

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

LEONARDO FORCIN

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAMBU PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

BAURU
2015

LEONARDO FORCIN

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAMBU PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação de Prof. Me. Ricardo Ramos da Rocha.

BAURU
2015

F698p

Forcin, Leonardo

Painéis aglomerados de bambu para a construção civil / Leonardo Forcin. -- 2015.

67f. : il.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Ramos da Rocha.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Bambu. 2. Produto ecológico. 3. Construção sustentável. 4. Material alternativo. 5. Construção civil. I. Rocha, Ricardo Ramos da. II. Título.

LEONARDO FORCIN

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAMBU PARA A CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação de Prof. Me. Ricardo Ramos da Rocha.

Banca examinadora:

Prof. Me. Ricardo Ramos Da Rocha
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Ma. Renata Teixeira de Almeida Minhoni
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Esp. Antonio Marcos Galvez Serra
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 09 de dezembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todos os professores e coordenadores da Universidade do Sagrado Coração – USC, que contribuíram no decorrer do curso de engenharia civil.

Em especial ao orientador Ricardo Ramos da Rocha que auxiliou na elaboração deste trabalho, contribuindo com conhecimento e dedicação, sendo de grande importância.

A Universidade Estadual Paulista – UNESP de Bauru - SP, que cedeu os laboratórios para a realização da parte prática.

Aos professores da UNESP, Ivaldo De Domenico Valarelli, do departamento de engenharia mecânica da e Obede Borges Faria, do departamento de Eng. Civil e Ambiental que contribuíram para a realização deste trabalho.

A banca examinadora, composta por: Profº Me. Ricardo Ramos Da Rocha; Profa. Ma. Renata Teixeira de Almeida Minhoni e Prof. Esp. Antonio Marcos Galvez Serra.

Aos técnicos e auxiliares de laboratórios da USC e UNESP.

Aos familiares que incentivaram e deram forças para alcançar este trabalho.

Principalmente a Deus que abençoou e iluminou esta jornada.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a criação e análise de novos produtos tecnológicos e ecológicos no ramo da construção civil, no qual pretende realizar a substituição da madeira em obras. O Trabalho em si destina-se a criação de um painel aglomerado, onde utiliza o bambu como matéria prima para a confecção. O trabalho foi dividido em quatro etapas. Na primeira, foi questionada a criação de um novo material no qual possa solucionar o problema da falta de madeira para a criação de painéis. Na segunda etapa, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os principais elementos desse estudo, no caso o bambu e os painéis de madeira utilizados nas construções, onde pode ser adquirido conhecimento sobre suas propriedades e utilizações. Na terceira etapa demonstra a confecção do novo material tecnológico, nesse caso o painel aglomerado de bambu. A quarta etapa destinou-se a realização de ensaios normativos para a análise e com isso verificar a sua viabilidade. Após a verificação dos testes realizados nos painéis aglomerados de bambu, constatou-se pelo ensaio de flexão que as placas apresentaram uma resistência média de 13,05 MPa, tendo um resultado satisfatório, o que ampara a ideia de que a mesma está adequada para a substituição dos painéis convencionais de madeira utilizados em obras e indústria moveleira.

Palavras-chave: Bambu. Produto ecológico. Construção sustentável. Material alternativo. Construção civil.

ABSTRACT

This present study aims the creation and analyzing of new technological and ecological products in the field of the civil construction, with the purpose of performing the replacement of the wood in the constructions. The study itself concerns the creation of an agglomerated panel using bamboo as raw material for its production. The study was divided into four steps. At the first step, the creation of a new material, which can solve the lack of wood for the production of panels, has been questioned. At the second step, a bibliographic review on the main elements of this study (bamboo and wood panels used in constructions) was made, where a wider knowledge on properties and uses of these raw materials can be obtained. The third step demonstrates the production of this new technological product, the bamboo agglomerated panel. The fourth step was aimed at conducting normative trials for analysis and thus verifies its viability. After verification of the tests performed on the bamboo agglomerated panels, it has been found by flexural testing that the boards have an average strength of 13.05 MPa, showing a satisfactory result, which contributes to the idea that this raw material is suitable for the replacement of conventional wood panels used in construction and furniture industry.

Keywords: Bamboo. Ecological product. Sustainable construction. Alternative material. Civil Engineering.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Bambu..... | 15 |
| Figura 2 - Rizomas entouceirontes..... | 16 |
| Figura 3 - Rizomas alastrante | 17 |
| Figura 4 - Estrutura botânica..... | 18 |
| Figura 5 - Distribuição geográfica do bambu..... | 18 |
| Figura 6 - <i>Guadua angustifolia</i> | 21 |
| Figura 7 - Construção em bambu guadua angustifolia..... | 21 |
| Figura 8 - Taj Mahal | 27 |
| Figura 9 - Sala de estar em bambu, na Indonésia..... | 27 |
| Figura 10 - Cura na mata | 28 |
| Figura 11 - Cura por imersão | 29 |
| Figura 12 - Fluxograma painéis..... | 31 |
| Figura 13 - Formas construção civil | 33 |
| Figura 14 - Painéis indústria moveleira | 34 |
| Figura 15 - Tapume compensado resinado..... | 35 |
| Figura 16 - Wood Light Frame..... | 36 |
| Figura 17 - Fabricas de painéis aglomerados | 40 |
| Figura 18 - Corte do Bambu na natureza | 41 |
| Figura 19 - Classificação Taxonômica do bambu colhido | 42 |
| Figura 20 - Pré-polímero (1) e polioliol (2). | 42 |
| Figura 21 - Taquaras de bambu | 43 |
| Figura 22 - Moagem bambu | 44 |
| Figura 23 - Peneiramento..... | 44 |
| Figura 24 - Secagem em estufa, com recipientes de volumes variados..... | 45 |
| Figura 25 - Forma do laboratório..... | 46 |
| Figura 26 - Mistura Bambu com resina..... | 47 |
| Figura 27 - Pré-prensagem bambu | 48 |
| Figura 28 - Prensagem das placas..... | 48 |
| Figura 29 - Placas prontas | 49 |
| Figura 30 - Corpos de prova..... | 50 |
| Figura 31 - Ensaio de flexão: MOR e MOE | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 32 - Ensaio de tração perpendicular..... | 53 |
| Figura 33 - Corpo de prova rompido | 54 |
| Figura 34 - Corpos de provas mergulhado em um tanque. | 55 |
| Figura 35 - Porcentagem de inchamento de cada corpo de prova..... | 58 |
| Figura 36 - Porcentagem de absorção | 59 |
| Figura 37 - Densidade..... | 60 |
| Figura 38 - Força x tempo | 61 |
| Figura 39 - Tensão x deformação | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Distribuição do bambu nos biomas brasileiro..... | 19 |
| Tabela 2 - Características de espécies de bambu | 20 |
| Tabela 3 - Relação entre a energia de produção por unidade de tensão..... | 22 |
| Tabela 4- Relação entre a resistência à tração e o peso específico | 23 |
| Tabela 5 - Classificação Taxonômica do bambu colhido..... | 42 |
| Tabela 6 - Ensaio de Inchamento..... | 57 |
| Tabela 7 - Absorção de água | 58 |
| Tabela 8 - Resultado da densidade..... | 59 |
| Tabela 9 - Tração perpendicular. | 61 |
| Tabela 10 - MOR E MOE | 62 |

SUMÁRIO

| | | |
|---------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 | OBJETIVOS GERAIS | 14 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 3.1 | BAMBU: CONCEITOS INICIAIS..... | 15 |
| 3.2 | ASPECTOS BOTÂNICOS | 16 |
| 3.3 | O USO DO BAMBU NO MUNDO | 18 |
| 3.4 | O USO DO BAMBU NO BRASIL..... | 19 |
| 3.5 | CONTEXTO HISTÓRICO DO BAMBU..... | 20 |
| 3.6 | O BAMBU E A CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 22 |
| 3.6.1 | Propriedades físicas e mecânicas do bambu | 23 |
| 3.6.1.1 | <i>Higroscopia</i> | 24 |
| 3.6.1.2 | <i>Densidade</i> | 24 |
| 3.6.1.3 | <i>Resistencia a tração</i> | 24 |
| 3.6.1.4 | <i>Resistência à compressão</i> | 25 |
| 3.6.1.5 | <i>Resistência ao cisalhamento</i> | 26 |
| 3.6.2 | Construções feitas em bambu | 26 |
| 3.6.3 | Tratamento natural do bambu | 28 |
| 3.7 | CONCEITO DE PAINEL | 29 |
| 3.8 | ANISOTROPIA DA MADEIRA..... | 30 |
| 3.9 | TIPOS DE PAINÉIS DE MADEIRAS | 31 |
| 3.10 | UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA | 33 |
| 3.11 | WOOD LIGHT FRAME | 35 |
| 3.11.1 | Wood frame no Brasil | 36 |
| 3.11.2 | Importância da madeira no sistema wood frame | 37 |
| 3.11.3 | Etapas do sistema construtivo woodf rame | 37 |
| 3.12 | PAINÉIS AGLOMERADOS | 38 |
| 3.12.1 | Painéis aglomerados produção | 39 |
| 3.12.2 | Produtores de painéis aglomerados | 39 |
| 4 | METODOLOGIA | 41 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | MATERIAIS | 41 |
| 4.1.1 | Bambu | 41 |
| 4.1.2 | Resina de óleo de mamona | 42 |
| 4.2 | MÉTODO..... | 43 |
| 4.2.1 | Moagem bambu | 43 |
| 4.2.2 | Peneiramento | 44 |
| 4.2.3 | Secagem em estufa | 45 |
| 4.2.4 | Confecção das placas | 46 |
| 4.3 | ENSAIOS | 49 |
| 4.3.1 | RETIRADA DOS CORPOS DE PROVAS | 50 |
| 4.3.2 | ENSAIO DE FLEXÃO | 51 |
| 4.3.3 | ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA ADESÃO INTERNA | 53 |
| 4.3.4 | ENSAIO DE INCHAMENTO EM ESPESSURA E ABSORÇÃO DE ÁGUA | 54 |
| 4.3.5 | ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE | 55 |
| 5 | RESULTADOS DOS ENSAIOS | 57 |
| 5.1 | INCHAMENTO E ABSORÇÃO DE ÁGUA | 57 |
| 5.2 | DENSIDADE | 59 |
| 5.3 | TRAÇÃO PERPENDICULAR | 61 |
| 5.4 | FLEXÃO ESTÁTICA | 62 |
| 6 | CONCLUSÃO | 64 |
| | REFERENCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil vem crescendo a cada ano, com isso o número de materiais a serem usados vem aumentando significativamente e devido a esse crescimento o meio ambiente está sendo cada vez mais degradado e tendo grandes dificuldades para suprir as necessidades dos produtos.

Hoje em dia a busca por materiais alternativos que não prejudicam o meio ambiente estão sendo cada vez mais procurados. Esses produtos são produzidos usando tecnologias e recursos mais ecológicos.

Segundo Teixeira (2006), há a necessidade de buscar novas atitudes frente aos problemas ambientais urbano e construído onde a produções arquitetônicas voltadas para o habitar levam em consideração a tecnologia e qualidade voltadas para a sustentabilidade e suas ligações com o tempo-espaço social, cultural e político.

Um material que foi desenvolvido e que revolucionou o mercado foram os painéis aglomerados, cujo processo de fabricação é feito a partir da prensagem de partículas de madeiras. Esses painéis permitiram menor custo, maior qualidade, flexibilidade, aproveitamento dos materiais, redução de perdas, rapidez e controle de execução das obras etc.

