

3 – Compósitos de Barro e fibras: ensaios e experimentos

Para dar início aos experimentos e ensaios laboratoriais verificou-se a metodologia de pesquisa empregada pelo LILD, onde foram reunidos materiais que se encontravam à disposição no laboratório. Os ensaios foram realizados combinando o barro com algumas fibras diferentes entre si, formando novos compósitos.

A Norma ASTM D3878-95 citada por Alvares em sua pesquisa (2008, p. 30), define compósito como sendo uma substância formada de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que combinados formam um material de engenharia útil com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente, sendo a denominação destes materiais bastante diversificada, podendo ser tratados ainda como compostos ou conjugados. Eles podem ser criados tanto pelo homem, quanto pela natureza. No dia a dia do homem, os compósitos estão presentes em muitas situações, desde o preparo de comidas, até os materiais de que são os produtos que compramos. Comumente as pessoas os utilizam de maneira empírica, não se dão conta de que estão manipulando um compósito.

Remontando a antiguidade, o uso de materiais compósitos pode ser encontrado, desde que o homem construía suas moradias milenares, usando o capim e a palha para reforçar tijolos de barro secos ao sol.

Ainda conforme Alvares (2008, p. 30), os compósitos são provenientes de dois materiais distintos, sendo um material de reforço denominado carga e outro, material base, denominado de matriz. Em “A matéria da invenção” de Manzini (1993), Alvares (2008, p. 31), cita este trabalho exemplificando a técnica do adobe, na qual a argila atua como matriz e as fibras de palha atuam como carga, conferindo-lhe maior resistência mecânica. Comenta ainda que este modelo rege todos os compósitos com matrizes poliméricas com reforço de fibras ou de filamentos não orientados que ele denomina de tecidos não tecidos.

É importante observar na pesquisa o comportamento de cada material compósito, procurando observar a sua geometria e o tipo de carregamento, bem como as propriedades dos materiais que o compõem, procurando uma combinação bem ajustada entre os materiais que compõem os ensaios e experimentos, sendo tal equilíbrio decidido de acordo com a necessidade estrutural ou plástica e sua

aplicação específica.

Cresce a preocupação com a grande quantidade de materiais produzidos pelo homem que na maioria das vezes apresentam baixa reciclabilidade e grande poder cumulativo na biosfera, dada a baixa biodegradabilidade e origem não renovável dos mesmos, que são derivados do petróleo, usados em quase tudo na vida do homem moderno. Tudo isto junto reduz cada vez mais a oferta de água potável no planeta, fazendo desse líquido um elemento escasso daqui a 50 anos.

A pesquisa se preocupa em apresentar alternativa mais viável, que minimize a dependência do uso de derivados de petróleo, assim como o impacto ambiental decorrente desse uso. A pesquisa preconiza o uso de fibras vegetais em substituição às fibras tradicionais, pois apresentam muitas vantagens, dentre as quais se destacam a maior biodegradabilidade, apresentando também maior leveza, pois são produzidas naturalmente e por fontes renováveis. Além de possuírem melhor capacidade de isolamento térmico e acústico, a sua produção poderá ser feita no local em que serão utilizadas, garantindo a facilidade no transporte. Podemos dizer que a pesquisa é basicamente um experimento com materiais compósitos, fibrosos, tendendo ao “fibrobarro”.

Segundo Alvares (2008, p. 35), citando Tolêdo Filho ET AL. (1997), as fibras naturais, tais como o sisal, o bambu, a fibra da celulose, a juta, são excelentes alternativas para uso como elemento de reforço de matrizes frágeis, dada a sua abundância, baixo custo e consumo de energia para a sua produção.

