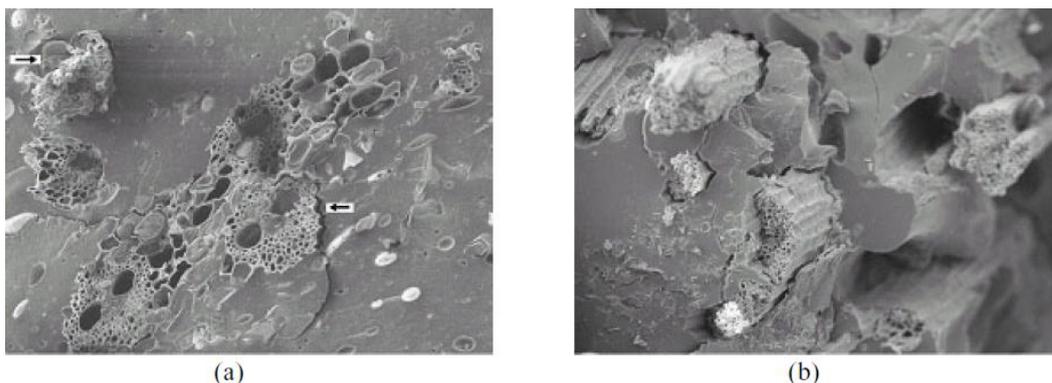


Figura 5 - Microscopias obtidas por MEV com ampliação de 200X: (a) compósito lignina-fenol/fibras de bagaço 1,5cm; (b) compósito fenólico/fibras de sisal 3 cm.

ROWELL et al., (1997) observaram que as fibras vegetais são uma fonte alternativa viável de serem utilizadas na indústria de compósitos, porém é preciso que haja incentivos a uma colheita e manejo corretos, de modo a tornar essas fibras mais competitivas. A fibra de kenaf, por exemplo, apresentou excelentes propriedades específicas e potencial para ser utilizada como reforço em materiais compósitos. Nos experimentos foram utilizados diversos tipos de fibras naturais misturadas com polipropileno e em seguida moldados por injeção, com o peso da fibra variando de 30 a 60%. Para melhorar a adesão fibra/matriz foi utilizado um compatibilizante ou agente de acoplamento. Os resultados dos ensaios de resistência à tração e flexão dos compostos com 50% em peso de fibras de kenaf/PP se mostraram equiparáveis aos resultados dos compostos de fibras de vidro (40%) e PP.

TITA et al., (2002) realizaram um estudo sobre a resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos com matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. Neste trabalho pré-polímeros fenólicos e lignocelulósicos (substituição de 40% em massa de fenol por lignina, extraída do bagaço de cana) foram sintetizados para preparar compósitos com matrizes termofixas, usando bagaço de cana-de-açúcar como agente de reforço. Este material lignocelulósico foi modificado por métodos químicos e/ou físicos (tratamento com álcali, esterificação, ar ionizado). O bagaço

de cana promoveu pequeno aumento na resistência ao impacto das matrizes fenólica e lignofenólica. Os métodos de tratamento de superfície melhoraram a dispersão das fibras na matriz assim como a adesão entre ambas as resinas, fenólica e lignofenólica, e as fibras lignocelulósicas. Apenas os compósitos tratados com ar ionizado mostraram melhores resultados de resistência ao impacto. Em relação à absorção de água, foi observado que os compósitos fenólicos reforçados com fibras tratadas com 8% NaOH apresentaram uma menor absorção de água. Quanto aos compósitos lignocelulósicos, os reforçados com fibras esterificadas apresentaram uma menor absorção de água.

KALAPRASAD et al., (1997) confeccionaram compósitos híbridos de sisal/vidro/LDPE e observaram que a adição de uma pequena quantidade de fibras de vidro (3% de fibras de vidro e 14% de fibras de sisal, em volume) causou um acréscimo significativo nas propriedades mecânicas do compósito. Outro fato observado neste trabalho foi que com o processo de hibridização, ocorreu o decréscimo da absorção de umidade

SALAZAR & LEÃO (2000) desenvolveram um compósito de látex e fibras de coco para produzir bancos de automóveis e compararam o seu desempenho e vida útil com a dos bancos de espuma de poliuretano, geralmente empregados. Foram elaborados testes que simulam o emprego do material, facilitando a avaliação do desgaste ao longo de sua vida útil. Os testes mostraram que a variação volumétrica das fibras no compósito foi o dobro da apresentada pela espuma.

Em relação a esse último trabalho é oportuno comentar que os compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais apresentam inúmeras aplicações, porém o setor industrial que mais utiliza e investe em pesquisas com este material é o automotivo.

2.2.1 Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais: Aplicação no setor automotivo

MARSH (2003) em seu estudo sobre novos materiais no setor automotivo nos fala que esse setor utiliza em grande quantidade uma gama enorme de materiais na confecção de seus carros. Isso vem se tornando um problema

ecológico, já que após seu uso as peças são descartadas no meio ambiente tão logo já não sirvam para o uso.

A seleção de materiais orientados para o futuro é indispensável nos dias de hoje em razão dos aspectos tecnológicos e econômicos decorrentes das diretrizes promulgadas pela legislação da União Européia sobre os carros em fim de vida útil. Em decorrência desta lei, foi estabelecida uma cota de reciclagem para veículos sucateados, a qual seria de 80% até o ano de 2006, passando a 95% até o ano de 2015, incluindo uma exigência de aproveitamento térmico de 85% até 2006 e 95% até o ano de 2015 (KLEBA, 2004; MARSH, 2003). Nesse contexto, a Alemanha se destaca, com o objetivo de produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis, objetivando além do aspecto ecológico, a redução de custo e peso dos carros (HILL, 1997).

A problemática maior no setor automotivo se refere à grande quantidade de polímeros utilizados na construção dos veículos, mais que os metais. Esses polímeros quando descartados representam um problema para o meio ambiente, além de serem derivados do petróleo, um recurso não renovável (HEMAIS, 2003).

Uma possível solução para resolver esta questão seria utilizar termoplásticos na confecção dos veículos, já que esses podem ser termicamente reciclados. Porém, para um futuro mais sustentável, é preciso pensar em soluções mais completas. Nesse contexto, os compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais surgem como um material que pode revolucionar o século XXI, especialmente, os chamados “compósitos verdes”, baseados em fibras e resinas derivadas de plantas. Esses materiais além de se degradarem mais facilmente quando descartados no meio ambiente, são oriundos de fontes renováveis.

De acordo com SUDDELL (2002), uma importante característica destes materiais é a capacidade de fraturar sob impacto sem soltar lascas. Outras vantagens são a estabilidade dimensional, resistência às intempéries, isolamento acústico e a redução de peso do veículo em até 40% quando comparado com as fibras de vidro, que estão presentes na maioria dos compósitos da indústria automotiva. Em um estudo conduzido pelo Ministério da Agricultura da Inglaterra, até 20 kg de fibras naturais poderiam ser utilizadas em cada veículo e na atualidade, de 5 a 13 kg de fibras naturais por veículo são utilizados. Projeções para 2010 sugeriam que o consumo de fibras vegetais na indústria automotiva

européia cresça de 50 a 70 mil toneladas atuais para mais de 100.000 toneladas. Este dado precisaria ser verificado para os dias de hoje.

Segundo SCHUH & GAYER (1997), as aplicações de compósitos com fibras naturais na indústria automotiva incluem: painel (console), revestimento das portas, cintos, partes alcochoadas, painel traseiro e painéis solares. MARSH (2003) relata que muito em breve a aplicação de compósitos poliméricos com fibras vegetais não vai se limitar tão somente à confecção de artigos internos automotivos, mas sim, terão aplicações estruturais. A Figura 6 ilustra um automóvel Mercedes Classe A, que tem suas peças internas confeccionadas com compósito polimérico reforçado por fibras naturais como o linho e a juta.

Outra empresa que vem investindo no uso de materiais compósitos reforçados por fibras vegetais é a BMW, como resultado de uma preocupação com as questões ecológicas e a disponibilidade destes materiais na natureza. A Figura 7 ilustra um automóvel BMW série 7 que emprega 24 kg de materiais renováveis, dentre os quais mais de 13 kg são de fibras vegetais. Essas fibras foram utilizadas nos revestimentos de portas e outras partes internas do veículo.



Figura 6 – Mercedes Classe A com seus componentes internos confeccionados com compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais. (Fonte: MARSH 2003, cortesia da Mercedes Benz).



Figura 7 – BMW e o uso de fibras vegetais (Fonte: BMW GROUP 2006).

De acordo com a Revista AUTODATA (2006)³, a pesquisa por materiais renováveis no setor automotivo é tema dos mais explorados em razão da busca pela sustentabilidade ambiental. Em relação às vendas dos veículos, a sustentabilidade representará em breve, a diferença de vender ou não vender ao consumidor. Não porque este será guiado por uma febre de consciência ecológica que o fará adquirir um produto de empresa sustentável, mesmo mais caro; mas sim, o fato de que produtos não sustentáveis jamais conseguirão chegar às prateleiras. Bancos não oferecerão crédito, e, a cadeia produtiva, especialmente automotiva, a riscará da lista de parceiros, transportadoras não aceitarão embarques, a legislação acabará, de um meio ou de outro, restringindo suas atividades, e até funcionários procurarão a concorrência para oferecer seus esforços. É um mundo novo. A sustentabilidade, especialmente seu braço ambiental, acabará por ser fator determinante.

O Bugster é um carro conceito da Fiat totalmente desenvolvido pela engenharia da montadora em Betim (MG) e foi apresentado na 25ª Edição do Salão Internacional do Automóvel em 2008 e tem design brasileiro. Trata-se de um veículo que traz o conceito *Environment \$ Fun*, misturando componentes

³ Revista AUTODATA. Disponível em: <http://www.autodata.com.br/modules/revista.php>

ecologicamente corretos e diversão ao dirigir. Com design futurista, o carro tem motor elétrico, utiliza em sua carroceria fibras naturais de fontes renováveis (para ter menos impacto no meio ambiente), além de fazer uso da nanotecnologia para fazer peças mais leves e resistentes. O Bugster (Figura 8) é o ponto de partida no Brasil para a adoção de novas soluções de mobilidade com materiais alternativos, condizentes com a filosofia de não agressão ao planeta. (AUTOESPORTE, 2009).



Figura 8 – Bugster, o carro conceito da Fiat desenvolvido em Betim (MG). Fonte: AUTOESPORTE, 2009.

2.2.2 Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais: Aplicação no setor da construção civil e design

Segundo MORAES (1997), no final do século XX, a indústria conseguiu vencer os limites de produção com o uso de novos materiais e tecnologia avançada, por meio de métodos e processos comprovadamente precisos de produção e programas de controle da qualidade total. Aproveitando a linha de pensamento desse autor, esta pesquisa visa analisar a importância da inclusão dos compósitos vegetais enquanto material alternativo para a confecção de elementos da construção civil, tais como pisos e revestimentos, telhas, entre outros. Na área do design industrial o material pode se prestar à fabricação de artefatos e como laminados para mobiliário.

O The Affordable Composites from Renewable Sources (ACRES) Group, Center for Composite Materials (CCM) & Departamento de Engenharia Química, juntamente com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Delaware, EUA, está desenvolvendo pesquisas com biopolímeros a partir do óleo de soja, bem como na confecção de biocompósitos com fibras vegetais, para diversas aplicações, tais como: telhas para cobertura, placas, painéis de vedação vertical e mobiliários (Figuras 9 e 10).



Figura 9 – Telhas de compósito polimérico de óleo de soja e fibras vegetais (Fonte: ACRES, 2007)



Figura 10 – Placas de compósito polimérico de óleo de soja e fibras vegetais (Fonte: ACRES, 2007)

Outro exemplo de material compósito já bastante conhecido pela construção civil é A “madeira-plástica”. As resinas geralmente utilizadas são as termofixas como uréia, fenol, ou melamina-formaldeído e isocianatos.

De acordo com dados da UNESP⁴ (2005) o compósito madeira-plástica pode ser definido como uma mistura de pó de madeira com algum tipo de resina plástica que necessariamente passam por processo de extrusão para posteriormente ser moldado. O uso desse compósito tem crescido devido às vantagens desse produto em relação à madeira, como por exemplo, não rachar, não empenar e exigir pouca ou nenhuma manutenção. Dentre muitas fibras naturais de interesse tecnológico, o resíduo de madeira substitui com vantagens as cargas e reforços tradicionalmente empregados em compósitos poliméricos, particularmente os de origem mineral, tais como o talco e fibra de vidro. As Figuras 11A e 11B ilustram o aspecto e aplicações dos compósitos WPC’S (*Wood Plastic Composite*). As Figuras 12A e 12B ilustram respectivamente os perfis produzidos e uma aplicação do plástico-madeira na construção de um deck.

Como foi visto, através de alguns exemplos, os compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais já são bastante aplicados pelo setor da construção civil. Espera-se com esta pesquisa que o compósito com matriz derivada de óleo de mamona e fibra de ubuçu se mostre também aplicável à construção de peças para este setor, especificamente, pisos e revestimentos.



Figura 11 – (A) Aspecto da matéria-prima do compósito plástico-madeira; (B) Pós de madeira, polímeros e algumas peças fabricadas com o plástico-madeira (Fonte: Wikipédia, 2009).