A utilização da madeira no ramo da construção civil é muito comum. Um de seus grandes usos é na confecção de placas OSB (*Oriented Strand Board*), onde a matéria prima é oriunda da floresta amazônica, e devido ao consumo acelerado, está começando a causar uma deficiência de madeira.

Estimativas indicam que entre 43% a 80% da produção madeireira da região amazônica seja ilegal, advinda de áreas desmatadas ou exploradas de forma predatória e insustentável. (ZENID, 2009). Muito se questiona, alegando que boa parte dessa produção seja destinada ao mercado interno e que há uma grande possibilidade de que a maioria das empresas que fazem o uso de madeira proveniente da Amazônia estejam utilizando-as de maneira ilegal ou predatória.

Devidos a esses desmatamentos, começaram a surgir graves problemas ambientais, como a acelerada degradação das florestas, extinções de várias espécies de plantas e animais que habitavam determinadas áreas. Então uma das

soluções criadas foram os cultivos de árvores que futuramente seriam destinadas as construções, porém seu tempo de espera é muito lento.

O uso do bambu como material alternativo, está sendo cada vez mais procurado no mercado de trabalho, devido a sua facilidade de manuseio, baixo custo, por ser ecologicamente correto, reaproveitável, reciclável e também por esse tipo de material apresentar um bom desempenho, sendo utilizado na substituição de certos materiais. Para solucionar esses problemas, novas soluções foram sendo questionadas, e então surgiu a ideia de usar o bambu, que apresenta um fácil e rápido cultivo, além de apresentar boas características.

O bambu é um material que apresenta uma boa qualidade em tratando-se de suas propriedades mecânicas, por isso sua utilização está cada vez mais frequentes. Muitos países ao redor do mundo fazem o uso do bambu em suas obras e a região onde mais se concentram essa utilização são nos países orientais, onde o cultivo do bambu é muito forte.

Segundo Teixeira (2006), o bambu é uma espécie vegetal que apresenta um forte desempenho, porém o mesmo precisa de cuidados para o prolongamento de sua vida útil através da utilização de técnicas adequadas para o seu tratamento, formação de mão-de-obra especializada, criação de políticas industriais voltada para o incentivo da utilização do bambu como novo material de construção, e a existência de um cultivo abundante para poder ser utilizado em larga escala para todas as classes sociais.

De acordo com Padovan (2010), o bambu apresenta características peculiares em relação a madeira, como uma alta produtividade, ciclos mais curtos, baixo custo de plantio, facilidade de cultivo, podendo ser feito com ferramentas simples, podendo ainda ajudar na recuperação de áreas degradadas e melhorias do sistema de reflorestamento do Brasil, cujo país apresenta condições climáticas favoráveis para seu desenvolvimento e uma abundância de espécies.

No Brasil a ideia de se utilizar o bambu como um material alternativo para as construções está muito precária, devido que existam poucos estudos em relação a essa área e o maior consumo desse material está ligado ao sistema de artesanato e decorações de jardins.

Segundo Teixeira (2006), o bambu apesar de ter uma série de benefícios construtivos, no Brasil esse material não tem mercado garantido e apresenta pouca comercialização, devidos os poucos estudos e aplicações nessa área.

Devido aos poucos estudos que se tem sobre esse novo material acaba dificultando o uso dessa planta como novo recurso para a área da construção, portanto o presente trabalho tem como importância disseminar o conhecimento desse novo recurso tecnológico a fim de realizar futuros estudos nessa área e com isso melhorar e qualificar as obras civis.

2 OBJETIVOS

Apresenta-se nos tópicos abaixo os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Esse trabalho tem como objetivo realizar estudos na área de novos produtos ecológicos no ramo da construção, como a confecção de painéis aglomerados de bambu.

Disseminar novos estudos para ampliar o conhecimento nessa nova área permitindo que essa tecnologia cresça e se desenvolva futuramente a fim de melhorar a indústria da construção civil.

Criação de um novo produto tecnológico mais ecológico e que poderá substituir outros materiais convencionais até então usado nas obras, como os painéis de madeira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- a) confeccionar um painel aglomerado utilizando o bambu como matéria prima regional e atribuir uma boa resistência;
- b) fazer ensaios na placa de bambu, e analisar seus resultados;
 - ensaio de flexão;
 - ensaio de absorção;
 - ensaio inchamento;
 - ensaio de tração perpendicular às fibras;
- c) testar a resina de óleo de mamona.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento desse estudo é deveras importante conhecer os dois elementos básicos desse trabalho, neste caso o bambu e painéis.

Foram realizadas diversas pesquisas sobre os elementos, no qual facilitou o entendimento das propriedades particulares e a utilização de cada material, assim alguns estudos iniciais puderam ser realizados e os mesmos serão apresentados ao decorrer deste trabalho.

3.1 BAMBU: CONCEITOS INICIAIS

Segundo López (2003 citado por PADOVAN, 2010) o bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas. Essa subfamília se subdivide em duas tribos, a *Bambuseae* que são os bambus chamados de lenhosos e a *Olyrae*, os bambus chamados de herbáceos.

“A espécie vegetal conhecida como “bambu”, é conhecida há milhares de anos por vários povos e pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*) e à subfamília *bambusoideae*” (LÓPEZ, 2003 citado por PADOVAN, 2010, p. 2). (Figura 1).

Figura 1 - Bambu



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com Graça (1988 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 26) “[...] o bambu é uma supergramínea que possui características marcantes. Sua superfície é naturalmente lisa, dura e limpa, e sua cor é considerada muito atrativa.”

3.2 ASPECTOS BOTÂNICOS

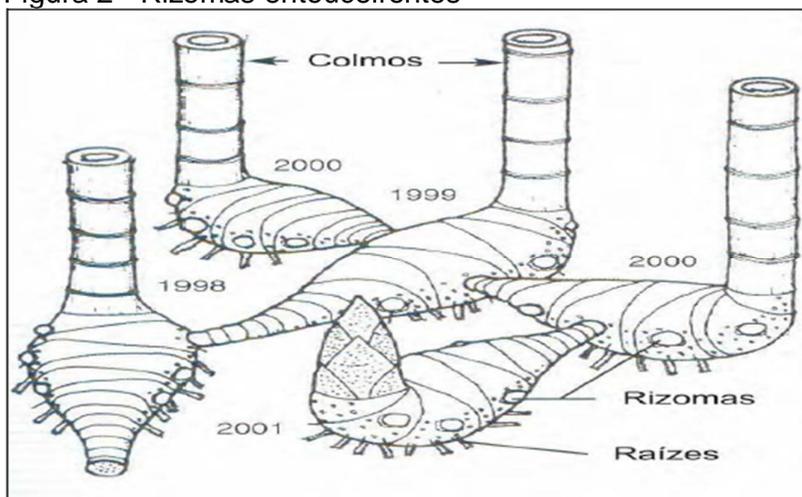
O Bambu, como todas as plantas, apresenta uma parte subterrânea constituída por rizomas e raízes e outra parte aérea, onde ficam os colmos, ramas e folhas. Cada parte do vegetal tem funções bem específicas, sendo de suma importância.

Raízes: essa parte fica enterrada no solo e tem como a função principal de absorver água e nutrientes do solo, nos quais são essenciais para o pleno desenvolvimento do bambu.

Rizomas: é um caule subterrâneo onde são armazenados os nutrientes e se desenvolvem rentes ao solo, muitas vezes são confundidos como raízes. Outra função é de criação de ramificações, onde ocorre a propagação do bambu através da reprodução assexuada.

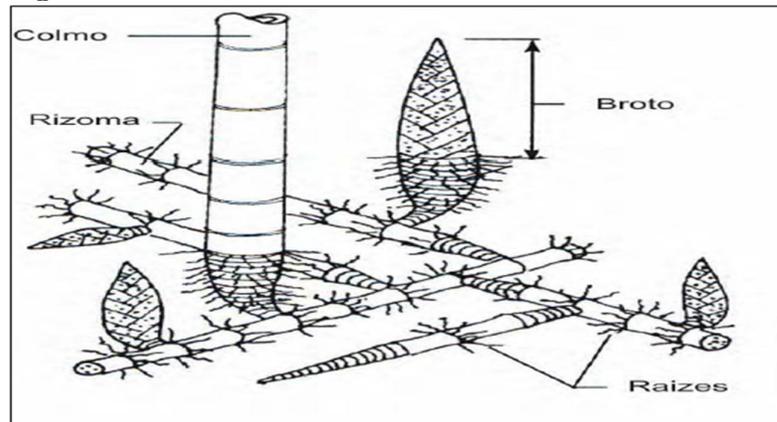
Os rizomas são classificados em dois tipos, os que crescem de uma maneira mais agrupada formando touceiras (simpodiais ou entouceirantes), (Figura 2) e os que crescem de uma forma mais difusa (monopodiais ou alastrantes) (Figura 3).

Figura 2 - Rizomas entouceirantes



Fonte: Hidalgo-López (2003 citado por PADOVAN, 2010 p. 23).

Figura 3 - Rizomas alastrante



Fonte: Hidalgo-López (2003 citado por PADOVAN, 2010 p. 24).

Segundo Pereira e Beiraldo (2007), os bambus alastrantes chegam a percorrer distância de um a seis metros em um ano e formam uma teia que podem cobrir 50 a 100 mil metros lineares por hectares.

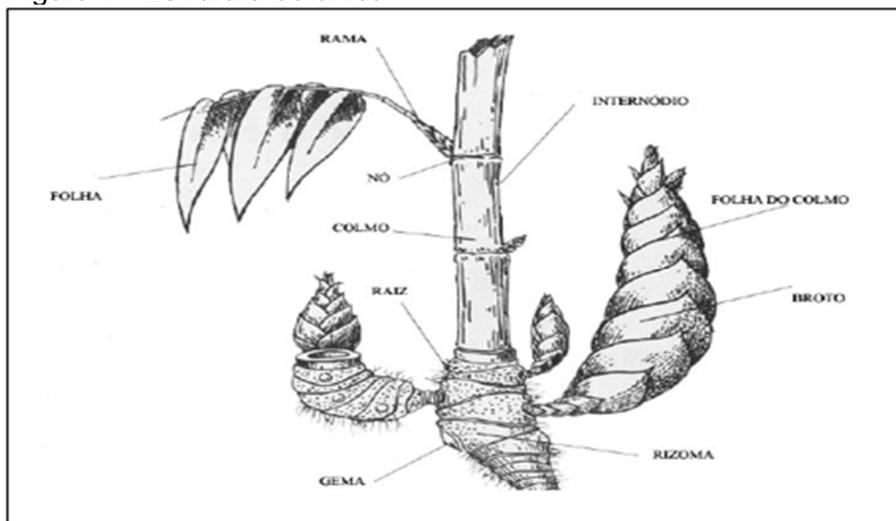
Colmos: constituído externamente por duas camadas de células epidermes, cobertas por uma camada cutinizada, com concentração de sílica, material que confere muita resistência ao colmo e lhe serve de proteção, na natureza, contra os ataques de animais e exposição mecânica.

Segundo Padovan (2010), o bambu em sua parte exterior, apresenta uma camada de cera, e internamente uma camada espessa lignificada, no qual apresenta em sua direção longitudinal, uma composição numerosa de células esclerenquimáticas (feixes de fibras) e estas tem a função de impedir a movimentação de fluidos lateralmente.