“O “Fibrosolo” é um nome conhecido com o propósito de responder a um material compósito que associa terra crua com grande quantidade de fibra vegetal, participando nos compósitos produzidos nos ensaios, em uma dosagem proporcionalmente muito maior do que o comum das técnicas que se utilizam da terra crua, derivando de uma série de investigações e experimentos realizados no LILD que incorporaram conhecimentos tradicionais de construção com técnicas de laminados constituídos de fibras entrecoladas por resinas utilizadas no laboratório.” (LEME, 2003, p. 55)

Tanto nos experimentos, quanto nos ensaios realizados, o barro e as fibras foram agregados e transformados numa espécie de casca, formando um compósito de boa resistência, em se tratando de um sistema construtivo para armazenamento

de água e também por estar totalmente fora dos padrões convencionais. Segundo Leme (2003, p.55) o conceito de laminado para este composto aplicado sobre uma estrutura armada permite a utilização destes materiais em elementos de vedação de grandes dimensões criando superfície apta a receber um elemento protetor.

De acordo com o artigo publicado por Ghavami (2003, NOCMAT 3), no NOCMAT 3 - Vietnam International Conference on Non Conventional Materials and Technologies, em períodos não muito remotos da história do homem, materiais e elementos estruturais utilizados, variaram entre as diferentes regiões do planeta. Suas aplicações dependem do local avaliado e são influenciados pela cultura e aspectos estéticos da sociedade. Os materiais são processados manualmente com instrumentos simples ou usados no estado natural e que envolvem intensos trabalhos. Geralmente, em diferentes regiões, uma vasta extensão de materiais tradicionais, como a pedra, o barro a madeira, o couro, as fibras naturais e o bambu usam métodos apropriados. Segundo ele, na era da industrialização, a escolha de materiais e tecnologias vem a ser determinada talvez pela vasta publicidade, pelo preço e pelas facilidades de produção e processamento. Ainda de acordo com Ghavami (NOCMAT 2003, p. 2), desde a Pérsia Antiga, hoje Irã, muitos edifícios são construídos usando solo argiloso reforçado com palha de trigo. Esta prática comum usada há mais de 6.000 anos, é usada até os dias atuais. Muitas casas não somente usam o compósito argiloso, como também constroem um modo para dar o máximo de energia solar no inverno e o mínimo no verão, além de um sistema de ar condicionado natural. Programas de pesquisa têm sido iniciados por estudantes, para o uso de fibras vegetais misturadas ao solo para a fabricação de blocos de adobe com intenção de substituir o tijolo queimado geralmente usado. Ghavami (NOCMAT 2003, p.2) relata em sua pesquisa experimental investigativa, relativa ao comportamento de suporte de carga, que usa paredes de blocos de barro argiloso (tijolos), revelando que eles podem competir muito bem com outros materiais feitos de madeira e blocos de concreto, a baixos custos em programas de construção de casas.

À técnica do uso de fibras agregadas ao solo, deu-se o nome de “fibrobarro”. A técnica consiste em preparar o barro antes de usá-lo como argamassa, tendo como elemento aglutinador a fibra agregada. O barro tem a sua capacidade de vedação melhorada, quando é agregado às fibras vegetais,

proporcionando mais união das partículas do solo, fazendo a massa ficar mais consistente e coesa. O processo de preparo do barro se dá peneirando-o em peneira bem fina, para separá-lo de impurezas e em seguida, misturando-o aos poucos pequenas porções de água, até que se transforme numa espécie de pasta. A mistura deve ser homogênea, de modo que fique bem consistente; sem ficar muito molhada, nem muito seca.

É possível perceber o quanto de água o solo está constituído, através de amostras do solo, podendo constituir-se em fases como a Sólida, quando o solo está completamente livre de água e tem seus grãos separados; e a Líquida, quando se usa água, onde ocorre a aglutinação do material à medida que é adicionada; passando ao estado semi-sólido, (estado ideal do barro), que é o estado plástico, o qual é possível ser moldado. Neste estado o barro fica macio e com boa liga.

De acordo com Betim (2003, p. 37) apud Ghavami, Barbosa, Tolêdo, (1997), é possível determinar índices para o solo, entre eles: Índice Plástico (IP), Limites de Liquidez (LL) e o de Plasticidade (PL). O Índice Plástico (IP) do solo é calculado pela diferença entre os de Liquidez (LL) e o de Plasticidade (PL). Em geral, o barro é peneirado em grandes tonéis, adicionando-se a água depois, para em seguida, se fazer a mistura, que pode ser feita com o uso de betoneira. Desse modo o barro pode ser mantido neste tipo de recipiente, por longos períodos, podendo ser usado a qualquer momento.