⁴ Diretório de Projetos Tecnológicos da UNESP. Área: Meio Ambiente.



(A)



(B)

Figura 12 – (A) Perfis produzidos a partir do compósito plástico-madeira; (B) Deck construído com o compósito “madeira-plástica” (Fonte: Wikipédia, 2009).

Um exemplo a ser citado na área do design, especificamente na fabricação de artefatos ou objetos de uso cotidiano mais simples, é o da Empresa COZA, com as três linhas de produtos denominadas BIOS, ORGANIC e NATIVE. Os produtos destas linhas são confeccionados a partir de lignina e biopolímero da batata ou amido (100% biodegradável), ambos reforçados com fibras vegetais como as de coco. A Figura 13 ilustra a linha de produtos que levam a fibra de coco como reforço em biopolímeros produzidos pela empresa em questão. A linha ORGANIC traz texturas e aromas naturais, e, sobretudo, preserva a natureza (Figura 14), sendo fabricada a partir de biopolímero de batata e fibras vegetais.



Figura 13 – Linha BIOS Banho Native da Empresa COZA



Figura 14 – Linha ORGANIC Organizadores COZA

De acordo com o exposto, tanto na área dos materiais para construção civil quanto para a área do design, os compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais são tendência em material, principalmente para as empresas que se preocupam com preservação ambiental e querem apresentar ao mercado consumidor produtos mais sustentáveis, que respeitam o meio ambiente. Diante disto, esta pesquisa se encaixa neste perfil, ou seja, o de uma busca por um material menos agressor ao homem e ao meio ambiente.

Os dois primeiros capítulos desta revisão bibliográfica se detiveram na exposição de informações a respeito de compósitos em geral e posteriormente compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, bem como sua utilização em alguns setores da indústria automobilística, construção civil e design. A partir deste ponto, esta revisão está focada nos materiais que compõem os compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais, primeiramente uma discussão geral a respeito de fibras naturais como material de reforço, posteriormente uma panorâmica a respeito de fibras vegetais (importância, modos de cultura, dados de resistência mecânica e o Brasil como produtor mundial de fibras), segue-se a apresentação da fibra de ubuçu como objeto de estudo desta pesquisa, e finalmente, a parte matriz deste compósito, ou seja, a resina de mamona.

2.3 Fibras – Panorama geral

Atualmente, a moderna indústria de compósitos está baseada na possibilidade de produzir materiais na forma de fibras. Assim, os compósitos fibrosos são os mais empregados, pois as fibras têm uma resistência muito superior aos materiais “volumétricos” (D’ALMEIDA⁵, 2007). Segundo PERSON et al. (1984) as fibras podem ser divididas em dois grupos principais, fibras naturais e fibras feitas pelo homem (ou sintéticas), como ilustrado na Figura 15.

As fibras feitas pelo homem ou fibras sintéticas são o grupo de reforços mais largamente empregado, incluindo as fibras de vidro, de carbono, aramidas, de boro, de alumina, de carbetto de silício e fibras metálicas como berílio, tungstênio e aço. Dentre estas, as de vidro são as mais largamente utilizadas por serem mais baratas que as outras fibras sintéticas (D’ALMEIDA, 2007). As fibras naturais são tidas como ecologicamente corretas e sequestradoras de carbono, sendo classificadas em: fibras lignocelulósicas (vegetais); fibras animais (lã, seda) e fibras minerais (asbestos). O incentivo ao uso das fibras naturais, segundo a FAO⁶ (2002), é fundamental para o desenvolvimento das regiões de onde essas fibras são originárias, geralmente regiões subdesenvolvidas, como ocorre no Brasil que é um dos maiores produtores mundiais das fibras de sisal.

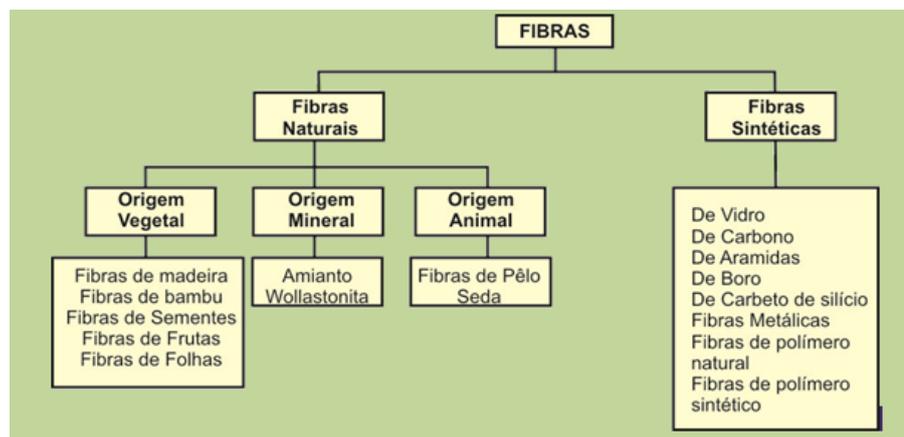


Figura 15 – Classificação das fibras. (Adaptada de PERSON et al, 1984)

⁵ Notas de aula. Disciplina de Compósitos. DEMA. PUC Rio. 2007.

⁶ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agriculture statistical database.

2.3.1 Fibras vegetais – Panorama geral e classificação

Segundo MANZINI & VEZZOLI (2005), o conceito de *sustentabilidade ambiental*, refere-se às condições sistêmicas segundo as quais, em nível regional e planetário, as atividades humanas não devem interferir nos ciclos naturais em que se baseia tudo o que a resiliência⁷ do planeta permite e, ao mesmo tempo, não devem empobrecer seu capital natural (conjunto de recursos não renováveis), que será transmitido às gerações futuras.

Em um mercado globalizado e competitivo e com a crescente preocupação mundial com o meio ambiente, é fundamental que se busque o uso de recursos naturais renováveis para produzir materiais mais ecológicos e que estes representem uma fonte alternativa de grande potencial econômico, ou seja, um desenvolvimento comprometido com o conceito de sustentabilidade ambiental.

Assim, as fibras vegetais ou lignocelulósicas se encaixam perfeitamente nesse contexto, mostrando-se como um recurso natural renovável, ecológico e adequado para o correto desenvolvimento econômico e ambiental.

MORASSI (1994) reporta que as fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz (zacatão). As fibras oriundas do caule ou das folhas são as chamadas fibras duras e são as mais utilizadas como reforço em materiais compósitos.

As fibras vegetais são tradicionalmente utilizadas em vários fins, como a produção de fios, cordas, sacarias, mantas, tapetes, artefatos de decoração, etc. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de utilizar as fibras vegetais em novas aplicações e os compósitos poliméricos se apresentam como um importante campo para isso, já que esta mistura de materiais pode chegar a substituir as fibras sintéticas em muitas aplicações (YOUNG, 1997). O quadro de imagens da Figura 16 ilustra alguns desses usos tradicionais.

⁷ Segundo os autores, a *resiliência* de um ecossistema é a sua capacidade de sofrer uma ação negativa sem sair de forma irreversível da sua condição de equilíbrio. O sistema natural em que se baseia a atividade humana tem seus limites de resiliência que, superados, provocam fenômenos irreversíveis de degradação ambiental.



Figura 16 – Alguns usos tradicionais de fibras vegetais no mercado.
Fonte: Wikipédia, 2010.

Quando comparadas com as fibras sintéticas, as vegetais oferecem as seguintes vantagens: fonte abundante e de rápida renovação, baixo custo, baixa densidade, elevadas propriedades específicas, são menos abrasivas se comparadas às fibras de vidro, não tóxicas e biodegradáveis (BLEDZKI & GASSAN, 1999). Um fator importante com relação ao uso de fibras vegetais está na questão de fixar o homem no campo com o seu trabalho, melhorando a economia do país.

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 por fim, a alta absorção de umidade (que pode causar o inchaço das fibras).

Estas desvantagens podem ser minimizadas através de escolha criteriosa da matriz e condições de processamento, bem como pela modificação química da fibra. Matrizes termoplásticas de baixa temperatura de processamento ou matrizes termofixas, que curam em temperaturas abaixo de 200°C são adequadas à fabricação deste tipo de compósito. A modificação química das fibras pode não só

reduzir sua absorção de água, mas também torná-las mais compatíveis e melhorar sua adesão com matrizes apolares e hidrofóbicas (CARVALHO, 2007).

De acordo com LEÃO et al., (1997), um fator de grande relevância para o uso de fibras naturais, especialmente as lignocelulósicas, é a diversidade existente em nosso planeta. Segundo BOLTON (1994), a indústria têxtil consome apenas uma pequena parcela das fibras vegetais utilizadas. O uso da grande maioria das fibras vegetais ainda é dominado por fibras de árvores (madeira). Por isso o autor cita que para competir com o mercado dominado por madeira são necessários incentivos e apoio a um correto plantio e manejo de fibras vegetais através da engenharia genética e métodos que proporcionem a obtenção de propriedades mais uniformes nessas fibras.

A Tabela 2 mostra o inventário de algumas das maiores fontes de fibras vegetais que poderiam ser utilizadas como reforço em materiais compósitos poliméricos. A tabela em questão deve ser tomada apenas como uma estimativa da quantidade de fibras vegetais produzidas no mundo. Um argumento bastante convincente para focar a cultura de fibras vegetais voltada para indústria, é que as mesmas podem substituir as fibras sintéticas em diversos fins, incluindo: materiais para isolamento, embalagens, compósitos e filtros sorventes, etc, além de ser elemento sequestrador de carbono no ambiente. Assim, ao utilizar fibras vegetais na indústria, se está contribuindo com um desenvolvimento sustentável baseado na utilização de recursos renováveis.

Tabela 2 – Fontes importantes de fibras vegetais

FONTES DE FIBRAS	ESPÉCIES	PRODUÇÃO MUNDIAL (10 ³ t)	ORÍGEM
Madeira	(>10 000sp.)	1 750 000	Caule
Bambu	(>1250sp.)	10 000	Caule
Algodão	<i>Gossypium sp.</i>	18 450	Fruto
Juta	<i>Corchorus sp.</i>	2300	Caule
Kenaf	<i>Hibiscus cannabinus</i>	970	Caule
Linho	<i>Linum usitatissimum</i>	830	Caule
Sisal	<i>Agave sisalana</i>	378	Folha
Cânhamo	<i>Cannabis sativa</i>	214	Caule
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	100	Fruto
Rami	<i>Boehmeria nivea</i>	100	Caule
Abacá	<i>Musa textilis</i>	70	Folha

Fonte: BOLTON (1994)

2.3.2 Estrutura física e constituição química das fibras vegetais

De acordo com SAVASTANO JR. (2003), as fibras vegetais são constituídas por células individuais que, por sua vez, compõem-se de microfibrilas dispostas em camadas de diferentes espessuras e ângulos de orientação. As microfibrilas são ricas em celulose, polímero vegetal de cadeias longas (grau de polimerização da ordem de 25000), e estão aglomeradas por hemicelulose amorfa (grau de polimerização entre 50 e 200).

Segundo COUTTS (1992), as células da fibra têm de 10 μm a 25 μm de diâmetro e são compostas por quatro camadas (paredes) de microfibrilas (Figura 17): parede primária, mais externa, de estrutura reticulada; parede secundária S1, de estrutura também reticulada; parede secundária S2, onde as microfibrilas estão orientadas segundo um ângulo θ com relação ao eixo longitudinal da célula em espiral e, por fim, a parede terciária, mais interna, também com as microfibrilas em forma de espiral. A parede secundária S2 é a de maior espessura e, também, a de maior teor de celulose. No interior da célula, há uma cavidade central de secção elíptica, com dimensões de 5 μm a 10 μm , denominada lúmen. As diversas células que compõem a fibra encontram-se aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e, principalmente lignina (70% em média). A região central da fibra também pode apresentar uma cavidade que se chama lacuna.

Segundo SAVASTANO JR. (1992), em consequência da grande incidência de poros permeáveis, que incluem as lacunas e os lumens, as fibras vegetais apresentam grande absorção de água (maior que 90%) e massa específica aparente bastante inferior a real.

A Tabela 3 mostra as dimensões das fibras lignocelulósicas mais comuns. Esse tipo de informação é crítica para selecionar uma determinada fibra para um uso específico. A Tabela 4 ilustra a composição química provável de algumas fibras vegetais.

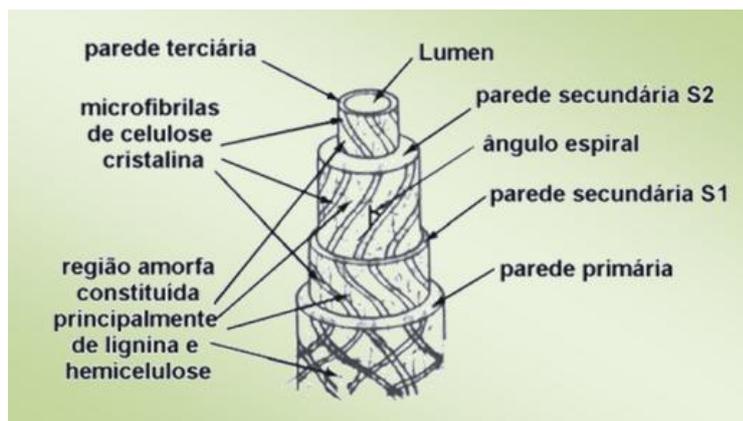


Figura 17 – Constituição estrutural de uma fibra vegetal (RONG et al., 2001).