Folhas: as folhas dos bambus respondem pela função de elaborar as substâncias necessárias ao rápido crescimento desta planta através do processo da fotossíntese, as folhas ficam presas as ramas, que são galhinhos mais finos e esses brotam ao longo dos colmos.

O esquema completo do Bambu pode ser visto na figura 4, onde apresentam de um modo geral todas as estruturas da planta.

Figura 4 - Estrutura botânica



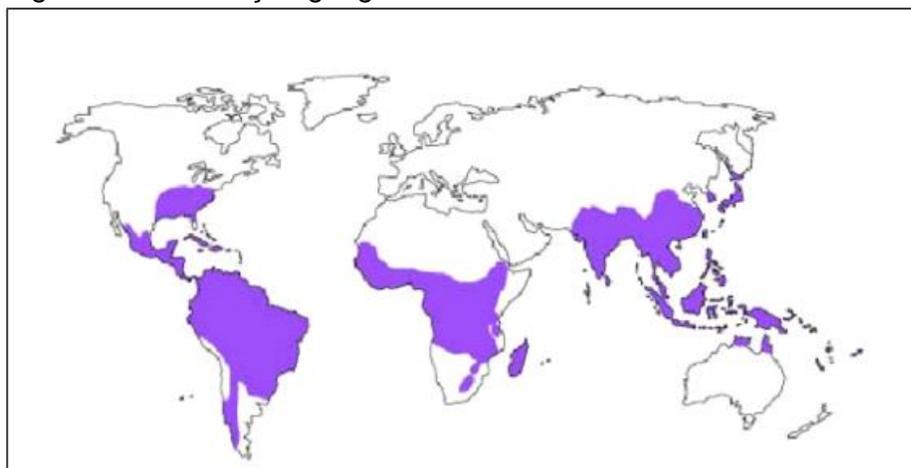
Fonte: NMBA (2004 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 26)

3.3 O USO DO BAMBU NO MUNDO

O bambu é encontrado naturalmente em todos os continentes do mundo, com exceção da Europa. Porém, desde o século XIX, seu cultivo vem sendo introduzido na parte oeste da Europa, em países como Espanha, Itália e Portugal, através da China e Japão (OPRINS PLANT, 1997, p.4). Estas gramíneas crescem em temperaturas entre 8° e 36°C, embora se desenvolvam melhor em regiões tropicais e subtropicais. (TEIXEIRA, 2006, p. 31).

A seguir a Figura 5 mostra a distribuição geográfica do bambu ao redor do mundo.

Figura 5 - Distribuição geográfica do bambu



Fonte: Morokawa (2008, p. 1).

De acordo com Londoño (1991), no mundo existe um total de 90 gêneros e 1.200 espécies de bambus. Contudo muitas divergências existem com relação a esta diversidade. Kumar (2002) relata uma existência de mais de 1.575 espécies; Kaley (2000) cita o número de 1200 espécies distribuídas em 75 gêneros e a NMBA (2004), 111 gêneros e 1600 espécies. Uma das possíveis razões para estas discordâncias pode estar relacionada com o fato da flor e o fruto não estarem presentes em grande parte do material botânico coletado para a identificação, devido aos grandes intervalos de florescimento que ocorrem em muitas espécies. Como estes dois órgãos têm um grande número de informações botânicas, as suas ausências poderiam levar a equívocos no processo de identificação. Uma outra explicação poderia estar associada à prática comum de propagação da espécie por clones. À parte de uma planta que sofreu uma mutação e que foi posteriormente utilizada como propágulo, poderia dar origem a uma nova planta com algumas diferenças morfológicas e ser considerada erroneamente como uma nova espécie. (COSTA, 2012, p. 27).

Existem várias espécies de bambu espalhadas pelo mundo, sendo 65 gêneros e 900 espécies de bambu encontrado somente no continente asiático. Na América foram encontrados cerca de 32 espécies e 22 gêneros. Segundo Londoño (1991 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 31) “[...] o Brasil apresenta cerca de 81% dos gêneros.”

3.4 O USO DO BAMBU NO BRASIL

Segundo Graça (1988 citado por TEIXEIRA, 2006), as espécies mais populares de bambu no Brasil são de origem asiática, trazidas pelos primeiros colonizadores e, devido ao clima tropical brasileiro, essas espécies adaptaram bem e se expandiram ligeiramente.

No Brasil o bambu está presente em quase todo território nacional, porém ele se destaca na região norte e nordeste e nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Foi realizada uma análise sobre a distribuição do bambu segundo alguns biomas brasileiros, como a mata atlântica, Amazônia e cerrado, e conclui-se que no Brasil há cerca de 230 espécies, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição do bambu nos biomas brasileiro

| Biomas | Espécies | % |
|-----------------------|-----------------|------------|
| Mata Atlântica | 151 | 65 |
| Amazônia | 60 | 26 |
| Cerrado | 21 | 9 |
| Total | 232 | 100 |

Fonte: Filgueiras e Gonçalves (2004 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 32).

Segundo Texeira (2006), no Brasil apresenta uma grande variabilidade de espécies, as mais conhecidas são: *Bambusa vulgaris vittata* (bambu-imperial), *Bambusa vulgaris* (bambu-verde), *Bambusa tuldoides* (bambu-comum), *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante ou bambu-balde) e algumas espécies de *Phyllostachys*.

As espécies de bambus são catalogadas segundo seu tamanho, diâmetro, massa dos colmos e comprimentos entre nós. Podemos ver a classificação de algumas espécies segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Características de espécies de bambu

| Espécies | Comprimento útil (m) | Colmo | | Compr. internódios (cm) |
|---|----------------------|---------------|------------|-------------------------|
| | | Diâmetro (cm) | Massa (kg) | |
| <i>Bambusa vulgares</i> | 10,70 | 8,10 | 12,50 | 32,00 |
| <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i> | 9,30 | 7,20 | 10,30 | 34,00 |
| <i>Bambusa oldhami</i> | 9,90 | 6,90 | 8,40 | 41,00 |
| <i>Bambusa nutans</i> | 10,00 | 5,80 | 7,80 | 38,00 |
| <i>Bambusa tulda</i> | 11,90 | 6,60 | 11,90 | 49,00 |
| <i>Bambusa beecheyana</i> | 9,00 | 7,80 | 10,50 | 28,00 |
| <i>Bambusa stenostachya</i> | 15,10 | 8,20 | 17,50 | 35,00 |
| <i>Bambusa tuldoides</i> | 9,20 | 4,30 | 3,80 | 46,00 |
| <i>Bambusa textilis</i> | 8,10 | 4,80 | 3,30 | 44,00 |
| <i>Bambusa ventricosa</i> | 9,30 | 4,80 | 4,50 | 44,00 |
| <i>Bambusa maligensis</i> | 7,40 | 4,30 | 3,50 | 28,00 |
| <i>Bambusa dissimulator</i> | 9,50 | 4,60 | 5,20 | 41,00 |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | 14,50 | 12,20 | 61,30 | 34,00 |
| <i>Dendrocalamus latiflorus</i> | 11,50 | 11,50 | 40,70 | 37,00 |
| <i>Dendrocalamus strictus</i> | 10,50 | 7,60 | 15,00 | 38,00 |
| <i>Dendrocalamus Giganteus</i> | 16,00 | 14,20 | 84,50 | 34,00 |
| <i>Ochlandra travancorica</i> | 11,30 | 9,40 | 26,00 | 40,00 |
| <i>Phyllostachys edulis</i> | 4,40 | 3,60 | 2,10 | 15,00 |

Fonte: Salgado et al. (1994 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 29).

3.5 CONTEXTO HISTÓRICO DO BAMBU

Hoje em dia muito se fala em um novo material mais ecológico e que venha substituir à madeira usada nas construções civis, com isso a utilização do bambu vem crescendo no mercado. Porém, esse novo produto não é tão atual assim, o bambu já era utilizado por povoações antigas, que fazia seu uso para construções de pequenos portes e utensílios.

Segundo López (2003 citado por TEIXEIRA, 2006), a necessidade de se proteger contra as intempéries e contra animais foram de suma importância para os homens pré-históricos, portanto havia a necessidade de criação de abrigos, com isso surgia às primeiras utilizações do bambu, onde o material era usado para fazer a estrutura das cabanas. Outra utilização foi às criações de utensílios, como vasos, onde podiam armazenar alimentos, pequenas armas entre outras coisas, isso acabou ajudando os povos primitivos a sobreviverem em um mundo selvagem.

O Bambu esteve presente na maioria das civilizações antigas, segundo Teixeira (2006), os povos indígenas pré-colombianos, há cerca de 5000 anos, já faziam a utilização do bambu onde utilizavam a espécie *guadua angustifolia*, (Figura 6).

Figura 6 - *Guadua angustifolia*



Fonte: Bambu... (c2015).

Esse bambu pode ser encontrado em diversas áreas da América do sul e devido ao seu grande porte, é muito utilizado no ramo das construções (Figura 7).

Figura 7 - Construção em bambu *guadua angustifolia*



Fonte: Diniz (2011).

Através dos diversos usos do bambu no passado, sua utilização como estrutura, permitiu verificar a excelente capacidade desse material, o que abriu espaço para o desenvolvimentos de pesquisas sobre esse novo recurso.

3.6 O BAMBU E A CONSTRUÇÃO CIVIL

Devido à falta de madeira no mercado o bambu começou a ser alvo de estudos, surgindo um novo material que apresenta uma grande variedade de aplicações. Um uso importante desse novo material é sua utilização na construção civil, onde ele pode substituir a madeira, aço na concretagem. Outra vantagem é que ele pode ser usado em várias etapas da obra, como fundação, estrutura, telhado etc.

Segundo Graça (1988), dependendo da constituição do colmo, o bambu apresenta um fácil corte e fracionamento, porém, quando for fixar uma peça na outra, não deve ser utilizado pregos, já que o mesmo pode acarretar rachaduras, portanto o melhor jeito de unir as peças é através do uso de parafusos.

Visto que o bambu é um material natural e pode substituir outros materiais no ramo da construção, portanto se faz necessário comparar algumas propriedades entre si para verificar sua viabilidade.

Como todo material utiliza de energia para poder ser fabricado, a Tabela 3, faz uma comparação de energia usada para o condicionamento dos principais elementos de construção com o bambu.

Tabela 3 - Relação entre a energia de produção por unidade de tensão

| MATERIAL | Bambu | Madeira | Concreto | Aço |
|--------------------------|-------|---------|----------|------|
| MJ/ M ³ / MPA | 30 | 80 | 240 | 1500 |

Fonte: Ghavami (1992 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 55).

Como dito anteriormente o bambu pode substituir o aço na construção com isso estaria tendo uma grande vantagem na economia de energia, visto que o bambu é 50 vezes mais econômico que a produção do aço. Devido a essa vantagem o bambu é considerado um material ecológico e viável nesse quesito.

Para o sistema construtivo não depende só do consumo de energia, é importante também comparar algumas propriedades dos materiais, conforme pode ser visto na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Relação entre a resistência à tração e o peso específico

| MATERIAL | Res. Tração $\sigma_1(\text{N/mm}^2)$ | Peso Específico $u(\text{N/mm}^3 \times 10^{-2})$ | $R = \frac{\sigma_1}{u} \cdot 10^2$ | R/ Raço |
|--------------|--|--|-------------------------------------|-------------|
| Aço (CA 50A) | 500 | 7,83 | 0,63 | 1,00 (ref.) |
| Bambu | 140 | 0,80 | 1,75 | 2,77 |
| Alumínio | 304 | 2,70 | 1,13 | 1,79 |
| Ferro Fund. | 281 | 7,20 | 0,39 | 0,62 |

Fonte: Ghavami (1992 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 55).