3.1 – Propriedades do barro como material de construção: Resistência à compressão, tração e flexão, expansão e retração.

A crosta terrestre é formada por vários tipos de elementos que se interligam e formam minerais. Estes minerais poderão estar agregados como rochas ou como solo. Todo solo tem origem na desintegração e decomposição das rochas por agentes intempéricos, que formarão partículas resultantes deste processo de intemperismo, que dependem fundamentalmente da composição da rocha matriz e do clima da região. O solo é produto da decomposição da rocha matriz e do clima da região. Por ser produto da decomposição das rochas, o solo invariavelmente apresenta um maior índice de vazios do que a rocha mãe, vazios

estes ocupados por água, ar ou outro fluido de natureza diversa. A erosão ocorre fundamentalmente, através da pulverização das rochas provocadas por movimentos glaciais, da água e do vento. De acordo como o processo geológico de formação os solos podem ser classificados em solos residuais e solos sedimentares. A argila é o produto da erosão do feldspato e outros minerais e atua como aglomerante para unir as partículas. O feldspato contém óxido de alumínio, um segundo óxido metálico e bióxido de silício. A argila é formada de partículas de forma lamelar, com superfície específica muito superior aos demais componentes do solo. São quimicamente ativas, reagindo aos componentes da cal e do cimento.

3.2 - Formas de compactação e estabilização do solo: Fibras agregadas à massa para aumento de resistência como alternativa estruturante

Conforme Leme, (2003, p.38), entende-se por compactação do solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir seus espaços vazios e assim, aumentar sua resistência, reduzindo a permeabilidade, a compressibilidade e a capacidade de absorção da água, tornando-o mais dúctil. Para a obtenção de uma boa densidade do solo é necessário ter uma quantidade de água suficiente para que se atinja a “umidade ótima”. É possível estabilizar o solo modificando as características do sistema solo-água-ar com finalidade de melhorar a resistência mecânica e a performance quanto a ação da água e a tenacidade. A estabilização com fibras tem sido muito empregada, desempenhando papel importante nos impedimentos a fissuras durante a cura do solo, distribuindo as tensões, devido à retração da argila em toda a massa do material, além de melhorar o comportamento do material após a fissuração, conferindo-lhe ductibilidade e capacidade de absorver energia e melhorando a resistência à tração e contenção da propagação das fissuras. A densidade do barro pode ser definida pela relação da massa seca com respeito ao volume, incluindo os poros. Um solo recentemente escavado tem uma densidade de 1200 a 1500 Kg/m³. Se este solo for compactado como na técnica de taipa ou em blocos de solo, sua densidade varia de 1700 a 2200 Kg/m³.

3.3 – Fibras Vegetais: alternativa renovável, biodegradável e baixo custo

De acordo com Persson ET al., (1984) as fibras podem ser divididas em dois grupos: fibras naturais e fibras feitas pelo homem.