Tabela 3 – Dimensões de algumas fibras lignocelulósicas

DIMENSÃO DA FIBRA (mm)			
Fibra	Comprimento médio	Comprimento	Espessura
Algodão	10 – 60	18	0,02
Linho	5 – 60	25 – 30	0,012 – 0,027
Cânhamo	5 – 55	20	0,025 – 0,050
Bambu	1.5 – 4	2.5	0,025 – 0,040
Juta	1.5 - 5	2	0,02
Madeira	3.5 - 5	4.1	0,025

Fonte: (ROWELL et al., 1997)

Tabela 4 – Composição química provável de algumas fibras vegetais (% em peso).

COMPONENTE	SISAL	COCO	ALGODÃO	JUTA	LINHO	RAMI	KENAF
Celulose	67 - 78	36 - 43	82,7	61 – 71,5	64,1	68,6	31 – 39
Hemicelulose	10 – 14,2	0,15–0,25	5,7	13,6 – 20,4	16,7	13,1	21,5
Lignina	8 - 11	41 - 45	.....	12 - 13	2,0	0,6	15 – 19
Pectina	10	3 - 4	5,7	0,2	0,2	1,9	.....
Solúveis em água	16,2		1,0	1,1	3,9	5,5	
Ceras	2		0,6	0,5	0,5	0,3	
Ângulo espiral	20	41 - 45		8,0	10,0	7,5	
Teor de umidade	11,0		10,0	12,6	10,0	8,0	

Fonte: BLEDZKI; GASSAN (1999), BISANDA; ANSELL (1991).

Segundo FENGEL & WENEGER (1984), a celulose pode ser descrita como um polímero linear com uma estrutura de cadeia uniforme e sua cristalinidade deve-se principalmente às ligações de hidrogênio.

De acordo com WINANDY & ROWELL (1984), os constituintes das fibras vegetais contribuem diferentemente entre si para a resistência mecânica. A celulose é primariamente responsável pela resistência das fibras, por seu alto grau de polimerização e orientação linear. A hemicelulose atua como uma matriz para a celulose e aumenta a densidade de empacotamento da parede da célula. A lignina não somente mantém as fibras juntas, mas também atua como agente enrijecedor para as moléculas de celulose dentro da parede da fibra.

McLAUGHLIN & TAIT (1980) e CHAND et al., (1988) afirmaram que a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras são diretamente proporcionais ao teor de celulose e inversamente proporcionais ao ângulo das microfibrilas.

Em função do seu maior grau de cristalinidade e seu alto grau de polimerização a celulose costuma apresentar maior estabilidade aos efeitos da degradação, seja ela mecânica, química ou térmica, quando comparada aos componentes não celulósicos co-formadores das fibras. Produtos naturais como a celulose, por possuírem moléculas grandes, são mais resistentes às tensões mecânicas e térmicas que os compostos formados por moléculas pequenas. (AGARWAL et al., 2000; COUTTS, 1986).

Ainda segundo AGARWAL et al, (2000), a lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos, que une as fibras celulósicas formando a parede celular. 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. Fibras com alto teor de lignina são de excelente qualidade e bastante flexíveis .

A hemicelulose é um polissacarídeo formado pela polimerização de vários açúcares, incluindo glicose, xilose, galactose, arabinose e manose, porém com grau de polimerização cerca de um décimo a um centésimo daquele encontrado para a celulose nativa. Normalmente atua como um elemento de ligação entre a

celulose e a lignina, não estando diretamente correlacionada à resistência e dureza das fibras. Por ser mais facilmente hidrolisada do que a celulose, fibras contendo grande concentração de hemicelulose podem ser usadas para a produção de açúcares e posteriormente produção de combustíveis, como o etanol. 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 (ROWELL, 2000).

A estrutura interna das fibras lignocelulósicas e sua composição química interferem diretamente nas propriedades dos compósitos e seu conhecimento ajuda na escolha do correto tratamento químico ou físico para melhorar a interface fibra/matriz.

2.3.3 Métodos de modificação superficial das fibras vegetais

Os compósitos de matrizes poliméricas são os mais largamente utilizados devido à baixa densidade dos polímeros e a sua fácil processabilidade. Dessa forma, vem crescendo o uso de fibras vegetais como reforço nessas matrizes.

Uma boa interface fibra/matriz interfere diretamente nas propriedades mecânicas dos materiais compósitos, pois é através dela que os esforços atuantes na matriz são transmitidos às fibras (CALLISTER, 2009). Por isso se faz necessária uma cuidadosa análise da região interfacial.

As fibras vegetais são consideradas materiais hidrofílicos, enquanto a maioria dos materiais poliméricos é hidrofóbica, o que provoca uma baixa adesão superficial matriz/fibra, sendo este o principal problema encontrado para o emprego efetivo dessas fibras em materiais compósitos. Visando minimizar este problema, são utilizados métodos químicos e/ou físicos que modificam a fibra e aperfeiçoam a interface.

Sobre estudos de interface fibra/matriz, DOTAN et al., (1994) define que a celulose é responsável pela boa adesão entre a fibra e a matriz, enquanto a lignina atua impedindo a difusão da matriz na celulose, dificultando a aderência da fibra ao polímero.

São vários os trabalhos científicos que relatam o efeito de diferentes tratamentos superficiais nas fibras vegetais, visando uma melhora da adesão

fibra/matriz. SCHULZ et al., (2008) afirmam que dentre esses, podemos destacar os tratamentos físicos (corona e plasma) e tratamentos químicos (hidróxido de sódio, agentes de acoplamento silânicos, metacrilamida N-substituída, N-isopropilacrilamida, acetilação, cianoetilação, entre outros).

Segundo BELGACEM et al., (1994), dentre os tratamentos físicos, os de descargas elétricas por corona e plasma a frio, oxidam superficialmente as fibras celulósicas mudando sua energia superficial.

CARVALHO (1997) afirma que os métodos químicos geralmente empregados para modificar a superfície das fibras vegetais são a mudança da energia superficial, a impregnação das fibras e o uso de agentes compatibilizantes. Além da efetividade dos tratamentos, específicos para cada sistema fibra/matriz, o custo e a facilidade de aplicação devem ser considerados.

Os métodos químicos normalmente provocam uma superfície ativa introduzindo algum grupo reativo e proporciona às fibras extensibilidade mais alta pela remoção parcial da lignina e hemicelulose (LOPES et al., 2010).

Dentre os mais antigos métodos de modificação das fibras vegetais, o tratamento alcalino visa limpar a superfície da fibra materiais de baixa massa molar, como ceras e graxas, além de remover parcialmente a hemicelulose e a lignina, principalmente a hemicelulose, que é solúvel em baixas concentrações de álcali e sob condições amenas de reação (FENGEL & WEGENER, 1984).

Com o tratamento alcalino, a tensão superficial e, conseqüentemente, a molhabilidade das fibras aumentam, melhora-se a ligação através de uma forma mecânica de entrelaçamento entre a matriz e a superfície rugosa das fibras. Com um maior desfibrilamento, a área superficial disponível aumenta, aumentando também o contato com a matriz líquida (PAULA, 1996).

É importante frisar que a efetividade do tratamento é dependente das condições de aplicação do tratamento alcalino (concentração, tempo e temperatura), e que as propriedades do compósito são dependentes do sistema fibra/matriz. JOSEPH et al., (1996) afirmam que condições ótimas de tratamento nas fibras vegetais asseguram melhores propriedades de tração dos compósitos.

A evidência da importância da interação fibra/matriz é relatada em diversos estudos sobre compósitos reforçados com fibras vegetais. Alguns desses estudos são relatados a seguir.

D'ALMEIDA et al., (2005), estudaram o efeito de acetilação de grupos hidroxila sobre a estrutura e a morfologia superficial de fibras de bucha (*Luffa cylindrica*) por meio de FTIR e microscopia eletrônica de varredura. O objetivo foi o de aumentar a compatibilidade da bucha com as matrizes poliméricas usualmente empregadas em compósitos. O resultado mostrou que o tratamento reduziu a polaridade das moléculas de celulose e removeu a camada superficial das fibras de bucha, expondo a sua estrutura fibrilar interna, com conseqüente aumento da área disponível para a adesão.

VARMA apud SATYANARAYANA et al., (1990), realizou tratamento químico em fibras de coco com NaOH (5% por 72h). Pelas análises, foi observado lixiviamento da camada da cutícula e aumentos de 40% e 90% na resistência à tração e na tensão de extração (*pull-out*) da fibra, do compósito poliéster/fibra de coco, respectivamente, o que indica melhora significativa na interface entre a fibra e a resina.

RONG et al., (2001) avaliaram o efeito de diversos tratamentos nas propriedades mecânicas de compósitos sisal/epóxi. Os tratamentos incluíram: alcalinização, acetilação, cianoetilação, o uso de agentes silano e aquecimento. Alguns tratamentos foram conduzidos de modo a alterar a estrutura interna das fibras de modo que dois tipos de interface foram considerados: entre fibra e matriz e entre as fibras elementares que compõem a fibra de sisal. Concluíram que no carregamento em tração, a resistência é controlada primariamente pelas ligações entre as fibras elementares. No carregamento em flexão, a interface fibra/matriz é mais influente.

BISANDA (2000) examinou o efeito do tratamento alcalino na molhabilidade de fibras de sisal em compósitos sisal/epóxi. O tratamento melhorou as características de adesão fibra/matriz devido ao acréscimo da energia e rugosidade superficial.

LOPES et al., (2010), estudaram os efeitos dos tratamentos superficiais na redução da absorção de água nas fibras de sisal. Essas fibras foram submetidas aos tratamentos de acetilação, aquecimento e impregnação com licor pirolenhoso. A determinação da absorção de água foi realizada por imersão e a modificação química das fibras, ocorrida pela influência dos tratamentos aplicados, foi avaliada por espectroscopia de infravermelho. Fibras de sisal naturais

apresentaram um ganho de peso por absorção de água de 86% em 24h. Quando tratadas o ganho de peso foi reduzido em até 47% nas acetiladas, 5% nas aquecidas e 12% nas impregnadas. Houve modificações na composição química das fibras após os tratamentos, com incrementos de grupo carbonila e redução das hidroxilas, principalmente nas fibras acetiladas.

SPRINGER et al., (2001), analisaram a influência de tratamentos como a desparafinação e alcalinidade nas propriedades térmicas e eletrocinética das fibras de coco e sisal. Foi utilizada a microscopia eletrônica de varredura e a ζ -potencial, como técnicas de medição das mudanças ocorridas nas superfícies das fibras. Os resultados mostraram que depois da parafinação e do tratamento alcalino, as fibras apresentaram uma superfície dura, principalmente por causa da remoção parcial de ceras e substâncias gordurosas. Depois do tratamento com polimetilmetacrilato (PMMA) as fibras de coco se tornaram mais uniformes e macias do que se comparado com o tratamento alcalino. Tanto o tratamento alcalino quanto o PMMA aumentaram a temperatura de decomposição das fibras de coco e sisal em 10°C em relação às fibras não tratadas. Já a desparafinação não demonstrou nenhuma influência sobre a estabilidade térmicas das fibras.

2.3.4 Brasil como produtor de fibras vegetais – Panorama geral

O Brasil é, sem dúvida, um dos países que possuem a maior biomassa no mundo e a maior extensão territorial cultivável, devendo estes potenciais, serem mais bem explorados. De acordo com SATYANARAYANA et al., (2007), o Brasil ocupa uma posição única entre os países da América do Sul, com uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km² dos quais cerca de 5-6% são de terras aráveis, 22% são pastagens permanentes e 58% de florestas e matas.

Com uma população atualmente de cerca de 190 milhões de pessoas⁸ e o oitavo PIB⁹ do mundo, o país também é privilegiado geograficamente com excepcionais condições climáticas e solo fértil com capacidade para cultivo de várias espécies vegetais.

⁸ <http://www.ibge.gov.br> (acesso em 16 de agosto de 2009)

⁹ PIB – Produto Interno Bruto. <http://oglobo.globo.com/economia/mat> (acesso em 02 de julho de 2009)

Órgãos como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP são algumas das entidades de pesquisa que auxiliam o país no que diz respeito ao desenvolvimento e uso de fibras vegetais em diversos fins. A Tabela 5 ilustra os resultados de intensas pesquisas desses órgãos com relação ao cultivo de fibras vegetais, podendo ser observado que houve um aumento das áreas cultivadas de algumas dessas fibras.

De acordo com SATYANARAYANA et al., (2005), em função da sua contribuição econômica para o país, algumas fibras apresentam sua cultura permanente e outras uma cultura sazonal. Nota-se na Tabela 5 que durante os anos de 2000 a 2004, houve um aumento nas áreas de cultivo da maior parte das fibras produzidas no Brasil. A produtividade de fibras no Brasil vem aumentando nos últimos anos e alguns dos fatores que contribuem para a maior disponibilidade no mercado incluem o apoio de órgãos de fomento, a organização dos agricultores em cooperativas e a mecanização do setor. As fibras convencionais cultivadas no Brasil são a banana, coco, algodão, juta, abacaxi, rami e sisal. Destas, o algodão é cultivado de forma permanente e sazonal, enquanto que coco, banana e sisal são de cultura permanente, o restante é de cultura temporária.