Segundo Teixeira (2010), o bambu apresenta uma certa dificuldade na hora de executar uma construção, isso está relacionando com a não linearidade de seus colmo, ou seja, a peça não apresenta uma uniformidade. Porém isso não impede a sua utilização, visto que o bambu apresenta vantagens que acabam compensando esse problema, como a sua economia, leveza e durabilidade.

3.6.1 Propriedades físicas e mecânicas do bambu

Conhecer as propriedades mecânicas do bambu é deveras importante, pois assim é possível ter conhecimentos do comportamento do material quando utilizado no sistema construtivo.

Segundo Ghavami e Marinho (2001 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 51) “[...] os colmos do bambu possuem características de leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, que são ideais para diferentes propósitos tecnológicos.”

De acordo com Barbosa e Ghavami (2005 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 52), “[...] as propriedades físicas do bambu de maior interesse para a engenharia são peso específico, umidade natural, absorção de água, variações dimensionais e coeficiente de dilatação.”

3.6.1.1 *Higroscopia*

Os materiais não são 100% maciço com isso apresentam poros em seu interior e conseqüentemente os mesmos conseguem absorver humidade. Portanto conhecer sua característica higroscópica é importante já que o material incha na presença de água e posteriormente retrai durante a perda da mesma.

O bambu por ser um material poroso apresenta uma grande taxa de absorção de umidade. Segundo Ghavami e Marinho (2001 citado por TEIXEIRA, 2006 p. 52), “[...] a sua umidade natural varia entre 13 a 20%, dependendo do clima onde está inserido”.

3.6.1.2 *Densidade*

A densidade consiste em saber a relação de certa quantidade de massa em um determinado volume e com isso ela está relacionada diretamente com a resistência do material, pois quanto mais denso mais resistente.

De acordo com Pereira (2001 citado por TEIXEIRA, 2006), a densidade dos bambus varia entre 500 a 800 kg/m³, dependendo principalmente do tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras ao redor dos feixes vasculares. Estas diferenças são menores mais perto do topo, devido ao aumento da densidade na parte interna e redução da espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquimas e mais fibras.

3.6.1.3 *Resistencia a tração*

O bambu apresenta uma boa resistência à tração longitudinal as fibras e este diretamente ligada a quantidade de fibras que o colmo possui, por isso essa resistência varia de espécie para outra. De acordo com Ghavami e Marinho (2002 citado por BARROS; SOUZA, 2004, p.7) “[...] esse valor está compreendido entre 40 MPa e 215 MPa, a depender da espécie.”

Segundo Barros e Souza (2004), os nós estão situados nas áreas intermodais do colmo, onde as fibras apresentam uma descontinuidade o que acaba gerando

uma grande concentração de tensão quando essa região está sofrendo ação do carregamento com isso acaba ocasionando a ruptura da peça.

O Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo – realizou ensaios que serviram de base para a elaboração da norma brasileira de madeiras (NBR7190/1996). Essa entidade ensaiou 43 espécies de madeiras e obteve os valores da resistência à tração paralela às fibras variando de 58,1 MPa a 139,2 MPa.

De posse dessas informações, pode-se concluir que é possível substituir a madeira pelo bambu em peças submetidas à tração, bem como, em alguns casos, obter uma maior capacidade de carga. De forma semelhante, tomando-se como base o aço MR250, que possui tensão de escoamento de 250 MPa, verifica-se que há uma boa margem de valores onde os elementos tracionados também podem deixar de serem confeccionados em aço, passando a utilizar o bambu como matéria-prima. (BARROS; SOUZA, 2004, p. 7).

3.6.1.4 Resistência à compressão

Uma das utilizações do bambu no sistema construtivo e na função de pilar, portanto saber sua propriedade a compressão é importante.

De acordo com Ghavami e Marinho (2001 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 53), “[...] a resistência do bambu à compressão é 30% menor que a resistência a tração, estando entre 20 e 120 MPa, nos ensaios de compressão normal às fibras.”

Visto que o bambu pode substituir a madeira e o concreto na criação de pilares é importante não só saber sua resistência à compressão. É importante levar em consideração de que se trata de um material esbelto e assim sua característica a flambagem deve ser levada em consideração.

Através de estudos feitos em relação à resistência à compressão, em materiais como a madeira e o concreto, observa-se que o bambu pode ser utilizado como elemento estrutural em substituição a estes materiais, chegando a fornecer melhores resultados em alguns casos. Porém, é importante ressaltar que, tratando-se de peças sujeitas à compressão, não basta realizar uma análise baseada apenas no limite de resistência do material, o qual é independente do tamanho e geometria da estrutura. Nesse caso, é preciso levar em conta a esbelteza do elemento estrutural, verificando a possibilidade do mesmo falhar por flambagem. (GONÇALVES, 1994 citado por TEIXEIRA, 2006, p. 54).

3.6.1.5 Resistência ao cisalhamento

Cisalhamento é uma força que age tangencialmente a um determinado corpo e com isso tende a cortar o objeto no meio, portanto os elementos estruturais devem suportar essa tensão, evitando danos ou a ruptura do mesmo.

Segundo Barros e Souza (2004) durante os ensaios de diversas espécies, o LaMEM também analisou a resposta das madeiras quando submetidas a esforços de cisalhamento, chegando a resultados que variam de 5,6 MPa a 15,7 Mpa.

Ghavami e Marinho (2002 citado por BARROS; SOUZA, 2004) foram realizados estudos em relação à resistência ao cisalhamento longitudinal e transversal às fibras em corpos de prova de bambu, obtendo valores em torno de 8 MPa e 32 MPa, respectivamente.

Como pode ser visto o bambu apresenta uma resistência ao cisalhamento superior, podendo substituir a madeira no sistema construtivo, o que torna a construção mais leve.

3.6.2 Construções feitas em bambu

Como visto no capítulo anterior o bambu apresenta uma boa resistência a esforços físicos e mecânicos, portanto esse material pode ser usado em construções substituindo o aço e a madeira.

É importante ressaltar que o bambu está substituindo a madeira nas obras, já que o mesmo apresenta um tempo de crescimento mais acelerado e já consta com uma boa resistência logo nos seus primeiros anos de vida.

Após o período inicial de crescimento, o colmo começa o período de amadurecimento, que dura cerca de três a quatro anos para a maioria das espécies, quando então suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam.

Um das famosa construção, é o Taj Mahal, um mausoléu situado na cidade de Agra, na Índia e é considerado o monumento mais conhecido do país, e é considerado uma das construções mais importantes da humanidade. No edifício destaca-se uma forte arquitetura, tendo como um dos elementos construtivos que destacam-se, ou uso de abobadas, nas quais essas foram utilizados bambu para a sua confecção. (Figura 8).

Figura 8 - Taj Mahal



Fonte: Private... (c2015).

A Figura 9, mostra uma sala de estar situada na Indonésia, onde todos os elementos estruturais são feitos em bambu, provando sua eficiência em construções mais elaboradas, criativas, resistentes e leves.

Figura 9 - Sala de estar em bambu, na Indonésia



Fonte: Galani (2015).

3.6.3 Tratamento natural do bambu

O bambu é um material que apresenta grandes vantagens no sistema construtivo, porém deve-se levar em consideração que se trata de um material orgânico e que apresenta uma grande quantidade de seiva em seu interior, portanto está sujeito ao ataque de pragas.

O bambu não deverá ser utilizado em obras após o seu corte, pois a grande quantidade de seiva em seu interior é um atrativo para as pragas, o que pode comprometer o material e conseqüentemente perderá sua função.

Para tornar o bambu utilizável, é necessário fazer a retirada do material orgânico, ou seja, retirar toda a sua seiva, esse processo chamado de cura do bambu e conseqüentemente aumentado a sua vida útil. Para isso existem alguns processos de cura ou tratamentos naturais:

Cura na mata: Nesse tipo de tratamento corta-se o bambu e deixa-o na própria touceira por 4 a 8 semanas, de modo que nesse período possa escoar naturalmente toda a seiva. (Figura 10).

Figura 10 - Cura na mata



Fonte: Preservação...(c2015)

Cura por imersão: Esse processo consiste em deixar o bambu cortado mergulhado em água corrente por mais de 4 semanas, com isso a água penetrada irá dissolver a seiva presente no interior do bambu, (Figura 11).

Figura 11 - Cura por imersão



Fonte: Kramer (1992 citado por COSTA, 2012, p. 17)

Cura por Banho quente e frio: Neste processo de banho quente e frio, o bambu é colocado em situação imersa em tanque com água, atingindo 90°C num intervalo de 30 minutos, e depois o resfriando em outro reservatório.

Cura por aquecimento: Consiste em colocar o colmo de bambu sobre fogo aberto, rodando-o sem queimá-lo, a fim de matar qualquer inseto que se encontre em seu interior.

Segundo as pesquisas realizadas pode-se concluir que o bambu é um material bem notório para utilização no sistema construtivo, porém o foco deste trabalho é a utilização do mesmo para a criação de painéis aglomerados de bambu onde este será enquadrado no sistema de *Wood frame*, no qual será apresentado a seguir.

3.7 CONCEITO DE PAINEL

Os painéis são grandes placas formadas pela prensagem a quente da madeira, como laminas, fibras, sarrafos e partículas, que são obtidas pela redução da madeira solida e depois remontadas com forma mais homogênea, usando uma resina para a união, garantindo uma melhora na resistência desse material.

Segundo Iwakiri et al. (2005 citado por TORQUATO, 2008), a partir dos diversos elementos de madeira, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e

processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva.

Os painéis foram criados para poder suprir a falta de madeira maciça no mercado de trabalho, devido à escassez e conseqüentemente o encarecimentos da mesma, portanto surgiu a criação de um produto inovador onde pode explorar ao máximo as propriedades da madeira e anular seu efeito de anisotropia, onde permitem alterar sua resistência de acordo com a reorganização das partículas, fibras ou laminas.

3.8 ANISOTROPIA DA MADEIRA

Anisotropia é a variação das propriedades físicas e mecânicas ao longo de uma direção.

Vários são os arranjos celulares presente em uma árvore, esse fator se determina pelo seu crescimento que varia de árvore para árvore, isso acarreta em uma gama de simetrias axial. As propriedades físicas e mecânicas variam de acordo com os principais sentidos de crescimento: axial, radial e tangencial. Essa variação se denomina anisotropia.

Segundo Durlo e Marchiori (1992), asseguraram que as variações dimensionais e a anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades e exigindo, por isso, técnicas específicas de processamento e utilização.

Durlo e Marchiori (1992), o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente ou fator anisotrópico, definido pela relação entre as contrações tangencial e radial (T/R).

Esse efeito anisotrópico influencia diretamente na resistência da madeira, porém esse efeito não se encontra nos painéis, já que os mesmos apresentam uma homogeneidade em sua construção, tornando-os mais resistentes e com dimensões maiores do que as encontradas em madeiras maciças.