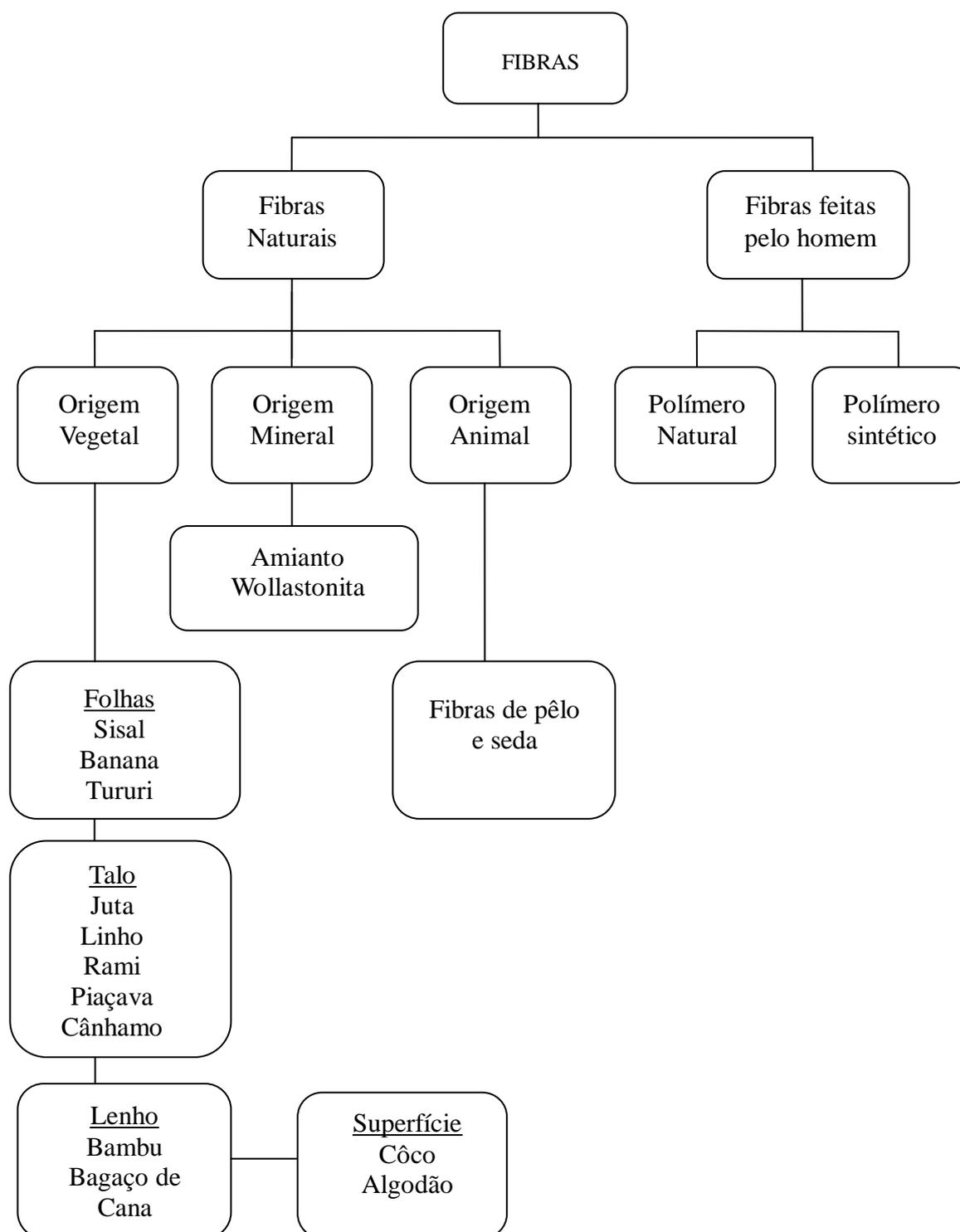


Gráfico 1 – Gráfico das fibras

De acordo com Fagury (2005, p.7), do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará, o uso de recursos vegetais para a produção de materiais é uma alternativa renovável, biodegradável e de baixo custo. Além disso, as fibras vegetais não são abrasivas a equipamentos de processo e geram compósitos de boa reciclabilidade. Faz-se necessário o estudo das propriedades físicas, químicas e mecânicas das fibras, uma vez que elas estão sujeitas a inúmeros esforços mecânicos e ataques termoquímicos, durante os processos de moldagem convencionais. Ainda conforme Fagury (2005, p.7), as fibras vegetais são estruturas alongadas de secção transversal vazada e arredondadas distribuídas por todo o vegetal podendo ser classificadas de acordo com a origem anatômica como fibras de talo, fibras de folha, fibras de lenho e fibras de superfície.

Conforme a pesquisa de Leme (2003, p.45), é possível fazer uso de várias fibras, tais como o sisal, a juta, o côco, a lã, o tururí, o bambu, ou qualquer outro material fibroso, que possa se agregar bem ao barro.