Além das fibras aqui mencionadas, existem muitas outras fibras lignocelulósicas disponíveis no Brasil, que poderiam ser utilizadas em várias aplicações, particularmente, na confecção de materiais compósitos. Dentre essas fibras, destacam-se: bambu, palha de arroz, bucha, palha de trigo e, a fibra objeto deste estudo, o tururi (oriundo da palmeira ubuçu).

A Tabela 6 ilustra algumas fibras importantes cultivadas no Brasil, seus respectivos nomes científicos e centros produtores.

O Brasil vem intensificando seus esforços para que as fibras vegetais sejam utilizadas em pesquisas de ponta, como na 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. Quando esses problemas forem solucionados, os materiais lignocelulósicos poderão representar uma grande mudança no desenvolvimento sócio-econômico dos países que os possuem, especialmente, o Brasil.

Tabela 5 – Áreas de cultivo de fibras vegetais no Brasil

Produto	Área cultivada (hectares)					
		Período				
		2000	2001	2002	2003	2004
Algodão	P	13,678	9270	7796	5692	7105
	T	862,976	893,150	763,992	719,074	115,968
Coco	P	266,577	275,551	280,835	281,630	288,142
Banana	P	233,593	516,678	514,563	514,549	495,385
Sisal (Fibra)	P	204,514	218,771	215,215	225,918	239,124
Jute (Fibra)	T	1355	1204	1094	1094	1513
Malva (Fibra)	T	4901	5395	5994	6556	7174
Abacaxi (Fibra)	T	62,976	63,282	62,862	58,155	59,353
Rami (Fibra)	T	465	399	480	539	539
Arroz (Fibra)	T	3.704,863	3.171,300	3.171,955	3.193,936	3.774,215
Cana de açúcar	T	4.879,841	5.022,490	5.206,656	5.377,216	5.633,700
Curauá	T	NA	NA	NA	100*	400*

Fonte: IBGE (Produção agrícola municipal e levantamento sistemático da produção agrícola, 2007). Legenda: P-Permanente; T-Temporária.

Tabela 6 – Fibras vegetais no Brasil

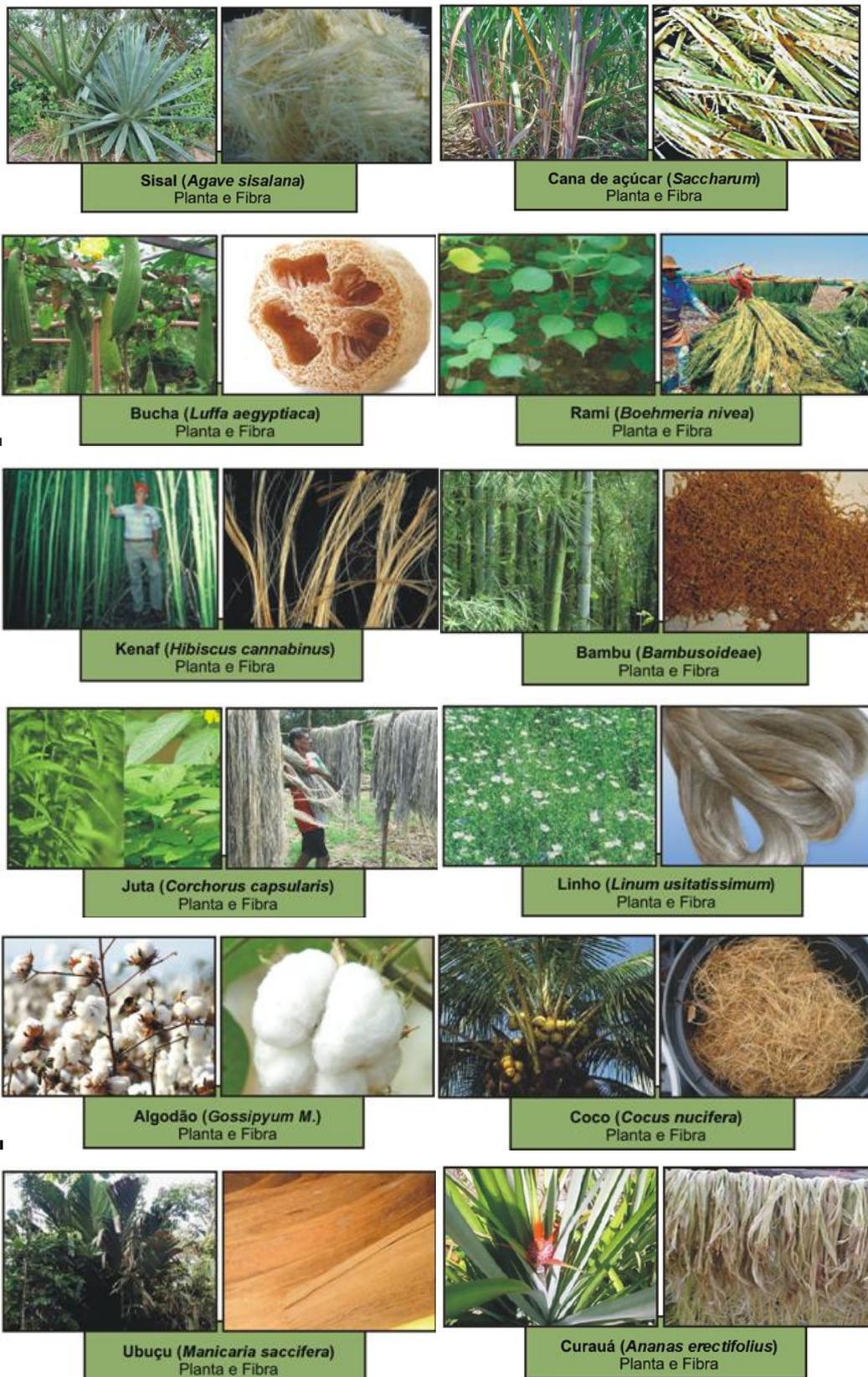
Fibra	Nome Científico	Parte da Planta	Centros Produtores
Sisal	<i>Agave sisalana</i>	Folha	Semi-árido da Bahia e Paraíba
Piaçava	<i>Attalea funifera</i>	Bainha foliar	Região de Valença – BA
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Mesorcarpo do fruto	Região de Recife – PE, Aracaju - SE
Algodão	<i>Gossypium herbaceum</i>	Semente	Campina Grande – PB
Celulose de Eucalipto	<i>Eucaliptus grandis</i>	Tronco	Aracruz – ES
Rami	<i>Boemmeria nivea</i>	Caule	Região de Londrina – PR
Banana	<i>Musa cavendishii</i>	Pseudocaule	Vale do Ribeira – SP
Malva	<i>Urena lobata</i>	Caule	Amazônia

Fonte: SANTOS, 2006.

2.3.5 Quadro de imagens de algumas fibras vegetais

Esse Quadro 1 de imagens foi construído para que se possa visualizar um pouco mais a estrutura e o aspecto físico das plantas e suas fibras mais comuns (Fonte: Wikipédia, 2009).

Quadro 1 – Fibras vegetais: Planta e Aspecto das Fibras (Wikipédia, 2011).



Pelo fato da fibra de ubuçu (também conhecida por Tururi) ser o foco deste estudo, o próximo tópico irá expor os dados silviculturais desta palmácea, sua localização, aplicações e importância econômica que se configura em uma das justificativas para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.4 Palmeira Ubuçu – *Manicaria saccifera*

2.4.1 Classificação e localização

A *Manicaria saccifera* é uma palmácea encontrada em países da América Central e do Sul. A sua classificação científica obedece a seguinte ordem: Reino – *Plantae*; Divisão – *Magnoliophyta*; Classe – *Liliopsid*; Ordem – *Arecales*; Família – *Areaceae*; Gênero – *Manicaria*; Espécie – *Manicaria saccifera*.

Segundo PIO CORRÊA¹⁰ (1984) a palmácea *Manicaria saccifera* Gaertn (*Pilophora testicularis* Jacq.) é encontrada na Região Amazônica, onde suas folhas são muito usadas na cobertura de casas. A planta também é conhecida popularmente por Buçu, Coqueiro-Buçu, Obuçu, Tururi, Ubuçu. Na Guiana Inglesa, *Troolie-Palm* e na Venezuela, *Timiche*.

No Brasil esta planta é encontrada nas matas das várzeas e ilhas da Região Norte, especialmente na Amazônia e Amapá. Nesse estudo focaremos a *Manicaria saccifera* oriunda do Estado do Amapá. Para tanto, é necessário expor informações a respeito dessa região e especificamente das matas de várzeas, onde a palmeira ubuçu é encontrada.

Situado no extremo norte do Brasil, o Estado do Amapá possui uma população em torno de 500 mil habitantes. Segundo o Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá - IEPA (1998), o litoral estuarino¹¹ do Estado do Amapá apresenta um conjunto vegetacional ímpar, moldado pela dinâmica do Rio Amazonas, onde predominam os campos naturais e as florestas de várzea. Dos habitantes do Amapá, 80% vivem na zona urbana e dos

¹⁰ CORRÊA, M. PIO. Naturalista do Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

¹¹ Segundo Dicionário Michaelis – 1 Braço de mar formado pela desembocadura de um rio. 2 Certas sinuosidades do litoral, só cobertas de água durante a maré cheia.

100 mil que habitam a zona rural, mais de 50% sobrevivem dos recursos da floresta da várzea.

As várzeas são ecossistemas energeticamente abertos, associados às planícies de inundações dos rios e igarapés de água branca do estuário amazônico. Apresentam uma estrutura exuberante, rica diversidade e um grande patrimônio genético. Estão submetidas a um ciclo diário de enchentes e vazantes por água doce represada pelas marés. Devido a essa dinâmica, são carreados diariamente para essas áreas uma grande quantidade de material sedimentar (NELSON; OLIVEIRA, 1999).

De acordo com QUEIROZ (2004), rios e lagos da hiléia¹² são muitas vezes acompanhados por faixas de terrenos baixos, sujeitos a inundação durante um determinado período de cada ano. Essas terras baixas são chamadas de *várzeas*, e a floresta que as cobre chama-se *mata de várzea*, em contraste com a *mata da terra-firme*. As terras baixas da zona costeira da hiléia e do grande estuário amazônico são inundadas pela repercussão das marés atlânticas.

De acordo com dados do IEPA (1998), as florestas de várzea ocupam 4,85% da cobertura vegetal do Estado, e aproximadamente 15,46 % do Setor Costeiro Estuarino do Amapá. As espécies características das florestas de várzea nesta região são marcadas pelo domínio de palmeiras que são importantes na economia e fitossociologia local, dentre elas destacam-se: Murumuru (*Astrocaryum murumuro*), jupati (*Raphia taedigera*), açai (*Euterpe oleracea*), (*Attalea maripa*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), patauá (*Oenocarpus bataua*), buriti (*Mauritia flexuosa*), ubuçu (*Manicaria saccifera*), paxiúba (*Socratea exorrhiza*) e várias espécies de marajás (*Bactris*) e ubins (*Geonoma*) (Tabela 7).

Segundo estudos de JARDIM & VIEIRA (2001), as regiões estuarinas do Amapá têm mostrado que as palmeiras são freqüentes em todos os estratos das várzeas (várzea alta e baixa), assim como em áreas de campinas, campinaranas e campos de várzea, porém, com freqüência e abundância muito bem definidas para cada ambiente.

¹² A *hiléia amazônica* (como definiu *Alexander von Humboldt*) refere-se a floresta equatorial que vai das encostas orientais dos Andes, por todo o vale do Amazonas, até as Guianas e possui a aparência, vista de cima, de uma camada contínua de copas, situadas a aproximadamente 50 metros do solo. *Alexander von Humboldt* (14 de setembro de 1769, Berlim — 6 de Maio de 1859, Berlim) foi um naturalista e explorador alemão.

Tabela 7 – Palmeiras da floresta de várzea do Setor Estuarino do Estado do Amapá

NOME VERNACULAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA
Açaí	<i>Euterpe oleracea</i> Mart.	Arecaceae
Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f..	Arecaceae
Jacitara	<i>Desmoncus</i> sp.	Arecaceae
Munbaca	<i>Astrocaryum munbaca</i> Mart = <i>A. gynacanthum</i> Mart.	Arecaceae
Murumuru	<i>Astrocaryum murumuru</i> Mart.	Arecaceae
Paxiuba	<i>Socratea exorrhiza</i> Mart.	Arecaceae
Ubuçu	<i>Manicaria saccifera</i> Gaertn.	Arecaceae
Urucuri	<i>Attalea excelsa</i> Mart.	Arecaceae

Fonte: IEPA (1998)

2.4.2 Dados silviculturais da palmeira ubuçu

O botânico alemão Friedrich Philipp von Martius, publicou em 1823, uma obra de três volumes sobre as palmeiras brasileiras, intitulado de “História Natural das Palmeiras”. Nesta série, estão incluídas as palmeiras da região amazônica, especialmente, a Ubuçu (Figura 18).



Figura 18. *Manicaria saccifera* (Ubuçu). Gravura. Fonte: MARTIUS (1823)

De acordo com WALLACE (1953), o ubuçu em geral mede de 3 a 6 metros de altura. Suas folhas são grandes e quase inteiras, muito semelhantes as das bananeiras, medindo de 4 a 8 metros de comprimento, por 1,5 metros de largura. A palmeira possui frutos que são protegidos por um invólucro constituído por um saco formado de tecido fibroso, flexível e resistente denominado "tururi". As palmeiras de ubuçu na fase adulta e jovem estão representadas nas Figuras 19 e 20.