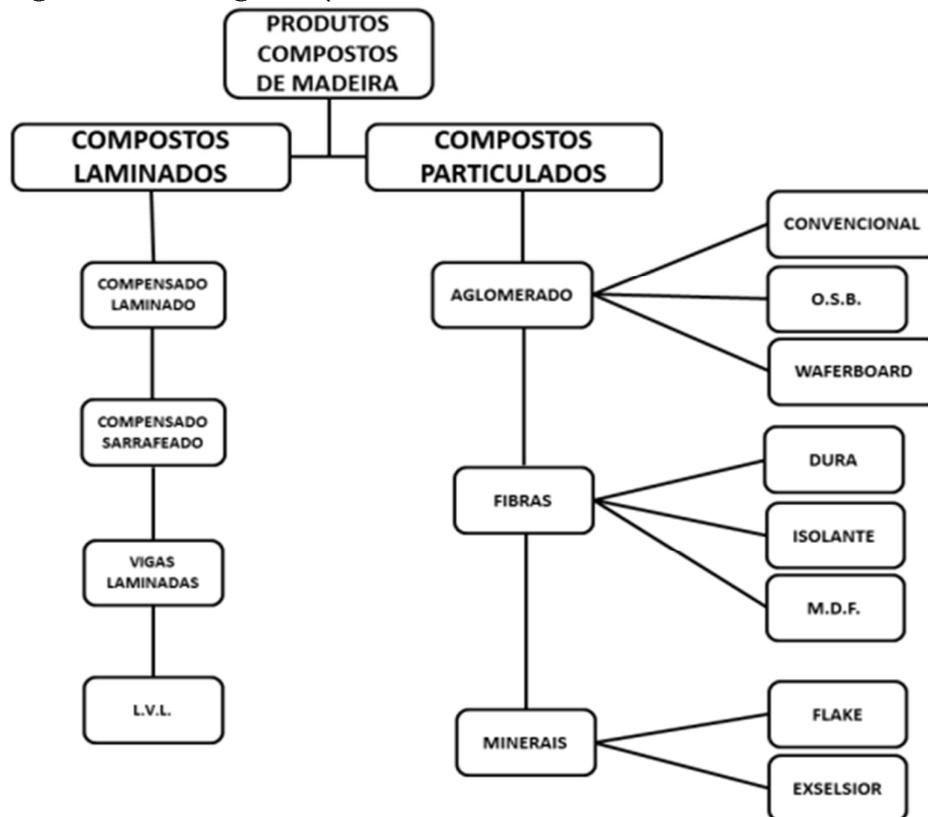
3.9 TIPOS DE PAINÉIS DE MADEIRAS

Com o avanço dos estudos e da tecnologia, começaram a criar novos tipos de painéis, cada qual com características e meio de produção diferenciados. Basicamente há dois grandes grupos que classificam os painéis, são eles: compostos laminados (painéis de madeira processado mecanicamente) e particulados (painéis de madeira reconstituída).

O que difere esses dois grandes grupos é o modo de confecção dos painéis, enquanto no laminado usa-se a prensagem de lamina de madeira e no particulado há a prensagem de partículas de madeira.

Esses grupos apresentam diferentes tipos de painéis, cada uma com sua própria característica, conforme podemos ver no fluxograma a seguir (Figura 12):

Figura 12 - Fluxograma painéis



Fonte: Grubert (2014, p. 19).

Painéis de compostos particulados ou de madeira reconstituída tem como a característica principal a utilização de fibras, partículas ou lascas para a sua

confecção, e são aglutinada geralmente por uma resina de ureiaformoldeido. Os principais painéis são: Aglomerado/MDP, MDF, OSB, chapa de fibra:

- a) **aglomerado/MDP:** chapa MDP (medium density particleboard) formado por partículas de madeira de média densidade, oriunda de reflorestamento, como eucalipto e pinus, e depois prensado a quente usando uma resina;
- b) **MDF:** MDF (medium density berboard) é uma chapa parecida com a MDP, porém o seu diferencial está no tamanho das fibras, onde apresenta um maior grau de desagregação e com isso utiliza fibras com um tamanho menor em relação as do MDP. A madeira utilizada para a sua confecção são pinus e eucaliptos;
- c) **OSB:** OSB (oriented strand board) é formado por tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente em diversas camadas, unidas por resinas e sob a ação de alta pressão e temperatura;
- d) **chapa de fibra:** também conhecida como chapa dura (hardboard), a chapa de fibra é uma chapa de espessura fina, que resulta da prensagem a quente de fibras de madeira por meio de um processo úmido, que reativa os aglutinantes naturais da própria madeira (sem a adição de resinas) e confere ao produto alta densidade. No Brasil, utiliza-se como matéria-prima a madeira de eucalipto de florestas plantadas. (MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B., 2008).

Painel do tipo compensado ou de madeira processada mecanicamente apresenta em sua composição laminas de madeira, colada uma em cima da outra utilizando resina fenólica ou de ureiaformoldeido. Os principais painéis dessa família são: Multilaminado, sarrafeados ou Blockboard, Three-ply ou compensado de madeira maciça e EGP:

- a) **multilaminado:** lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas coladas transversalmente;
- b) **sarrafeado ou blockboard:** tem o miolo composto de sarrafos e as capas com lâminas de madeira;
- c) **compensado de madeira maciça:** constituído de três camadas cruzadas de sarrafos colados lateralmente;

- d) **EGP (*Edge Glued Panel*)**: caracterizado como um conjunto de peças de madeira coladas lateralmente, formando um painel. Os sarrafos podem apresentar união de topo, que pode ser reta ou do tipo finger-joint. A maior parte da produção nacional é feita em madeira de pínus, embora sejam encontrados painéis colados lateralmente fabricados em madeira de folhosas tropicais e em madeira de eucaliptos (MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B., 2008).

3.10 UTILIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA

A utilização dos painéis de madeira utilizadas no mercado estão explicadas nos tópicos abaixo.

3.10.1 Formas

As formas são de grande utilidade em uma obra, pois é com elas quem auxiliam na criação dos elementos estruturais, como vigas e pilares, portanto eles precisam ser bem resistentes. O painel OSB é o mais utilizado para esse fim, e ainda podem ser usados como tapumes.

As fôrmas são caixas de madeira executadas em obras de construção civil, que servem para dar formato às estruturas de concreto garantindo o seu perfeito alinhamento e mantendo a geometria dos vários elementos de estrutura da obra, sejam estes os pilares, lajes, vigas etc., conforme visto na Figura 13.

Figura 13 - Formas construção civil



Fonte: Formas... (2010).

3.10.2 Criação de móveis

Mobiliário é o conjunto de móveis, objetos e equipamentos que suportam o corpo humano (como assentos e camas), servem para estocar objetos ou como apoio para objetos em superfícies horizontais. Tem a finalidade de fornecer a seus habitantes e usuários utilidades específicas que lhes facilitam as atividades cotidianas, como comer, dormir, descansar, ler, entre outras.

O MDF também é mais utilizado na fabricação de móveis (Figura 14), mas, por permitir usinagem, presta-se a usos que o aglomerado/MDP não admite, como a confecção de portas usinadas, pés torneados de mesas, caixas de som, fundos de gaveta e de armários. (MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B 2008).

Figura 14 - Painéis indústria moveleira



Fonte: HR Office ([2015?]).

3.10.3 Tapumes em obras

O canteiro de obras é um local de trabalho e, como tal, deve estar protegido da invasão de estranhos. Nele são estocados materiais e ferramentas, além de ficarem estacionadas diversas máquinas que serão utilizadas na execução da obra, portanto fazer a sua proteção é deveras importante.

No entorno do canteiro de obras, cria-se um tapume onde utiliza-se placas de OSB ou compensado resinado, ver Figura 15. A norma regente para tapumes de madeira é a NR 18.

Figura 15 - Tapume compensado resinado



Fonte: Global Wood (c2015).

3.11 WOOD LIGHT FRAME

De acordo com Powell, Tilotta e Martinson (2008) uma casa ideal deve ser confortável, segura, resistente a desastres, durável, eficiente e, sobretudo, sustentável. No entanto, embora nas últimas décadas tenham sido alcançados grandes avanços tecnológicos no que se refere ao conforto, desempenho e novos materiais dos sistemas de moradias, ainda no Brasil, se utiliza o mesmo sistema construtivo do descobrimento do país.

Nos últimos dez anos as casas pré-fabricadas ganharam novos materiais e novas tecnologias, principalmente devido às experiências no setor de habitação popular.

O wood frame para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo. Nos EUA a tecnologia wood frame é utilizada em 95% das casas construídas. (Molina e Calil Junior, 2010).

De acordo com Molina e Calil Junior (2010), o sistema wood frame permite a construção de casas de até cinco pavimentos com total controle dos gastos já na fase de projeto devido à possibilidade de industrialização do sistema. A madeira é utilizada, neste caso, principalmente como estrutura interna de paredes e pisos, proporcionando uma estrutura leve e de rápida execução, pois os sistemas e subsistemas são industrializados e montados por equipes especializadas, em momentos definidos da obra, e de forma independente. (Figura 16).

Figura 16 - Wood Light Frame



Fonte: U.S. Home... (2013).

Em países da América do Norte, Ásia e Europa, como Canadá, EUA, Japão e Alemanha, sistemas de casas em *wood frame*, de excelente qualidade, são amplamente adotados. A tecnologia desenvolvida pelos alemães, por exemplo, consiste na industrialização dos painéis de parede, de piso e cobertura, com alto controle de qualidade e possibilita a construção de casas com mais de 200 m² em apenas 60 dias, sendo necessário apenas um único dia para montagem da casa. Na América do Sul, países como o Chile e Venezuela investem com sucesso na indústria de casas populares com 40 a 65 m², e que também utilizam painéis *wood frame*, além de treliças de telhado pré-fabricadas. (Molina e Calil Junior, 2010).

3.11.1 Wood frame no Brasil

Embora a madeira esteja entre os materiais de construção mais antigos e atuais em todo o mundo, a utilização desse material como elemento estrutural no Brasil ainda é cercada de muito desconhecimento e atrelada a ideias errôneas como a de que se construir com madeira implica necessariamente no desmatamento de áreas verdes preservadas.

A cultura brasileira não permite enxergar a madeira como um novo sistema de construção, já que existem muitos preconceitos em relação a este material, com isso o sistema de construção brasileiro fica parado no tempo, e por fim retardando o desenvolvimento do país. Portanto no Brasil esse sistema está sendo pouco utilizado, tendo uma produção anual muito baixa.

No Brasil, existem algumas empresas brasileiras, instaladas no sul do país interessadas na construção de casas de madeira com implantação definitiva do sistema *wood frame*. Essas empresas buscam, a partir do trabalho em conjunto com instituições de ensino e associações, a obtenção de financiamentos imobiliários junto à Caixa Econômica Federal, já em 2010, para implantação desse sistema no país.

No Brasil ainda não existem uma norma referente a esse sistema de construção, portanto as confecções dos painéis são realizados por normas estrangeiras, como a *WFCM 2001* e também pelas normas européias *DIN 1052 (1998)* e *EUROCODE 5 Parte 2 (1997)*.

3.11.2 Importância da madeira no sistema wood frame

A madeira apresenta inúmeras vantagens no sistema wood frame de construção, pois a matéria prima é oriunda de zonas de manejo de florestas e de plantio, onde apresenta um uso extremamente racionalizado, evitando danos ao meio ambiente.

Outro ponto importante da madeira, é que em sua fase de crescimento, acaba ajudando a manter uma atmosfera mais livre de poluentes como o carbono e apresenta uma baixa demanda energética para a sua produção.

Apresenta ainda fácil trabalhabilidade, excelente desempenho térmico (absorve 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolos) e acústico, além de elevada relação resistência/peso, com isso pode-se economizar em algumas etapas da construção, como por exemplo, na fundação.