A disponibilidade dos recursos, bem como a viabilidade econômica da região e da comunidade visitada nos trabalhos de campo, foram fatores importantes para o desenvolvimento da pesquisa e para a escolha dos mesmos. Tanto nas atividades de campo realizadas na comunidade, quanto nos ensaios e experimentos laboratoriais, a escolha das fibras foi marcada pela disponibilidade de encontrá-las, tanto no campo, quanto no LILD.

3.3.1 – Fibras usadas na pesquisa

Para a realização dos experimentos e ensaios ao longo da pesquisa foram usadas algumas das fibras mencionadas anteriormente, disponíveis no LILD, tais como o sisal, a juta, o papel, o bambu, a taboa e o algodão.

Sisal

Oriundo de uma cidade costeira em Yucatã, no México, a *Agave Sisalana* é uma das fibras vegetais que possui maior resistência à tração e uma das mais indicadas para o uso como reforço em argamassas. Podemos ver a resistência e as propriedades mecânicas do sisal, conforme dados apresentados na tabela 2.

Conforme Martin, A. R. em Caracterização Química e Estrutural de Fibra

de sisal da variedade *Agave Sisalana* e segundo a Polímeros: (Revista Ciência e Tecnologia, 2009 vol.19, n^o1, p.40-46), o sisal é a principal fibra dura produzida no mundo, correspondendo aproximadamente a 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo. Do sisal, utiliza-se principalmente a fibra das folhas que, após o beneficiamento, é destinada majoritariamente à indústria de cordoaria na produção de cordas, cordéis, tapetes, etc, inclusive para indústria naval, indústria de celulose, produção de tequila e tapetes.

Conforme Alvares (2003, p.42), a planta ao atingir os três anos de vida é usada na transformação de fios, pois é quando as folhas da planta atingem cerca de 140 cm de comprimento, que podem resultar em fibras de 90 a 120 cm.

<u>Classificação científica</u>	
Reino:	Plantae
Divisão:	Magnoliophyta
Classe:	Liliopsida
Ordem:	Asparagales
Família:	Agavaceae
Gênero:	Agave
Espécie:	<i>A. sisalana</i>
<u>Nome binomial</u>	
<i>Agave</i>	<i>sisalana</i>
Perrine	



Tabela 1 - Tabela de classificação científica do sisal

Figura 69 – Sisal

Propriedades Mecânicas do Sisal

Referência	Módulo elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Densidade (Kgf/m ³)	Diâmetro x (10 ⁻²) mm
Guimarães	14,9	176	29,2	--	--
Chand et AL	9,4-22	530-640	3-7	1450	50-300
Tôledo Filho	10,94-26,70	227,8-230	2,08-4,18	750-1070	80-300
Beaudoin	13-26	1000-2000	3-5	--	--

Tabela 2 – Propriedades mecânicas e físicas do sisal – Tabela da pesquisa de Alvares (2003)

Juta

A *Corchorus capsularis L*, mais conhecida como juta branca, é encontrada em regiões de clima úmido e tropical. A juta é classificada como uma fibra de talo ou haste, pois ocorre no floema, que fica na entrecasca do talo, tal como ocorre no linho, na piaçava, no algodão e no rami. O principal componente da juta é a celulose, sob a forma de linho-celulose. Conforme d'Almeida (1987) o comprimento da planta varia de 200 a 1500 mm, sendo composta de 58-63% de celulose, 21-24% de hemicelulose, 12-14% de lignina. Seu manejo não requer o uso de fertilizantes ou agrotóxicos e seu processamento não despeja resíduos no ambiente. O produto do processamento da juta possui alto valor agregado e preços competitivos, garantindo o emprego de centenas de indivíduos que moram em comunidades da região amazônica, conforme a pesquisa Tecnologias de Aproveitamento de Fibras Naturais, (pag, 75).