Figura 19 – Palmeira de ubuçu adulta. Fonte: Wikipédia (2008).



Figura 20 – Palmeira de ubuçu jovem. Fonte: Wikipédia (2008).

CORRÊA (1984) fornece informações mais detalhadas sobre a silvicultura da ubuçu quando assim a descreve: “*Manicaria saccifera* Gaertn. (*Pilophora testicularis* Jacq.). – Caule de 3-5 metros de altura, acima de 30 cm de grossura; folhas no ápice do caule, lâmina simples, bífida no ápice ou irregularmente segmentada, linear-lanceolada ou às vezes lanceoladas de 5-10 metros de comprimento e 1,5 metro de largura; espádices muitas de 1-1,5 metro de comprimento; espata fusiforme com mucro de 2-3cm, ramos cerca de 50, raque cerca de 50cm de comprimento, ramos inferiores pedicelados quase 50cm de comprimento; os medianos de 40cm de comprimento, os superiores de 30cm de comprimento, e todos providos de escamas; flores masculinas e drupa globosa”. A estrutura da ubuçu está representada na Figura 21.



Figura 21 - Estrutura da palmeira ubuçu. 1. Invólucro/saco fibroso denominado “Tururi”. 2. Folhas. 3. Frutos. MARTIUS (1823). Adaptada.

2.4.3 A fibra da ubuçu - Tururi

O invólucro que protege os frutos da palmeira Ubuçu é constituído de um saco formado por um tecido fibroso flexível e resistente denominado “Tururi”. A

fibra desse invólucro tem cor natural castanho escuro, podendo ser alterada conforme exposição solar (Figuras 22; 23 e 24).



Figura 22 – Detalhe do Invólucro/saco fibroso (Tururi) que protege os frutos da palmeira ubuçu. Fonte: Wikipédia, (2008).



Figura 23 – Detalhe da fibra da ubuçu (Tururi). Folha aberta, seca e tratada. Fonte: Wikipédia, (2008).



Figura 24 – Fibra de ubuçu/Tururi.

2.4.4 Tururi – Importância econômica

Estima-se que cerca de 60% das palmeiras amazônicas ocorrentes no estuário sejam utilizadas pelo homem ribeirinho na habitação, alimentação, ornamentação, medicina tradicional e, principalmente nas indústrias, como é o caso do palmito e frutos da palmeira açai e das fibras do ubuçu (BALEÉ, 1988; JARDIM et al., 2004). Este percentual aproxima-se do citado por ALMEIDA & SILVA (1997) onde afirmam que 40% das palmeiras amazônicas representam valor econômico e alimentar no cotidiano da região.

Segundo dados da EMATER/PA, a produção de Ubuçu nos municípios de Curalinhos, Oeiras do Pará, Melgaço e Portel, no ano de 2007, atingiu a marca de 583.465,68 toneladas, com média de fruto por planta variando em torno de 40 a 60 kg/planta. O fruto tem época de frutificação nos meses de março a maio, contendo um líquido que tem uso medicinal no combate da febre alta e uma massa não-comestível.

A população indígena do Estado do Amapá utiliza a fibra de tururi para cobrir suas casas, devido à sua durabilidade, impermeabilidade e resistência. Existe também o artesanato do Amapá que utiliza a fibra de tururi para confeccionar diversos objetos, chegando mesmo a roupas ditas, ecologicamente corretas.

A fibra é extraída da palmeira pela população ribeirinha do Amapá, através de uma peconha¹³ (utensílio rudimentar que, neste caso, é fabricado com a própria fibra do tururi). Depois de retirada da árvore, a fibra é posta para secar e passa por um processo de amaciamento, sem a utilização de produtos químicos, para assim alcançar a textura adequada para aplicação em artesanato. As impurezas das fibras são removidas através de lavagens em água corrente, o que não gera resíduos químicos no meio ambiente. Na Figura 25, está representado o processo de secagem das fibras do ubuçu.

As espatas (invólucro dos frutos/tururi) formam um tecido flexível, empregado em artesanatos para confecção de chapéus e bolsas (MIRANDA et al., 2001). Um exemplo do uso da fibra de tururi no mercado da moda é o trabalho do designer paranaense Jefferson Kulig que, construindo uma ponte entre o urbano e

¹³ Peconha. Ligas de embira em que se prendem os pés para subir às árvores sem galhos. Dicionário Michaelis.

a vestimenta de comunidades afastadas, desenvolveu uma coleção de roupas com a fibra da ubuçu vinda do Amapá (Figura 26).



Figura 25 – Processo de secagem das fibras de tururi. Fonte: Wikipédia, (2008).



Figura 26 – Coleção de roupas criadas com fibras da ubuçu/ tururi. Fonte: Kulig (2006).

O uso da fibra de tururi por parte de pequenas empresas do Amapá e Santa Catarina faz com que a mesma seja divulgada em âmbito nacional e internacional. Estas empresas confeccionam bolsas e outros acessórios utilizando a fibra de tururi como matéria-prima principal, além de outros produtos da Floresta Amazônica, como as sementes, chifre de búfalo, pedras semi-preciosas e pele de

peixe. Para a confecção das bolsas, a fibra pode receber pigmentos naturais, costuras, bordados e aplicações de outros implementos industriais, (Figura 27).



Figura 27 – Bolsas confeccionadas com a fibra de tururi. Fonte: Bolsas Guiné. 2008.

A fibra de tururi possui importância econômica para vários setores do mercado brasileiro, porém ainda não foram realizados estudos mais aprofundados a respeito de suas potencialidades físico-mecânicas e químicas visando sua aplicação em materiais compósitos diversos.

Tendo em vista a importância regional da fibra de tururi e a falta de informações sobre suas propriedades, este trabalho tem o objetivo inicial de caracterizar essa fibra empregando as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica (DTA/TG); Difração de raios-X e Espectroscopia no Infravermelho (FTIR). Posteriormente, são analisadas as potencialidades dessa fibra para seu emprego como elemento de reforço em eco-compósitos, usando como matriz resina de poliuretano derivado do óleo de mamona.

2.5 Resina de mamona – *Ricinus communis L.*

2.5.1 Mamona – Aspectos gerais

De acordo com LORENZI (2000), a origem da mamona provavelmente se deu na antiga Abissínia (hoje Etiópia) e regiões vizinhas, situadas no continente

africano. Entretanto, há controvérsias em relação a sua origem, uma vez que alguns pesquisadores afirmam que há possibilidade de sua origem ser na Índia.

A mamona é classificada botanicamente pelo nome científico *Ricinus communis* L., pertencendo ao gênero Euphorbia, da família Euphorbiaceae, classe Dicotiledônea, ordem Geraneácea, tendo sua propagação por meio de sementes. Explorada comercialmente entre as latitudes 40°N e 40°S, a introdução da mamona no Brasil se deu durante a colonização portuguesa, por meio dos escravos africanos.

No Brasil é conhecida também como mamoneira, rícino, carrapateira, bafureira, baga e palma-criste; na Inglaterra e Estados Unidos, pelo nome de “castor bean” e “castor seed”. A mamona é encontrada em países tropicais e subtropicais, tanto nativa quanto cultivada. Suas sementes são ovais, com diferentes colorações, sendo constituídas por dois tegumentos (externo e interno), envolvendo o embrião, que é rico em óleo.

A semente de mamona é constituída, em média, de 75% de embrião (amêndoa) e 25% de casca, onde são encontrados os alcalóides ricina e ricinina, o que a torna imprópria para alimentação de animais e humana em sua forma natural (SAVY FILHO et al., 1999).

Segundo RITTNER (1996), a semente de mamona é composta de: Umidade (5%); Óleo (45%); Proteínas (20%); Carboidratos (13%); Cinza (4%) e Fibras (16%). A Figura 28 ilustra a planta e a semente da mamona.

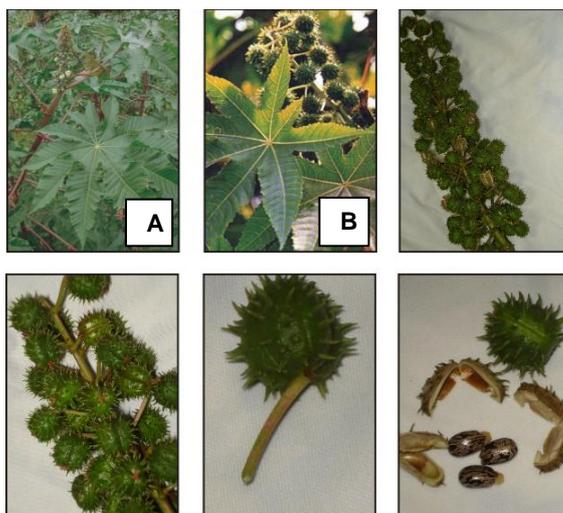


Figura 28 – Mamona/Detalhe da planta e da semente (Fonte: Figuras A e B, Wikipédia, 2009. As outras imagens são fotos da autora).

2.5.2 Óleo de mamona – Mercado mundial

Praticamente toda a produção da mamona é industrializada, obtendo-se como produto principal o óleo e como subproduto a torta de mamona. O óleo é o mais importante constituinte da semente de mamona, obtendo boa cotação no mercado em relação aos óleos vegetais. Quanto à torta, quando se extrai a toxina, gera-se o farelo (que é insumo para rações animais), bem como isolados protéicos (fontes de proteína industrial) e aminoácidos, suplementares às rações. A Figura 29 o fluxograma do processo de extração do óleo de mamona, bem como a utilização de suas sementes.

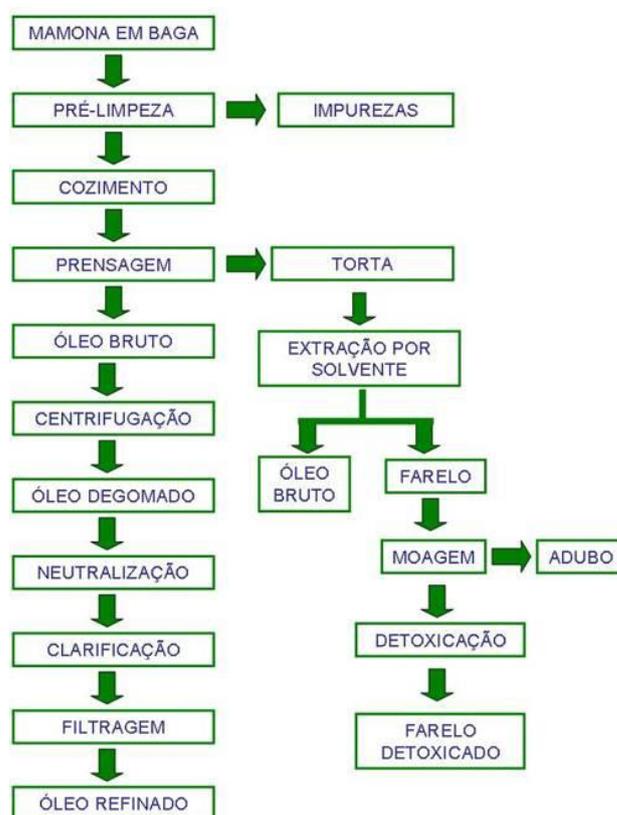


Figura 29 – Processo de extração do óleo de mamona. Fonte: EMBRAPA (2011).

Segundo RODRIGUES (2005), o óleo de mamona é utilizado, em grande escala, nas indústrias, para fabricar produtos como óleos hidrogenados, desidratados e seus ácidos graxos, óleos etoxilados e materiais poliméricos.

ROETHEL et al., (1991) afirmam que os derivados do óleo de mamona são utilizados também em formulações de lubrificantes, possuindo potencial na produção do biodiesel.

Segundo dados da FAO (2006), o Brasil, assim como já deteve o título de maior produtor de mamona em grãos, também o foi no que se refere às exportações de óleo de mamona, ocupando este status até a década de 80. A primeira quebra nas exportações brasileiras ocorreu no início dos anos 80, justamente quando se dá início o grande aumento das exportações indianas. A Índia passou a dominar a comercialização de óleo de mamona a partir dos anos 80 e vem até hoje como o principal exportador. Em 2003, a Índia exportou 136.509 toneladas, seguida pelos Países Baixos que exportou 17.005 toneladas (Tabela 8). O Brasil, em 2003, ficou em 6º colocado no ranking das exportações, com um total de 1.980 toneladas.

A Tabela 8 apresenta o comparativo entre os principais produtores de grãos de mamona.

Tabela 8 - Exportação de Óleo de Mamona em Toneladas.

LOCAIS	2000	2001	2002	2003
Mundo	281.110	239.788	181.445	175.165
Índia	238.949	199.789	143.643	136.509
Países Baixos	7.656	8.803	12.524	17.005
Alemanha	6.182	6.365	6.827	6.987
França	2.351	3.190	3.297	3.401
Estados Unidos	3.320	2.819	2.836	3.128
Brasil	16.743	10.244	5.815	1.980
Tailândia	2.060	1.358	1.552	1.775
Outros	3.849	7.220	4.951	4.380

Fonte: FAO (2006).