3.11.3 Etapas do sistema construtivo woodf rame

Fundação: deve ser escolhida em função das cargas de projeto e do tipo de solo existente. Em alguns países que possuem inverno rigoroso, a fundação das casas em *wood frame* é composta por estruturas subterrâneas de paredes, tecnicamente chamadas de "*basement wall*", que formam compartimentos abaixo do nível do solo (com pelo menos 60 cm ou 2 pés), e estes servem para aumentar a temperatura das casas.

O basement *wall* sustenta cargas de piso, paredes, telhados e outras cargas da construção, e pode ser construído tanto em madeira como também em concreto, sendo o concreto mais utilizado.

Pisos: nos pavimentos superiores das casas em wood frame são utilizados decks constituídos por chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) apoiadas sobre vigas de madeira geralmente com seções retangulares ou I (com mesas formadas por madeira maciça ou LVL (*Laminated Veneer Lumber*) e alma de OSB ou compensado).

Paredes: são compostas por montantes verticais de madeira, dispostos em consonância com painéis de OSB. As ligações entre os elementos estruturais no painel são efetuadas pela utilização de pregos, sendo que estes elementos metálicos de fixação devem necessariamente ser galvanizados, uma vez que deverão ter longa vida de serviço.

Telhado: sobre as paredes do último piso da edificação são, geralmente, posicionadas treliças industrializadas de madeira com conectores do tipo chapas de dentes estampados.

3.12 PAINÉIS AGLOMERADOS

Segundo Iwakiri et al. (2005 citado por PEREIRA, 2014) esse tipo de painel surgiu no início da década de 1940 na Alemanha, como forma de viabilizar a utilização de resíduos madeireiros, frente à escassez de madeira de qualidade durante a Segunda Guerra Mundial.

Nessa época um grande confronto ocorria sobre as principais potências mundiais, isso fez com que todo o desenvolvimento desses países ficasse voltado exclusivamente para a guerra. Em meio a esse período um setor que se desenvolveu foi à construção, pois havia uma falta de materiais construtivos tradicionais, portanto novas tecnologias tiveram que ser criadas e testadas.

Os dois principais materiais de construção estavam sendo voltado diretamente para a guerra, o concreto era usado para criar barricadas onde protegiam os soldados e impediam o avanço do inimigo, e o aço era destinado à criação de armas de guerra. Portanto o setor da construção estava sofrendo uma deficiência em seu

crescimento e para solucionar esse problema, foram obrigados a criarem uma alternativa, com novo sistema de construção.

A madeira foi uma solução adotada para substituir o aço e o concreto, porém devido a guerra, a madeira de boa qualidade estavam escassa, portanto uma alternativa foi desenvolvida utilizando restos de madeiras, surgiam os primeiros painéis aglomerados que revolucionou o sistema construtivo, onde permitiam uma agilidade na construção e redução do custo.

No Brasil a produção teve início no ano de 1966 na cidade de Curitiba – PR, porém em decorrência da utilização em locais inadequados o produto foi alvo de grandes questionamentos sobre a sua qualidade, visando mudar a imagem do produto frente ao mercado consumidor as indústrias do setor então criaram a denominação MDP. (BELINI, 2012 citado em PEREIRA, 2014).

3.12.1 Painéis aglomerados produção

Os painéis de madeira aglomerada ou painéis do tipo “aglomerado” são painéis produzidos com pequenas partículas de madeira, incorporadas através de adesivos sintéticos, reconstituídas numa matriz randômica e consolidadas através da aplicação de calor e pressão em uma prensa quente. Devido a seus fatores de produção esse tipo de painel de madeira apresenta algumas vantagens em relação a madeira serrada e chapas de compensado, entre as quais se destacam: o menor custo de produção, eliminação de efeitos de anisotropia da madeira, possibilidade de adequação das propriedades físico-mecânicas da chapa através do controle das variáveis do processo, entre outras. (IWAKIRI et al., 2005 citado por PEREIRA, 2014).

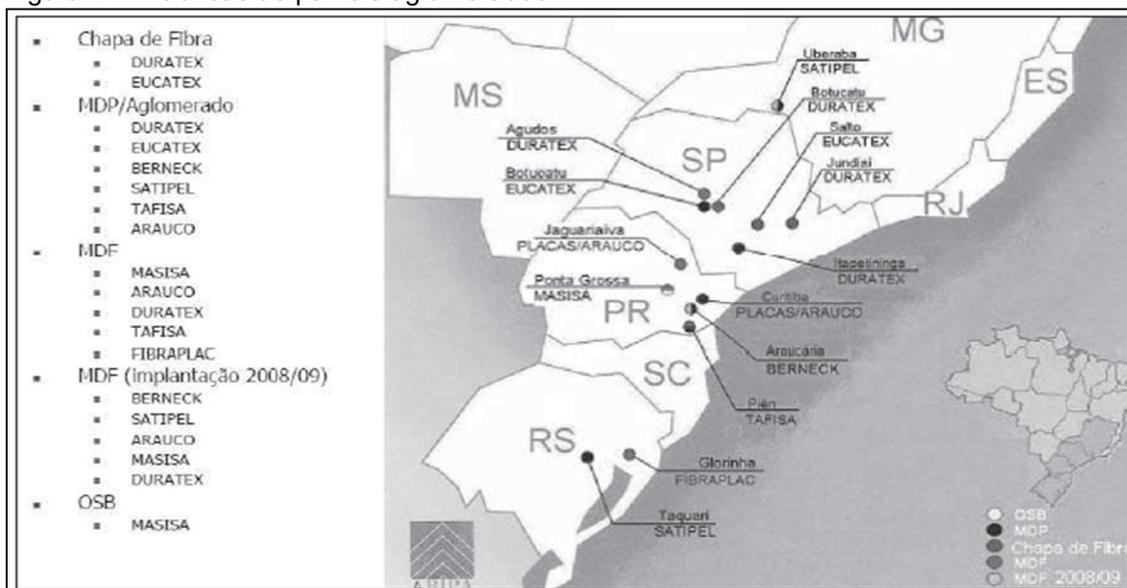
As chapas aglomeradas apresentam uma vantagem em relação a madeira serrada, cujas peças tem uma dimensão maior em relação a madeira serrada.

3.12.2 Produtores de painéis aglomerados

As maiores produtoras de painéis no Brasil se encontram concentradas na região sul e sudeste.

O Brasil é destaque mundial na fabricação de painéis de madeira reconstituída a partir de árvores plantadas. Este fato se deve aos contínuos investimentos em tecnologia e automação das empresas e processos produtivos, além das melhores práticas e operações florestais. O país reúne número significativo de empresas de última geração que construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura. (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2015). (Figura 17).

Figura 17 - Fabricas de painéis aglomerados



Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (citado por MATTOS et al. 2008 p. 19)

Atualmente os painéis aglomerados são fabricando tendo a madeira como a principal matéria prima e devido a isso está ocorrendo a falta de madeira no mercado.

Uma solução é a criação de um material alternativo, neste caso a confecção de painéis utilizando o bambu como novo material, tendo em vista que o mesmo dependendo dos resultados obtidos em testes, poderá substituir os painéis convencionais utilizados no mercado de trabalho, seja ele na produção moveleira ou sistema construtivos.

4 METODOLOGIA

A seguir serão apresentados os materiais utilizados para a confecção dos painéis aglomerados de bambu.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na confecção das placas foram: o bambu como matéria prima e a resina proveniente do óleo de mamona.

4.1.1 Bambu

O bambu foi retirado da natureza em uma propriedade rural situada no município de Itaju-SP.

O bambu utilizado cresceu naturalmente, portanto suas propriedades eram desconhecidas, com isso foi feita uma seleção com os colmos que apresentavam melhores aspectos visuais.

Os colmos foram cortados acima do primeiro nó onde há mais resistência e evitou-se a formação de uma cavidade na qual pode ocorrer o acúmulo de água e com isso causar o apodrecimento da raiz, prejudicando a touceira, com isso permite-se que o bambu possa germinar e crescer novamente no local cortado.

O corte do bambu foi feito manualmente e utilizou-se o facão como ferramenta de corte, ver Figura 18.

Figura 18 - Corte do Bambu na natureza



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por ser um material recolhido na própria natureza não pode ser reconhecido suas características, portanto o bambu foi levado até a Universidade do Sagrado coração – USC, situada na cidade de Bauru - SP, onde foi realizado um teste para determinar a espécie e chegou-se a seguinte determinação (Figura 19):

Figura 19 - Classificação Taxonômica do bambu colhido

| |
|--|
| Reino: Vegetal |
| Divisão: Magnoliophyta (Angiospermae) |
| Classe: Liliopsda (Monocotiledônea) |
| Ordem: Poales |
| Família: Poaceae (Gramineae) |
| Gênero: Bambusa |
| Espécie: <i>Bambusa sp.</i> |

Fonte: Coral (2015).

4.1.2 Resina de óleo de mamona

Utilizou-se uma resina poliuretana a base de mamona para a adesão dos grão de bambu e a mesma apresenta-se na forma bicomponente constando de um polioliol e um pré- polímero, (Figura 20):

Figura 20 - Pré-polímero (1) e polioliol (2).



Fonte: Elaborada pelo autor.

O polioliol foi sintetizado a partir do óleo de mamona obtendo-se um poliéster trifuncional com índice de hidroxila de 330mgKOH/g. O pré-polímero foi sintetizado a partir do difenilmetano diisocianato (MDI) e pré-polymerizado com um polioliol também derivado do óleo de mamona, permanecendo com um percentual de isocianato livre para posterior reação. A densidade aproximada do pré-polímero e do polioliol foi de 1,17 e 0,98 g/cm³, respectivamente. (SILVA, 2003, p. 63).

Os dois componentes foram misturados na proporção 1:1, tendo o auxílio de uma balança de precisão.

4.2 MÉTODO

A seguir serão apresentados detalhadamente os métodos utilizados para a confecção dos painéis.

4.2.1 Moagem bambu

Após o corte do bambu, o mesmo foi cortado em taquaras de 60 cm para poder facilitar a sua moagem (Figura 21):

Figura 21 - Taquaras de bambu



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após realizar todo esse corte, o material foi levado para o laboratório de madeira da UNESP localizado na cidade de Bauru – SP, onde com o auxílio de um triturador de resíduos – Lippel, o bambu foi moído resultando em um pó (Figura 22).

Figura 22 - Moagem bambu



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Peneiramento

Após a trituração o resultado obtido foi um pó de bambu com partículas variadas em sua composição, porém esse material bruto não deve ser utilizado para o confecção devido a uma grande variação na granulometria das partículas o que causaria um efeito negativo nas características do painel.

Para um melhor desempenho de qualidade da placa, optou-se por uma seleção das partículas para o composição do painel deixando a placa mais homogênea, melhorando assim suas propriedades.

O Material bruto passou primeiramente pela peneira de 4 mm, onde todo material retido nessa foi descartado, com isso as partículas mais brutas foram eliminadas, porém ainda esse material que passou ainda não pode ser utilizado devido a presença de partículas muito finas. Todo peneiramento foi feito manualmente (Figura 23):

Figura 23 - Peneiramento



Fonte: Elaborada pelo autor.

A presença do material fino prejudica a montagem da placa devido ao mesmo tomar espaço que seria preenchido pela resina, com isso o material não teria uma boa adesão, portanto esse material fino precisou ser retirado.