As fibras de Juta são muito longas, podendo medir até 3 m e rígidas por serem lignificadas. Por ser higroscópica, a juta regula a umidade em 12%, o que a torna a matéria prima ideal para a sacaria, evitando tanto o ressecamento quanto a fermentação do produto acondicionado. Além disso, a juta se constitui em fonte de renda para um enorme contingente de trabalhadores, sendo um importante agente de fixação do homem à região do semi-árido nordestino brasileiro e também a única alternativa de cultivo com resultados econômicos satisfatórios.

Além de representar algo em torno de 80 milhões de dólares em divisas para o Brasil, beneficiada ou industrializada, a Juta gera mais de meio milhão de empregos diretos e indiretos. A Juta é muito utilizada em sacaria, embalagens e cordoaria, pois possui excelentes atributos como higroscopia, robustez e resistência, mostrando-se vantajosa para o emprego de tecidos e pela fácil decomposição e tingimento.

Ao ser descartada, sua decomposição se faz em dois anos. Além de muito resistente a Juta é excelente isolante térmico e elétrico, não se degrada em longa exposição à luz solar, possui alta densidade, é insensível ao ataque químico, além de ser ambientalmente correta.



Figura 70 - Juta

<u>Classificação científica</u>	
<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>Divisão:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Classe:</u>	<u>Magnoliopsida</u>
<u>Ordem:</u>	<u>Malvales</u>
<u>Família:</u>	<u>Malvaceae</u>
<u>Subfamília:</u>	<u>Tilioideae</u>
<u>Gênero:</u>	<u>Corchorus</u>
<u>Espécie:</u>	<u>C. capsularis</u>
<i>Corchorus capsularis</i>	

Tabela 3 – Classificação científica da Juta

Taboa

A planta aquática taboa (*Typha dominguensis*), durante quase 30 anos foi uma ameaça para os mangues costarriquenhos do Parque Nacional Palo Verde, transformando-se em oportunidade de negócios para artesãs da comunidade agrícola de Bagatzí. A taboa se espalha amplamente no mundo graças à sua facilidade para colonizar ambientes. Mede mais de dois metros de altura e em fase reprodutiva apresenta uma espiga da cor de café com mais de dois milhões de sementes, que são dispersas ao vento. A planta ocorria regularmente na bacia do baixo Rio Tempisque, na província de Guanacaste, onde fica o Parque Nacional Palo Verde, de 18.418 hectares no Pacífico.

A taboa é uma planta hidrófita (aquática) típica de brejos, manguezais, várzeas e outros espelhos de águas. Altamente adaptável, encontra-se espalhada por todo o mundo, e em algumas partes é até mesmo considerada uma praga.

<u>Classificação científica</u>	
<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>Divisão:</u>	
<u>Classe:</u>	
<u>Ordem:</u>	
<u>Família:</u>	
<u>Gênero:</u>	<i>Typha</i>
<u>Espécie:</u>	<i>T. domingenses</i>
<u>Nome binomial</u>	
<i>Typha domingenses</i>	



Tabela 4 – Classificação científica da taboa

Figura 71 – *Typha domingenses*

A sua fibra, durável e resistente, pode ser utilizada como matéria-prima para papel, cartões, pastas, envelopes, cestas, bolsas e outros itens de artesanato.



Figura 72 – Taboa na beira do rio



Figura 73 – Espigas da Taboa

Papel

O papel é fabricado a partir do material orgânico mais abundante produzido pela natureza: a celulose. A madeira constitui a principal fonte de celulose por ser abundante e renovável. As fibras de celulose apresentam diferentes características conforme o tipo de árvore. O comprimento e o formato das fibras variam consideravelmente de árvore para árvore. Madeiras moles

(pinus, por exemplo) produzem fibras longas (cerca de 3 mm) e madeiras duras (eucalipto, por exemplo) produzem fibras curtas (cerca de 1 mm). Em geral, a celulose representa cerca de 40-45% em peso de uma árvore. O restante corresponde à hemicelulose e à lignina.

3.3.2 – Vantagens e desvantagens no uso das fibras

Leme (2003, p.39) destaca algumas vantagens e desvantagens no uso de fibras vegetais em relação ao uso de fibras sintéticas.