A produção do óleo de mamona no Brasil se dá principalmente no Nordeste, especificamente no semi-árido. BELTRÃO (2006) afirma que no estado da Bahia, pequenos e médios produtores produzem mamona há mais de um século. A produção baiana de mamona participou com 81,2% na produção nacional da oleaginosa na safra de 2007/2008 (CONAB, 2008). A Tabela 9 ilustra a produção de mamona em baga no ano de 2005.

Tabela 9 – Produção mundial de mamona em baga no ano de 2005 (t).

PAÍSES/Mundo	Produção (t)
Índia	870.000
China	268.000
Brasil	176.763
Etiópia	15.000
Paraguai	11.500
Mundo	1.393.812

Fonte: FAO, 2006.

A Figura 30 ilustra a projeção para o mercado internacional de consumo de óleo de mamona (kton/ano), de acordo com o PADETEC – Parque de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal do Ceará (2010).

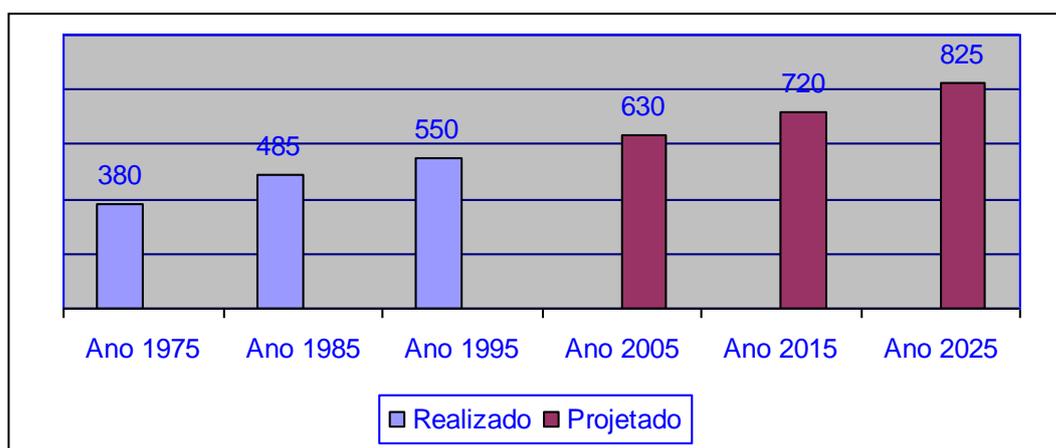


Figura 30 – Projeção no consumo mundial do óleo de mamona (kton/ano). Fonte: PADETEC – CE (2010).

Os principais derivados do óleo de mamona são: Óleo de Mamona Hidrogenado (HCO); Ácido 12-Hidro Esteárico (HSA); Óleo de Mamona Desidratado (DCO); Polióis; Resinas de Poliuretano; Ácido Sebácico e Ácido Undecilênico. Estes derivados são utilizados na confecção de vários outros produtos, tais como: Adesivos, Embalagens, Espumas Uretânicas, Nylon, Pigmentos, Plastificantes, Taninos para couro, Velas, Tintas e Vernizes.

O óleo de mamona pode ser obtido através de: Prensagem hidráulica a frio; Prensagem direta a quente; Pré-prensagem e reprensagem; Pré-prensagem e extração com solventes; Extração direta com solventes.

RITTNER (1996), explica as principais diferenças entre os processos. A prensagem a frio é usada em pequenas instalações, para produção de óleo de padrão farmacêutico. A prensagem direta a quente e a pré-prensagem + reprensagem são processos freqüentes para obter óleos industriais, com rendimentos satisfatórios, mas com inconvenientes como o aquecimento excessivo do óleo, o maior desgaste dos equipamentos e o consumo de energia. A pré-prensagem + extração por solvente é utilizada em instalações de maior porte e permite obter óleo de ótima qualidade na pré-prensagem, com torta residual que será submetida ao solvente. A extração direta por solvente depende do desenvolvimento de uma tecnologia que resolva o problema do alto teor de óleo da semente e da obtenção de uma massa adequada para a extração. A pré-prensagem e extração com solvente é o tipo de processo que permite uma maior recuperação de óleo, e por isso mesmo, é mais utilizada. A Tabela 10 contém os principais componentes do óleo de mamona. É possível observar que o ácido ricinoléico está presente em maior quantidade na composição do óleo de mamona, seguido do ácido linoléico e ácido oléico, bem como outros descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição do óleo de mamona

COMPOSIÇÃO	VALORES MÉDIOS %
Ácido ricinoléico	89,5
Ácido palmítico	1,0
Ácido linoléico (C18:2)	4,2
Ácido linoléico (C18:3)	0,3
Ácido dihidroxiesteárico	0,7
Ácido oléico	3,0
Ácido eicosanóico	0,3

Fonte: SILVESTRE FILHO (2001).

A Figura 31 ilustra o óleo de mamona. A Figura 32 ilustra a amplitude das aplicações do óleo de mamona, bem como as reações que as originam.



Figura 31 – Óleo de mamona padrão. Fonte: PROQUINOR, 2007.

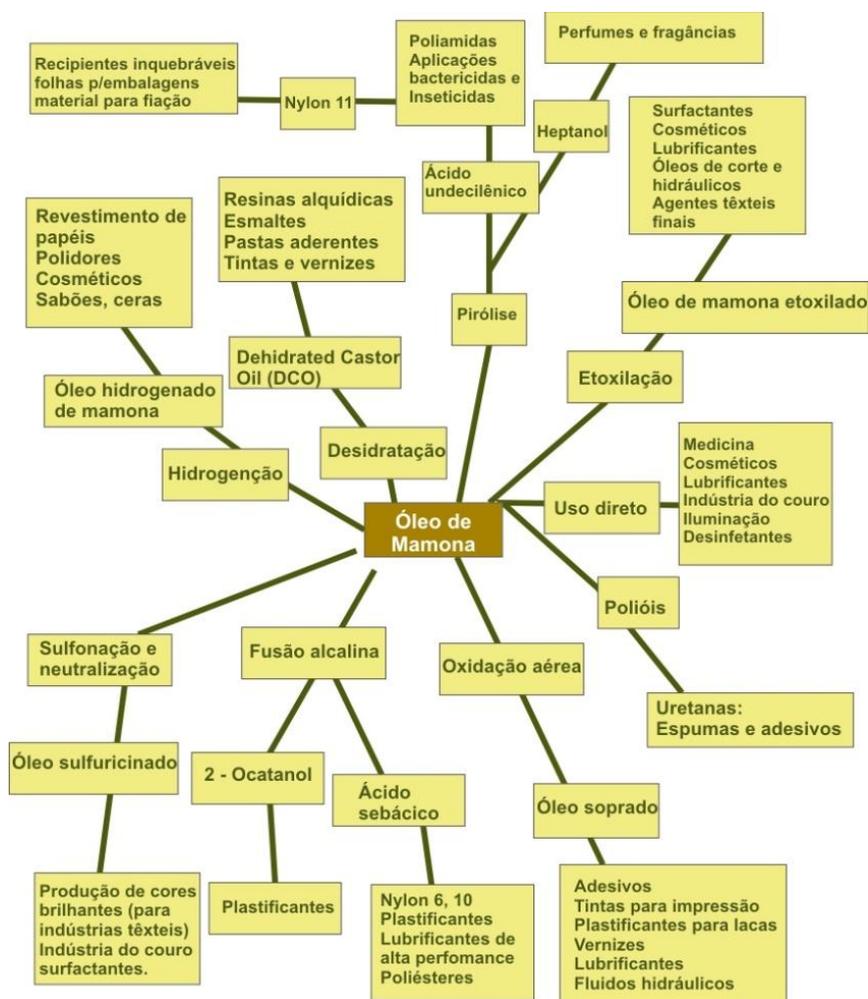


Figura 32 – Aplicações do óleo de mamona. Fonte: JOSHI (1991) / QUÍMICA e DERIVADOS (1967).

2.6 Poliuretanas– Aspectos gerais

Os poliuretanos (PU) foram desenvolvidos por Otto Bayer et al., em 1937. A sua comercialização teve início ainda na década de 30, com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas. Na década de 40, na Alemanha e Inglaterra, foram originados os elastômeros de PU. A década de 50 registrou o grande desenvolvimento comercial dos PU(s), como espumas flexíveis. Na atualidade, o maior destaque é a moldagem por injeção e reação, RIM, que deu ímpeto aos estudos relacionando estrutura molecular e propriedades dos poliuretanos (VILAR, 1993).

Quimicamente o termo poliuretana refere-se a um grupo de materiais compostos por macromoléculas contendo a ligação uretana repetidas vezes, geralmente resultado da reação de um isocianato com um grupo hidroxila (LI; VATANPARAST; LEMMETYNINEM, 2000); (WANG et al., 2001).

A polimerização dos poliuretanos ocorre quando um composto com dois ou mais isocianatos em sua estrutura reage com um polioliol, conforme reação abaixo, Figura 33 (WULTZ apud CLARO NETO, 1997).

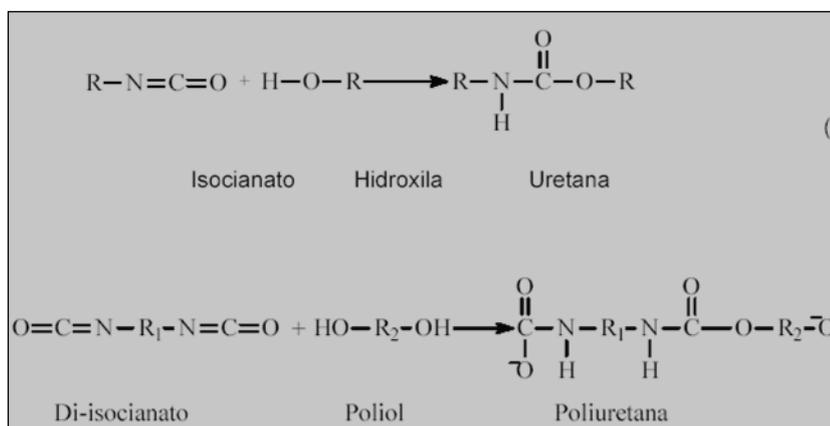


Figura 33 – Esquema de formação de poliuretana a partir de polioliol e diisocianato, (WULTZ apud CLARO NETO, 1997).

VILAR (1999) cita que as principais matérias-primas empregadas na fabricação de poliuretanas são os di ou poliisocianatos e os polímeros hidroxilados de baixa massa molar (polióis ou poliésteres). Os compostos que contêm grupos isocianatos são altamente reativos. Geralmente é feita uma

prépolimerização, que consiste da reação de um di ou poli-isocianato com um poliol, nas proporções previamente determinadas, para a obtenção do teor de isocianato livre desejado. A reação de polimerização ocorre pela mistura a frio do pré-polímero com um poliol, que conduz à policondensação uretana, gerando o PU de alto peso molecular. Além da reação principal podem também ocorrer reações paralelas. A mais comum é a reação de isocianato com a água que libera dióxido de carbono (CO₂), que pode promover a expansão do polímero.

As resinas de poliuretano mostram grande versatilidade de aplicação, podendo ser utilizadas em diferentes segmentos industriais. Os poliuretanos são consumidos principalmente sob a forma de espumas flexíveis ou rígidas e elastômeros. Suas aplicações são variadas e incluem volantes, painéis, assentos e pára-choques na indústria automotiva, colchões e assentos na indústria de móveis, sola de sapatos, núcleo de esquis e pranchas de *windsurf* na indústria de esporte e lazer, adesivos, refrigeradores, aquecedores, etc (BOUVIER, 1997).

O desenvolvimento do mundo contemporâneo também está fundamentalmente ligado ao uso das poliuretanas na confecção de diversos produtos que fazem parte da vida da sociedade moderna. Alguns exemplos de aplicações atuais das poliuretanas podem aqui ser citados: Biomateriais e implantes terapêuticos; Polímeros biodegradáveis; Dispositivos ópticos não-lineares; Adesivos; Elastômeros; Materiais eletrônicos; Tintas e Filmes aderentes.

As poliuretanas apresentam inúmeras vantagens, dentre elas: processabilidade; flexibilidade de formulação; versatilidade de temperatura de cura e controle do pico exotérmico na transição líquido-gel; excelentes propriedades estruturais; ausência de emissão de vapores irritantes ou tóxicos; bom poder de adesão e baixo custo. GODOY (2007).

Segundo SILVA (2003), as resinas de poliuretano podem ser derivadas tanto do petróleo como de fontes naturais, e neste caso tem-se os chamados “biomonômeros” que podem ser obtidos de fontes renováveis, como os óleos vegetais. Estes óleos derivam de um número de vegetais, tais como, soja, milho, girassol, canola, amendoim, oliva e mamona, entre outros (PETROVIC, 1999).

A revisão a seguir aborda alguns trabalhos realizados com poliuretanas à base de óleo de mamona.

2.6.1 Resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona

O desenvolvimento das poliuretanas derivadas de óleo de mamona teve origem nos primeiros trabalhos propostos na década de 40. Essas poliuretanas se apresentam como um líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solventes (VILAR, 1993).

Segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária S.A (EMBRAPA) da Bahia e a Secretaria da Agricultura, a mamona mais comum no Brasil é a espécie *Ricinus communis* L. De acordo com WOODS (1990), as resinas poliuretanas podem ser encontradas como elastômero de alta flexibilidade ou de maior dureza.