O material que passou na peneira de 4mm, foi novamente peneirado na de 2 mm, com isso o material retido foi utilizado para o confecção das placas e o material de granulometria fina que passou foi descartado.

Após essa separação das partículas, pode concluir que a granulometria do material usado para a fabricação da aplaca está na entre 4 e 2 mm

Para a fabricação de 7 placas, foi retido 16,5Kg de material na peneira de 2mm e em seguida foi distribuído em bandejas as quais foram levadas até uma estufa.

4.2.3 Secagem em estufa

Não existe uma norma referente sobre painéis de bambu, então o presente trabalho foi baseado em cima da norma de madeira aglomerada NBR 14810-1/2002.

O Bambu já moído e peneirado com umidade natural foi acondicionado em bandejas e levado até uma estufa para secar onde ficou por 24h a uma temperatura constante de 95°C, conforme visto na Figura 24.

Figura 24 - Secagem em estufa, com recipientes de volumes variados



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo a NBR 14810-1 a temperatura de secagem do material deverá ser feita a $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$, como o bambu apresenta características diferentes da madeira o laboratório opta por fazer a secagem a uma temperatura menor, para evitar danos ao material, portanto o pó de bambu foi seco a uma temperatura de 95°C.

Secar o material é uma etapa importante, pois com isso diminuímos a quantidade de água presente nas partículas do bambu, conseqüentemente está aumentando o número de vazios a ser preenchido pela resina tendo um melhor aproveitamento e, portanto melhorando a resistência da placa.

4.2.4 Confeção das placas

Para poder realizar a montagem da placa, primeiro teve que ser analisado alguns parâmetros, como a densidade estimada, a quantia de bambu moído e a quantidade de resina utilizada para aglutinação das partículas.

O cálculo da quantia de materiais foi feito em relação a dois parâmetros previamente estabelecidos, a densidade e o volume.

Nas pesquisas realizadas sobre confecção de painéis, chegou-se à conclusão de que os mesmos se dividem em 3 classes de densidade:

- a) baixa densidade: até 590 Kg/m³;
- b) média densidade: de 600 a 700 Kg/m³;
- c) alta densidade: acima de 800 Kg/m³.

Optou-se por trabalhar com uma densidade média de 700 Kg/m³

Para a determinação do volume da placa, foi tomada como base a forma utilizada pelo laboratório (figura 24), cujas dimensões são:

- a) largura: 0,32 m;
- b) comprimento: 0,38 m;
- c) espessura: 0,0127 m.

Figura 25 - Forma do laboratório



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conhecido a densidade e o volume, pode chegar à conclusão da quantidade de bambu a ser utilizada para o confecção das placas.

$$D = \frac{M}{V} \longrightarrow 700 \text{ Kg/m}^3 = \frac{M}{0,00154432 \text{ m}^3} \longrightarrow M = 1,081 \text{ Kg} \quad (1)$$

Onde:

D = densidade (Kg/m³);

M = massa (Kg);

V = volume (m³)

Portanto para cada placa foi utilizado 1,081 Kg de bambu.

Para a confecção das placas utilizou-se 15% de adesivo poliuretano à base de óleo de mamona:

Quantidade de resina: 15% de 1,081 Kg = 0,163 Kg para cada placa.

Após a determinação da quantidade de resina e de bambu, deu início ao processo de fabricação das placas, onde misturou-se manualmente os dois ingredientes até o adesivo impregnar em todas as partículas de bambu, deixando uma massa uniforme (Figura 26).

Figura 26 - Mistura Bambu com resina



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a mistura, essa massa foi levada e despejada dentro de uma forma onde os grãos foram sendo adensados com a ajuda de um martelo de madeira e depois sofreu uma pré prensagem. Essa etapa é deveras importante para uniformizar as partículas e não deixar formação de espaços vazios no interior das placas (Figura 27).

Figura 27 - Pré-prensagem bambu



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na etapa seguinte a placa pré-moldada foi levada até uma prensa hidráulica cuja capacidade máxima é de 80 toneladas onde sofreu uma compressão a quente cuja temperatura foi definida em 120 °C durante um período de 10 min (Figura 28).

Figura 28 - Prensagem das placas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Obs. 1: a temperatura de prensagem varia de acordo com a resina utilizada. Segundo o professor Ivaldo, chefe do departamento de engenharia mecânica da UNESP de Bauru, o adesivo de óleo de mamona utiliza-se uma temperatura de 100°C para a prensagem, porém no presente trabalho foi testado a 120°C.

Obs. 2: para a realização da prensagem as placas foram colocadas entre duas chapas de aço com tamanho 0,6 m x 0,6 m e foi utilizado alumínio ou papel celofane para que a placa não grudasse nas chapas.

Foram confeccionadas sete placas ao todo, no qual cinco foram destinadas a ensaios, conforme pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 - Placas prontas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a confecção das placas a mesma precisa ser descansada por 3 dias, onde após esse período a resina está completamente seca e com isso acaba atingido sua resistência máxima.

Para a retiradas do alumínio e do papel celofane as placas foram lixadas e em seguida cortadas os corpos de prova, dando início aos estudos dos ensaios normativos.

4.3 ENSAIOS

Para poder avaliar a qualidade do painel, foram realizados testes normativos para as placas de aglomerados de bambu, com isso verificando sua viabilidade como novo material tecnológico.

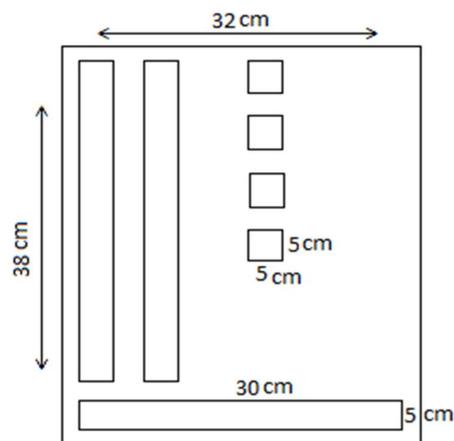
Ensaio realizados nas placas:

- a) **flexão estática:** onde pode obter os resultados do MOE (módulo de elasticidade) e MOR (módulo de ruptura);
- b) **tração perpendicular:** com esse ensaio verificou-se o poder de colagem da resina;
- c) **absorção de água:** onde pode definir se o material apresenta uma quantidade alta ou baixa de vazios em seu interior;
- d) **inchamento:** analisou-se o grau de deformação das placas na presença de água;
- e) **densidade:** verificou-se a densidade das placas. Lembrando que o valor obtido nesse teste deve coincidir ou aproximar do valor de densidade pré-definido na confecção da placa, neste caso foi de 700 Kg/m³.

Todos os ensaios serão a seguir descritos abaixo com mais detalhes.

4.3.1 Retirada dos corpos de provas

Figura 30 - Corpos de prova



Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram retirados de cada placa 3 corpos destinados a flexão cuja dimensões são 0,3 m x 0,05 m para ensaio de flexão, conforme as exigências da norma NBR 14810-3 e 4 corpos de provas 0,05 m x 0,05 m destinados aos demais testes.

Com essa quantidade de CP's (corpos de provas) foi possível realizar todos os ensaios determinados para este trabalho.

4.3.2 Ensaio de flexão

O ensaio para definição do módulo de ruptura e elasticidade foi realizado baseado na norma de painéis de madeira aglomerada NBR 14810 e esta norma diz que os corpos de prova devem ter suas dimensões 0,05 m x 0,30 m para a realização do ensaio.

Devem-se tirar duas medidas para a realização desse teste, o seu comprimento e a sua espessura medida no meio do vão. Esse corpo de prova é colocado em dois apoios com distancia neste caso de 0,025 m, em seguida atua-se uma carga nominal, no presente trabalho foi utilizado uma celular de carga de 2000 kgf.

Para o cálculo do módulo de ruptura (MOR), utilizou-se do mesmo teste de flexão usado para o cálculo do MOE porém, para este ensaio, é considerada a carga máxima. O módulo de ruptura foi calculado a partir da equação 2 a seguir.

(2)

$$MOR = \frac{3 * F_{max} * l_1}{2 * b * t^2}$$

Onde:

MOR: módulo de ruptura (Pa);

l1: distância entre os suportes (m);

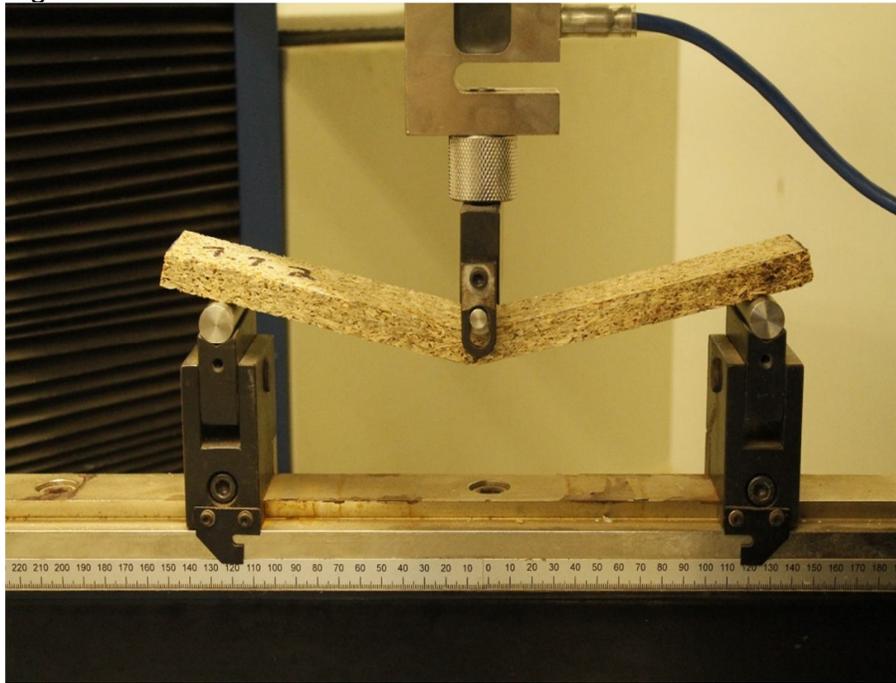
b: largura do corpo-de-prova (m);

t: espessura do corpo-de-prova (m);

Fmax: carga na ruptura (N).

A Figura 31 mostra a realização do teste de flexão na máquina universal.

Figura 31 - Ensaio de flexão: MOR e MOE



Fonte: Elaborada pelo autor.

O módulo de elasticidade (MOE) foi calculado, utilizando-se a região linear da curva de leituras de carga X deformação, através da equação 3 a seguir.

(3)

$$MOE = \frac{I_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * t^3 * (a_2 - a_1)}$$

Onde:

MOE: módulo de elasticidade (Pa)

a1 e a2: deflexão na metade do vão (m);

I1: distância entre os suportes (m);

b: largura do corpo de prova (m);

t: espessura do corpo de prova (m);

F2-F1: incremento de carga (f2 ± 40% da carga máxima) (N).

4.3.3 Ensaio para determinação da adesão interna

O ensaio de adesão interna ou de tração perpendicular ao plano do painel foi realizado segundo a norma NBR 14810, que prescreve o uso de corpos de prova quadrados, com 50 ± 1 mm de aresta.

Esses corpos de prova são colado em peças de aço usando um adesivo e depois de seco é levado até a máquina onde será realizado o teste. A formula 4, para cálculo está representa a seguir.

(4)

$$AI = \frac{F_{\max}}{a * b}$$

Onde:

AI: adesão interna (Pa);

Fmax: carga máxima (N);

a: comprimento do corpo de prova (m);

b: largura do corpo de prova (m).