Vantagens:

- Conservação de energia
- Grande abundância
- Baixo custo
- Não prejudica a saúde
- Previne erosões
- Baixa densidade
- Biodegráveis
- Possibilita o incremento na economia agrícola

Desvantagens:

- Baixa durabilidade quando usada como o reforço em matriz cimentícia
- Variabilidade de propriedades
- Fraca adesão em seu estado natural a inúmeras matrizes

Bambu

Na pesquisa, o bambu foi adotado como elemento estrutural na construção dos modelos iniciais e combinado com o barro e as fibras, entretanto com o andamento dos ensaios e experimentos percebeu-se a necessidade de se construir um modelo apenas com barro e fibras, a fim de que fosse verificada a resistência

deste compósito, sem a estrutura de bambu.

Desde os primórdios o bambu tem acompanhado o ser humano fornecendo abrigo, alimento, utensílios, ferramentas e uma infinidade de outros itens. De acordo com Beraldo Apud Sastry (1999), estima-se que atualmente o bambu contribua para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas em todo o planeta. Assim como seus usos tradicionais o bambu apresenta igualmente importante desenvolvimento de seus usos industriais. Predominantemente de regiões tropicais, o bambu é a planta de crescimento mais rápido do planeta, que necessita de 3 a 6 meses, em média, para que o broto atinja sua altura máxima, de até 30m de altura, para as espécies denominadas gigantes.

Quando comparado a qualquer outro tipo de planta, o bambu apresenta qualidades que lhe têm proporcionado o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana, devido a sua admirável vitalidade, grande versatilidade, resistência, leveza e facilidade em ser trabalhado com ferramentas simples, além da formidável beleza do colmo ao natural ou após seu processamento. Apresenta grande potencial agrícola, por se tratar de uma planta tropical, perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, sendo uma excelente alternativa à madeira.

O bambu é o recurso natural que se renova em menor intervalo de tempo, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área, podendo ser empregado em diversas aplicações ao natural ou após sofrer tratamentos e processamentos adequados. Também pode ser utilizado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares, bem como na proteção e regeneração ambiental. Entretanto o bambu ainda é pouco utilizado, seja pelo desconhecimento de suas espécies, de suas características e de suas aplicações, seja devido à falta de pesquisas específicas e à ineficiente divulgação das informações disponíveis. No Brasil, infelizmente o bambu, exceto a produção de papel, ainda está restrito a algumas aplicações tradicionais, tais como artesanato, vara de pescar, fabricação de móveis, e na produção de brotos comestíveis. De acordo com Pereira (2007, p.40), pesquisas realizadas pelo Centro de Pesquisas Chinês China Bamboo Research Center – CBRC (2001), a partir dos anos 80 tem havido uma intensificação do uso do bambu em diversas áreas industriais, sobressaindo-se a

produção de alimentos, a fabricação de papel, além de aplicações em engenharia e na química. Podemos substituir ou até mesmo evitar o corte e o uso predatório de florestas tropicais, usando produtos à base de bambu processado (“madeira de bambu”) como carvão, carvão ativado, palitos, chapas de fibra orientada (OSB), chapas entrelaçadas para uso em fôrmas para concreto (compensado de bambu), painéis, produtos à base de bambu laminado colado (pisos, forros, lambris), esteiras, compósitos, componentes para construção/habitação e indústria moveleira, dentre outros. Ainda conforme Pereira (2007, p.40), em relação às propriedades industriais do bambu, se forem consideradas as relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores superam as madeiras e o concreto, podendo ser tais relações comparáveis, inclusive, ao aço.

Torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais capazes de atenuar o processo predatório com o crescente desmatamento e o aumento da pressão exercida sobre as florestas, assim como sobre as áreas de reflorestamento. Embora a cultura do bambu seja milenar a sua utilização e desenvolvimento de pesquisas, têm sido em sua maioria, restritas aos países orientais, embora, mais recentemente, no Ocidente, uma maior atenção venha sendo dedicada a essa cultura.