A resina poliuretana derivada do óleo de mamona apresenta ao menos 700 aplicações diferentes e a quantidade de materiais desenvolvidos aumenta significativamente a cada pesquisa, a ponto de abranger diferentes segmentos de aplicação. Alguns exemplos dessas pesquisas podem ser citados aqui:

POPAK et al., (2004) desenvolveram poliuretanas derivadas de óleo de mamona destinadas a reparar desvios da crista tibial em cães com luxação de patela. Em animais de pequeno porte, este é considerado um problema ortopédico muito comum nas clínicas veterinárias.

CHIERICE (2004) pesquisou resinas de poliuretanas derivadas do óleo de mamona como uma nova opção no rejuvenescimento facial. As resinas foram utilizadas na forma de fios serrilhados para implante subdérmico, chamados de “Fio Lifting Biológico”, os quais são implantes realizados na pele para a correção de flacidez.

ZHANG et al., (2002) produziram materiais poliméricos biodegradáveis a partir da resina de mamona, gerando espumas rígidas e flexíveis.

ARAÚJO et al., (2002) desenvolveram compósitos com elastômero comercial e derivado de óleo de mamona, reforçados com fibras de curauá. As propriedades térmicas foram estudadas, constatando-se que os compósitos com poliuretano derivado do óleo de mamona exibiram melhor estabilidade térmica.

Em outro trabalho, compósitos com fibras de sisal e poliuretano derivado de óleo de mamona foram desenvolvidos por CARVALHO et al., (2002), sendo avaliadas as propriedades mecânicas de tração. Os compósitos com fibras contínuas e alinhadas mostraram o melhor desempenho, com acréscimo no módulo (88 vezes) e na resistência (6 vezes) em relação à matriz.

A resina poliuretana derivada do óleo de mamona pode se apresentar de forma mono ou bicomponente. Aqui vamos apresentar brevemente os dois tipos, porém é preciso frisar que a resina derivada de mamona a ser utilizada neste trabalho é a bicomponente.

2.6.1.1 Resina de mamona monocomponente

Cura pela umidade do ar, sendo desenvolvida pelo Instituto de Química de São Carlos (IQSC), Universidade de São Paulo (USP). O processo de obtenção deste polímero consiste no uso de um reator carregado com óleo de mamona e um antioxidante para manter a mistura sem alterar a cor, já que o óleo vegetal possui polimerização oxidativa. Ao mesmo tempo, 30% de solventes, xileno e acetato de etil glicol são adicionados em proporções balanceadas, levando-se em conta o volume da mistura.

O processo é mantido sob atmosfera de gás inerte, com controle térmico e um procedimento adequado para adição de reagentes até total dissolução (CARLO, 2003). Esta resina pode ser aplicada com pincel, rolos, spray ou imersão. (AZAMBUJA, 2006).

As propriedades de aparência, cor, solubilidade em solventes, viscosidade, teor de sólidos e eficiência da adesividade foram avaliadas, mostrando que a poliuretana monocomponente derivada do óleo de mamona com cura pela umidade do ar foi considerada um produto estável e de fácil aplicação.

A resina poliuretana monocomponente possui tempo de secagem ao toque em torno de 30 minutos; dependendo da temperatura ambiente e umidade, seu tempo de cura é de 24 horas. A viscosidade desta resina é de aproximadamente 5,313Pa.s a 20°C e sua densidade está entre 0,9 e 1,0 g/cm³ (VICINO, 2007).

2.6.1.2 Resina de mamona bicomponente

Nesse caso a resina é formada por dois componentes: um pré-polímero com terminação isocianato e um polioliol. Sintetizados por poliadição, esses dois componentes reagem entre si, formando um composto poliuretano.

Na mistura dos componentes, quanto maior for a proporção do polioliol, mais flexível fica a estrutura da resina. Enquanto que, se houver maior concentração de pré-polímero, mais rígida se torna a estrutura, GODOY (2007).

A polimerização final ocorre em torno de 24 horas e sua secagem ao toque entre 10 e 30 minutos, dependendo da umidade e temperatura ambiente. Possui viscosidade de 7,5 Pa.s e densidade de 0,959 g/cm³ ambas a 25°C. (ARAÚJO, 1992).

Esta resina não é agressiva ao homem nem ao meio ambiente, já que é totalmente isenta de solventes, ou seja, por não apresentar materiais voláteis e metais pesados em sua composição, a resina é completamente atóxica.

As poliuretanas à base de óleo de mamona diferem muito das derivadas de petróleo. A começar por sua matéria-prima ser proveniente de recursos vegetais renováveis, sendo bastante resistentes aos agentes agressivos, tais como, ácidos, álcalis e bases. Ao contrário das poliuretanas de petróleo, as de base vegetal não são inflamáveis e, quando queimadas, não emitem gases tóxicos.

Poliol - Os isocianatos e os compostos hidroxilados ou polióis são importantes componentes na síntese das poliuretanas. Existe uma grande variedade de polióis que podem ser utilizados na manufatura de poliuretanas como, por exemplo, os compostos naturais como o óleo de mamona, que contém três grupos hidroxila que produzem polímeros entrecruzados (SILVESTRE, 2001).

A grande maioria dos polióis deriva de poliéteres ou poliésteres. Os fatores principais na determinação das propriedades do polímero são: massa molar ou peso molecular, funcionalidade e estrutura do polioliol. Poliésteres e poliéteres produzem poliuretanas com propriedades térmicas e tolerância a substâncias corrosivas diferentes (GODOY, 2007).

Os polióis são desenvolvidos com estrutura molecular e funcionalidade necessária para reagir com um pré-polímero ou um diisocianato comercial, e podem gerar poliuretanas com propriedades específicas. A escolha do polioliol, especialmente pelo tamanho e flexibilidade de sua estrutura molecular e sua funcionalidade, controla, em grande parte, o grau de entrecruzamento obtido no polímero formado na reação polioliol com isocianato (PLEPLIS, 1991).

Pré-polímero - Geralmente é feita uma pré-polimerização do isocianato com um polioli, aumentando sua massa molar, deixando uma porcentagem de isocianato livre para reagir com o polioli final, devido à alta reatividade dos compostos contendo grupos isocianatos.

Os compostos contendo grupos isocianatos são encontrados em duas classes distintas (NETO, 1997):

- Aromáticos – os mais utilizados são os difenilmetano diisocianato (MDI) e o tolueno diisocianato (TDI);
- Alifáticos – o hexametileno diisocianato (HDI) e o isofurona diisocianato (IPDI) são mais utilizados.

O pré-polímero é sintetizado a partir do MDI – esquema da Figura 34 – e de um polioli derivado de óleo de mamona

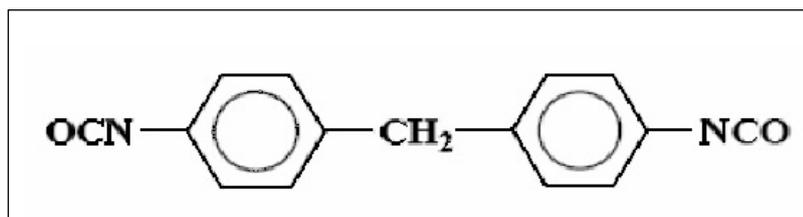


Figura 34 – Estrutura do difenilmetano diisocianato (MDI). Fonte: GODOY, 2007.

2.7 Do Design Industrial ao Ecodesign

2.7.1 Design Industrial – Panorama geral

Este capítulo tem como objetivo expor as relações existentes entre o Desenho Industrial, a Produção Industrial, o Ecodesign e como não poderia deixar de ser, o Meio Ambiente. Essa discussão passará pelos primórdios do Desenho Industrial com o objetivo principal de expor o quanto essa atividade encontra-se relacionada com os meios de produção e as conseqüências que a mesma tem no

ambiente que nos cerca, escoando finalmente, nos ideais do que é conhecido como Eco-design.

O sentido de expor nesta tese os conceitos do ecodesign e suas diferentes ferramentas para análise de eco-eficiência de produtos se traduz no fato que o eco-compósito investigado neste trabalho (fibra de ubuçu e resina de mamona) se insere no contexto de um design sustentável, ou seja, a criação de um material com características ecológicas e a possível aplicação deste em um produto específico da indústria, ou seja, pisos e revestimentos. Desta forma, é importante que conceitos de ecodesign sejam discutidos, bem como a Análise de Ciclo de Vida (ACV) e suas ferramentas computacionais, ou seja, softwares atualmente utilizados no estudo de análise de ciclo de vida de produtos.

BURDEK (2006) afirma que o Design vive desde o início dos anos 80 um crescimento acentuado. Um número excessivo de publicações (livros, revistas, catálogos), exposições de produtos na mídia, feiras e até museus¹⁴ faz com que o Design a cada dia, possua demasiado significado na vida cotidiana, já que ele está presente na casa, no trabalho, no lazer, na educação, na saúde, no esporte, no transporte de pessoas e bens, bem como no ambiente público (Figura 35).

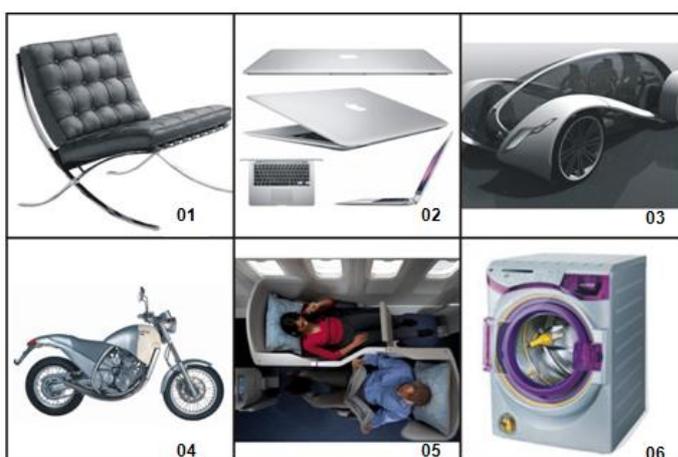


Figura 35 – Alguns produtos do Design Industrial: Cadeira Barcelona (01); Mac Air book (02); Carro conceito para Peugeot (03); Moto 6,4 para Aprilia (04); Nicho para British Airways (05) e CR01 Máquina de lavar Dyson (06).

¹⁴ O autor se refere à abertura em Munique, no ano de 2002, do “Neue Sammlung” (“Nova Coleção” – N.T), um dos mais importantes componentes da Pinacoteca dos Modernos, que, com aproximadamente 70.000 produtos, é um dos maiores museus de Design do mundo.

De acordo com o *International Council of Societies of Industrial Design* - ICSID (2009), o Design é uma atividade criativa cuja finalidade é estabelecer as qualidades multifacetadas de objetos, processos, serviços e seus sistemas, compreendendo todo seu ciclo de vida. Portanto, design é o fator central da humanização inovadora de tecnologias e elemento crucial para o intercâmbio econômico e cultural.

Ainda segundo o ICSID (2009), o Design procura identificar e avaliar relações estruturais, organizacionais, funcionais e econômicas, visando: ampliar a sustentabilidade global e a proteção ambiental (ética global); oferecer benefícios e liberdade para a comunidade humana como um todo, usuários finais individuais e coletivos, protagonistas da indústria e comércio (ética social); apoiar a diversidade cultural, apesar da globalização do mundo (ética cultural); dar aos produtos, serviços e sistemas, formas que expressem (semiologia) e sejam coerentes com (estética) sua própria complexidade.

Dessa forma, pode-se afirmar que o Design encontra-se diretamente relacionado à concepção de produtos, serviços e sistemas que são pensados e fabricados segundo uma lógica industrial. Ao se associar a palavra “Industrial” ao termo Design, significa que estamos nos referindo a uma atividade de cunho industrial, no sentido de pertencer ao setor produtivo.

O Design Industrial se apresenta como uma atividade inter e transdisciplinar, no momento em que se apóia no conhecimento de outras áreas e se relaciona com elas quando no momento do desenvolvimento de produtos e serviços. Especificamente falando do Design Industrial, voltado para o desenvolvimento de produtos, este se encontra diretamente relacionado com as engenharias (de materiais, de produção e mecânica, por exemplo), já que para o correto desenvolvimento de um produto é preciso unir os conhecimentos do design às bases sólidas da engenharia de materiais, bem como conhecer os processos de fabricação através dos quais os produtos são produzidos. Dentre outras áreas em que o design industrial se apóia para o desenvolvimento de produtos podem ser citadas a psicologia e marketing, entre outras.

Os teóricos-críticos do desenho industrial são unânimes em concordar que a origem dessa atividade está intimamente relacionada ao desenvolvimento da indústria, relacionado diretamente com a mudança dos meios produtivos

tradicionais para meios de produção em série ou mecanizados (HESKETT 2001, BURDEK 2006).

Segundo HESKET (2006), o desenho industrial tem sua origem vinculada especificamente ao desenvolvimento da industrialização e mecanização que começou com a Revolução Industrial na Inglaterra por volta de 1770, embora não possa ser descrito simplesmente como um produto determinante desse processo.

Ao buscar uma definição para a expressão “Revolução Industrial”, OLIVEIRA et al (2007), citam que esta aplica-se às transformações econômicas e técnicas ocorridas na Grã-Bretanha, no período que se estendeu do séc. XVIII ao XIX. Caracterizou-se pelo surgimento da grande indústria moderna nas ilhas britânicas. Em um sentido mais geral, pode-se chamar de “Revolução Industrial” à fase do desenvolvimento industrial que corresponde à passagem do processo de produção artesanal, manufatura, para um processo mecanizado.

As conseqüências gerais da Revolução Industrial são: urbanização rápida e intensa; industrialização dos meios de produção rurais; incremento do comércio interno e internacional; expansão e aperfeiçoamento dos meios de transporte; crescimento demográfico; e por fim, a mudança da produção artesanal para uma industrialização voltada para a produção de objetos em série.

As necessidades de consumo foram influenciadas por novos produtos. A Revolução Industrial afetou em primeiro lugar a fabricação dos bens de consumo: tecidos, roupas, utensílios em geral e posteriormente utensílios derivados do petróleo. Na esfera social, o principal efeito da Revolução Industrial foi uma transformação nas condições de vida.

Não é preciso ir muito longe para deduzir que o aumento da produção industrial gerou desequilíbrios no meio ambiente, principalmente no que diz respeito ao uso indiscriminado de recursos naturais não renováveis e que desde a década de 60 já começaram a apresentar sinais de exaustão (PAPANEK, 1971). Desta forma, a partir do momento que a degradação ambiental causada pela produção industrial começou a apresentar graves conseqüências e a repercutir na opinião pública mundial, surgiram, na década de 60, vários movimentos ecológicos preocupados com o estado do meio ambiente.

Torna-se lógico, então, que as discussões sobre os problemas ambientais causados pela ação humana (uso indiscriminado e a escassez de recursos naturais,

crise energética, impactos causados por meios produtivos) sejam discutidas em todas as áreas, especialmente a do Design, já que o mesmo se responsabiliza pela idealização e produção de bens de consumo industriais.

MORAES (2005) afirma que é obrigação do designer compreender as relações básicas entre as características e requisitos dos produtos por ele projetados e os aspectos relevantes inerentes à preservação ou à degradação do meio ambiente.

Assim, o Ecodesign (encontro entre a atividade de projetar e o ambiente) surge como uma área de projeto de produtos preocupada em conceber objetos menos agressores ao meio ambiente, os chamados produtos eco-eficientes, que levam em consideração, no momento de seu desenvolvimento, sempre o ponto de vista ambiental.

2.7.2 Eco-design

PAPANEK (1971) foi um dos pesquisadores pioneiros na área do ecodesign e impactou os alicerces desta atividade quando lançou seu livro *Design for The Real World: Human Ecology and Social Change* (1971). Nesta obra, o autor nos afirma o seguinte:

“O Design há de ser responsável perante a ecologia e a sociedade. E há também de ser revolucionário e radical. Deve-se dedicar ao princípio do esforço mínimo da natureza, em outras palavras: um inventário mínimo orientado à diversidade máxima. Isto significa consumir menos, utilizar as coisas durante mais tempo, reciclar os materiais e possivelmente não desperdiçar papel editando livros como este” (PAPANEK, 1971).

Segundo MANZINI & VEZZOLI (2005), em um primeiro nível de compreensão, a palavra *ecodesign* é dotada de uma boa capacidade auto-explicativa, pois o seu significado mais geral sobressai de maneira imediata dos dois termos que a compõem: *ecodesign* é um modelo de projeto (*design*), orientado por critérios ecológicos.

Ecodesign é referenciado como uma “integração sistemática das considerações ambientais no projeto do produto e processo” (IRAP, 2002). Em termos gerais, o Ecodesign pode ajudar as empresas a aumentar seu desempenho ambiental.

Como resultado, as empresas podem alcançar benefícios como: a) redução dos impactos ambientais dos produtos; b) otimização no consumo de matérias-primas e no uso de energia; c) melhoria do gerenciamento de resíduos; d) direcionar as empresas para a inovação; e) redução dos custos de produção entre outros (CHARTER, 2001).

PAPANEK (1971) considera o projeto de design a arma mais poderosa que o homem recebeu para configurar aquilo que ele produz, seu meio ambiente e a si mesmo. O autor aponta, portanto, aquilo a que ele se refere como sendo o “mau design”, como o responsável por todos os equívocos ecológicos do planeta, ou seja, impactos ambientais ora observados.

É na fase de projeto que a maioria das decisões relativas ao desenvolvimento de um produto são decididas. Portanto, o designer possui um papel crucial no que diz respeito à eficiência ambiental dos produtos por ele projetados e conseqüentemente pela quantidade de impacto ambiental provocado por tais produtos durante seus ciclos de vida.

Desta forma, o material pesquisado neste trabalho encontra-se inserido no contexto sustentável, por ser oriundo de materiais renováveis e sua aplicação em pisos e revestimentos possibilitará ao mercado um produto alternativo em comparação aos existentes e oriundos de fontes naturais não renováveis.

2.7.3 Ciclo de Vida

De acordo com MANZINI (2002) o conceito de ciclo de vida de um produto ou sistema, refere-se a todas as trocas realizadas entre o meio ambiente e este produto ou sistema, e ao conjunto de processos que o acompanha durante todas as fases de sua existência. Estas fases são conhecidas de uma maneira genérica como o “nascimento”, a “vida” e a “morte” de um produto.

MORAES (2005) cita que toda a vida de um produto pode ser contada em função de um grande conjunto de atividades e processos. Cada uma destas

atividades e processos absorve do ambiente certa quantidade de matéria e energia, opera uma série de transformações e libera de volta ao ambiente uma determinada quantidade de emissões variadas. Ou seja, cada fase do ciclo de vida causa impactos ambientais.

MANZINI (2002) afirma que os processos inerentes ao ciclo de vida de um produto são agrupados, geralmente, em cinco grandes grupos, conhecidos como “fases do ciclo de vida”, estas fases são assim constituídas: Fase 1 – fase de projeto e pré-produção; Fase 2 – fase de produção ou fabricação; Fase 3 – fase de distribuição ou transporte; Fase 4 – fase de uso; Fase 5 – fase de desuso ou descarte.

Em linhas gerais a Fase 1 é a principal do ciclo de vida do produto, já que é nesta em que são definidos os conceitos relativos ao produto e é nesta que o designer é o responsável por tomar a maioria das decisões de projeto. As matérias-primas da natureza e a produção dos materiais que serão utilizados na fabricação do produto estão focalizadas na pré-produção, e esta causa grande impacto ambiental.

Na Fase 2 podemos apontar três momentos importantes: a transformação de materiais, a montagem do produto e o acabamento deste produto. Envolve o transporte do local de extração do material até a fábrica, transporte até a maquinaria onde serão transformados, montagem, acabamento, etc. A maior parte dos produtos manufaturados requer uma variedade de materiais para serem produzidos.

A Fase 3 consiste na distribuição de um produto desde sua produção (fábrica) até o local de comércio, sendo caracterizada por três momentos: embalagem (para manter a integridade e limpeza do produto), transporte (feito por caminhões, trens, aviões e navios e pode-se falar em impactos de recursos e energia para o funcionamento do transporte nesta fase) e armazenagem.

A Fase 4 caracteriza o tempo em que um produto pode ser utilizado seja total ou parcialmente. Em inúmeros casos, a utilização de um produto absorve recursos materiais e energéticos da natureza, produzindo conseqüentemente resíduos.

A Fase 5 constitui-se no fato que todo produto, não importando suas condições, permanece na fase de uso até que um usuário decide não utilizá-lo

nunca mais, ou seja, eliminá-lo ou descartá-lo definitivamente. O momento do descarte é crucial para o ciclo de vida do produto, pois a partir daí abre-se um leque de opções para o destino final deste produto.

2.7.4 Análise do Ciclo de Vida – ACV (Life Cycle Assessment – LCA)

MANZINI (2002) e CHEHEBE (1998) consideram a Análise do Ciclo de Vida – ACV uma técnica para a avaliação de todos os aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a qualquer produto, levando-se em consideração todas as fases do ciclo de vida do mesmo.

A *International Standardization Organization* (ISO) criou algumas normas regulamentadoras para conduzir um trabalho de ACV. O principal objetivo dessas normas é o estabelecimento de critérios técnicos universais para a condução da análise e a divulgação ao público dos resultados obtidos em um estudo de ACV. Dentre as principais normas podem ser citadas: ISO 14040 (Norma de Princípios Gerais e Procedimentos – promulgada em 1997) e ISO 14041 (Norma sobre Inventários – promulgada em 1998).

As primeiras ferramentas para Análise de Ciclo de Vida surgiram devido à necessidade de se traçar certas estratégias de projeto orientadas para a redução do impacto ambiental. Algumas estratégias podem ser aqui citadas, tais como: a seleção de materiais de baixo impacto ambiental (como os utilizados nesta pesquisa); a minimização do uso de materiais tóxicos e nocivos; o design para a reciclagem; design para desmontagem; design para remanufatura; além do respeito e adequação à normas e regulamentos ambientais.

Na atualidade existem diversos softwares que se prestam a estudos de Análise de Ciclo de Vida, visando analisar o impacto ambiental de alguns produtos desenvolvidos. Os primeiros softwares criados são em sua maioria voltados para o estudo de um ou dois parâmetros ambientais e serviram como base para o desenvolvimento de softwares que abrangessem melhor o estudo de análise de ciclo de vida (REStar; DFE – Design For Environment; Ronda – Recycling Oriented Database Analysis; Recreation – Recycling Resources And Technologies Information; Recovery – Remanufacturing Cost Optimization Via

Extended Reuse And Disassembly; IDEmat), são raros os softwares que fazem uma análise de ciclo de vida como um todo. O primeiro software de ACV foi o **Eco-it**, de origem holandesa e produzido pela Pré-Consultant. De acordo com MORAES (2005), este programa é capaz de calcular o impacto total relativo a todo o ciclo de vida de um produto, pois conta com uma descrição bastante elaborada de todos os processos relativos a todas as fases do mesmo. Este software continua sendo utilizado nos dias de hoje.

O GaBi 4 é um dos principais e mais modernos softwares para ACV encontrados no mercado atualmente, sendo fabricado pelo grupo alemão de desenvolvimento de softwares *PE Consulting Group*. Nesta pesquisa, este software será utilizado como ferramenta de ACV ou viabilidade ecológica do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu. É preciso deixar claro que nem todas as etapas de estudo envolvendo a análise do ciclo de vida do compósito em questão podem ser, de fato, analisadas, mas a grande maioria sim.

O motivo para escolha desse software se deve ao fato do conhecimento de trabalhos de pesquisadores em Portugal, Brasília e UFRJ que utilizaram este software para estudo de materiais considerados eco-compósitos. Como exemplo dessas pesquisas, pode ser citado o trabalho de Paulo M.C Ferrão e Sandra Maria da Luz, no Centro de Estudos em Inovação, Tecnologia e Políticas de Desenvolvimento – Instituto Superior Técnico – IST de Lisboa, Portugal em parceria com o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília (UNB), Brasil. Esse grupo de pesquisa já realizou diversos trabalhos na área de ecodesign e uso de materiais renováveis e desde o ano de 2006 atuam no projeto que tem como título *Desenvolvimento de metodologias e ferramentas cooperativas de Eco-design aplicadas na concepção de componentes automóveis: o caso de estudo de materiais compósitos com fibras naturais*.

Um dos trabalhos desenvolvidos por este grupo de pesquisa tem como título *Ecodesign applied to components based on sugarcane fibers composites*¹⁵ (FERRÃO, et al., 2009), nesta pesquisa o desempenho técnico e os impactos ambientais do compósito de polipropileno reforçado com bagaço de cana foram avaliados. Para tanto, as propriedades de tração e flexão foram estudadas e a Análise de Ciclo de Vida do compósito realizada através do software GaBi 4.0.

¹⁵ Este trabalho tem como pesquisadores Sandra Maria da Luz (UNB – Brasil), Paulo Ferrão (IST – Lisboa). Um dos primeiros realizados na área de ecodesign e materiais.

Os resultados dessa pesquisa mostraram que o compósito em questão apresentou grande desempenho ambiental durante o ciclo de vida, principalmente na fase de cultivo, quando a planta (cana de açúcar) “seqüestra¹⁶” o dióxido de carbono e acaba contribuindo para a diminuição do aquecimento global. Como conclusão geral, os autores citam que as fibras do bagaço da cana de açúcar contribuíram em menores impactos ambientais ao invés de se utilizar o PP puro, bem como a reciclagem é o meio econômico mais viável para reduzir os impactos ambientais no fim da vida do compósito em questão. Ou seja, o material se mostrou passível de ser reciclado, o que economiza material, energia e diminui os impactos no meio ambiente. Diante do exposto, esta tese de doutorado tem como um de seus objetivos analisar brevemente o ciclo de vida do compósito de fibra de ubuçu e resina de mamona, visando a sua aplicação na fabricação de pisos e revestimentos.

¹⁶ Seqüestro de carbono é um processo de remoção de gás carbônico. Tal processo ocorre principalmente em oceanos, florestas e outros organismos que, por meio de fotossíntese, capturam o carbono e lançam oxigênio na atmosfera. Os altos índices de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, contribuem para o aquecimento global. (KAZAZIAN, T. 2005 – Design e desenvolvimento sustentável - *Haverá a idade das coisas leves*. 2ª Edição. SENAC. SP)