A figura 32 mostra a realização do teste de tração perpendicular

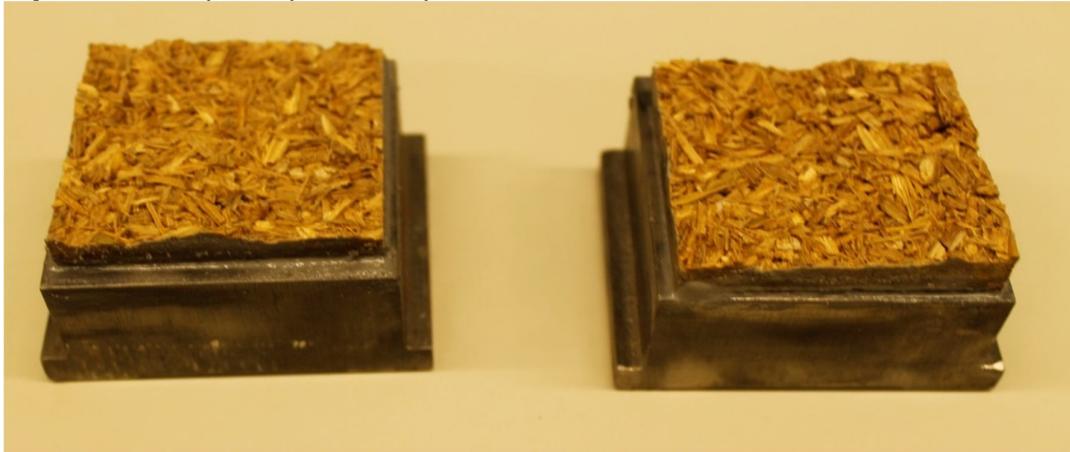
Figura 32 - Ensaio de tração perpendicular



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 33 mostra o corpo de prova rompido no final do teste.

Figura 33 - Corpo de prova rompido



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.4 Ensaio de inchamento em espessura e absorção de água

Os ensaios de inchamento em espessura e absorção de água após imersão em água destilada por $24 \text{ h} \pm 3 \text{ min}$, foram realizados conforme a norma NBR 14810.

Para a realização do teste de inchamento foram utilizados corpos de provas de $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, onde primeiro se faz a medidas da espessura do CP no meio do vão, em seguida mergulha os corpos de prova cuja temperatura da água seja ambiente, no caso deste trabalho a água estava a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ver imagem 33, após um período de 24h se faz a medição da nova espessura e assim determinar a porcentagem de absorção através da formula 5 a seguir.

(5)

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100$$

Onde:

G: inchamento (%);

t₁: espessura inicial (mm);

t₂: espessura final (mm).

Figura 34 - Corpos de provas mergulhado em um tanque.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o ensaio de absorção de água, foi medida a massa dos mesmos corpos de prova, antes e após imersão em água e calculada segundo a formula 6 a seguir:

(6)

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

Onde:

A_m : absorção (%);

m_1 : massa inicial (g);

m_2 : massa final (g).

4.3.5 Ensaio para determinação da densidade

O ensaio de densidade foi realizado segundo a norma EM 323-1993, que prescreve o uso de corpos-de prova quadrados, com 50 ± 1 mm de aresta.

Para a realização desse teste os corpos de prova foram colocados em uma estufa cuja temperatura constante de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ por u tempo de 24h, onde pode igualar as massas dos CP.

Após a retirada da estufa, os CP foram pesados usando uma balança de precisão e com a ajuda de um paquímetro retirou-se as medidas ortogonais e em seguida mediu-se a sua espessura. A formula7, para o cálculo da densidade pode ser descrita a seguir:

(7)

$$\rho = \frac{m}{b_1 * b_2 * t} * 10^6$$

Onde:

ρ = densidade (kg/m³);

m = massa (g);

b1 e b2= medidas ortogonais dos lados (mm);

t = espessura (mm).

5 RESULTADOS DOS ENSAIOS

A seguir serão apresentados os resultados de cada teste realizados.

5.1 INCHAMENTO E ABSORÇÃO DE ÁGUA

A porcentagem de inchamento pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 5 - Ensaio de Inchamento

| ENSAIO INCHAMENTO | | | | | |
|--------------------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------------------|---------------|
| Placa | CP | Ti (mm) | Tf (mm) | ΔT (mm) | Gt (%) |
| 1 | 1.3.1 | 13,5 | 14 | 0,5 | 3,70 |
| 2 | 2.3.1 | 13,5 | 14 | 0,5 | 3,70 |
| 3 | 3.3.1 | 13,5 | 14 | 0,5 | 3,70 |
| 4 | 4.3.1 | 13,5 | 14 | 0,5 | 3,70 |
| 5 | 5.3.1 | 13,5 | 14 | 0,5 | 3,70 |

NORMA: NBR 14810-3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda:

CP: corpo de prova;

Ti: espessura inicial, antes de mergulhar em água;

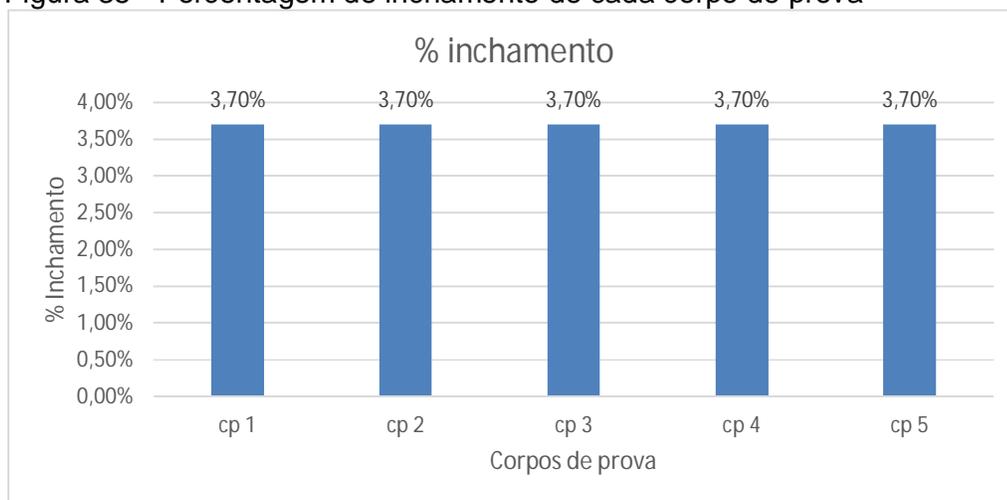
Tf: espessura final após 24h mergulhada;

ΔT : variação de espessura;

Gt: porcentagem de inchamento.

A Figura 35 a seguir mostra a porcentagem de inchamento de cada corpo de prova.

Figura 35 - Porcentagem de inchamento de cada corpo de prova



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se que as placas de bambu apresentaram uma baixa deformação ao ser mergulhada em água, portanto conclui-se que os grãos de bambu apresentam uma boa adesão em prol da resina utilizada.

Os resultados da porcentagem de inchamento podem ser visto na Tabela 7.

Tabela 6 - Absorção de água

| Placa | CP | ABSORÇÃO | | | |
|-------|-------|----------|--------|----------------|--------|
| | | Mi (g) | Mf (g) | Δg (g) | Gm (%) |
| 1 | 1.3.1 | 25,81 | 33,7 | 7,89 | 30,57 |
| 2 | 2.3.1 | 26,51 | 33,59 | 7,08 | 26,71 |
| 3 | 3.3.1 | 26,18 | 33,91 | 7,73 | 29,53 |
| 4 | 4.3.1 | 25,65 | 33,31 | 7,66 | 29,86 |
| 5 | 5.3.1 | 25,86 | 32,55 | 6,69 | 25,87 |

NORMA: NBR 14810-3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda:

CP: corpo de prova

Mi: massa inicial (g);

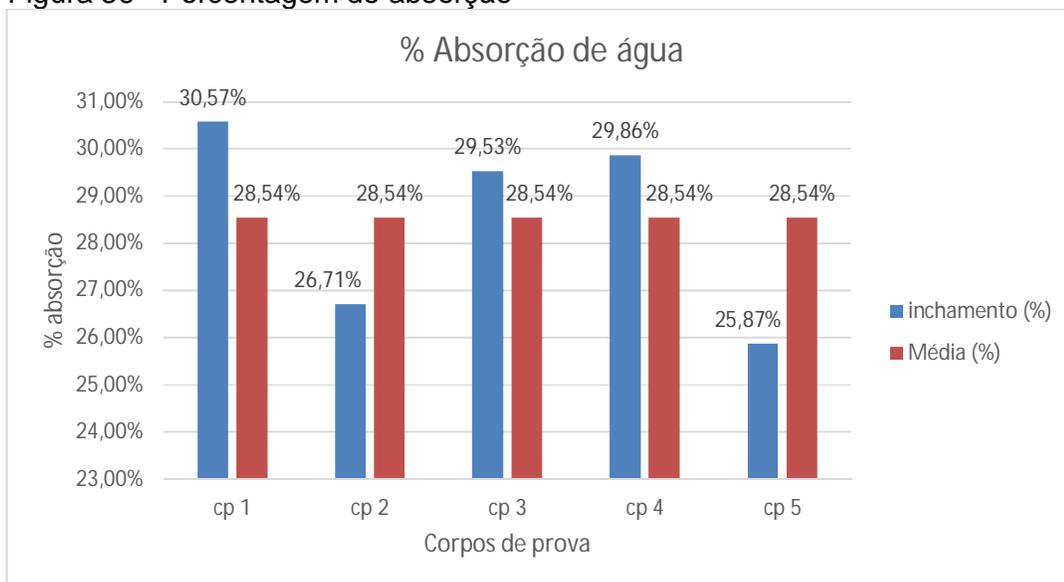
Mf: massa final (g);

Δg : variação de massa (g);

Gm: porcentagem de absorção.

A Figura 36 a seguir mostra a porcentagem de absorção de cada CP e faz uma comparação com a média obtida.

Figura 36 - Porcentagem de absorção



Fonte: Elaborada pelo autor.

As placas apresentaram um índice baixo de absorção de água, sendo a média de absorção de 28,54 %. Com isso concluímos que as mesmas apresentam um índice de vazios inferior.

Entres os corpos de prova nota-se uma variação de até 5% na taxa de absorção, isso devido ao processo de fabricação ter sido feito manualmente, o que não pode ser obtido um controle de alta eficiência nas fabricações das placas, porém essa discrepância não interfere nos resultados.

5.2 DENSIDADE

Tabela 7 - Resultado da densidade

| Placa | CP | DENSIDADE | | | | |
|-------|-------|-----------|---------|---------|--------|-----------------------------|
| | | m (g) | b1 (mm) | b2 (mm) | t (mm) | ρ (Kg/m ³) |
| 1 | 1.4.1 | 26,45 | 52 | 51 | 13,5 | 738 |
| 2 | 2.4.1 | 26,18 | 52 | 52,1 | 13,1 | 737 |
| 3 | 3.4.1 | 25,74 | 50 | 52,1 | 13,1 | 754 |
| 4 | 4.4.1 | 25,75 | 50,5 | 52,1 | 13,1 | 747 |
| 5 | 5.4.1 | 25,3 | 50,5 | 52,1 | 13 | 739 |

NORMA: NBR 14810

Fonte: Elaborada pelo autor.

Onde:

CP: corpo de prova;

m: massa (g);

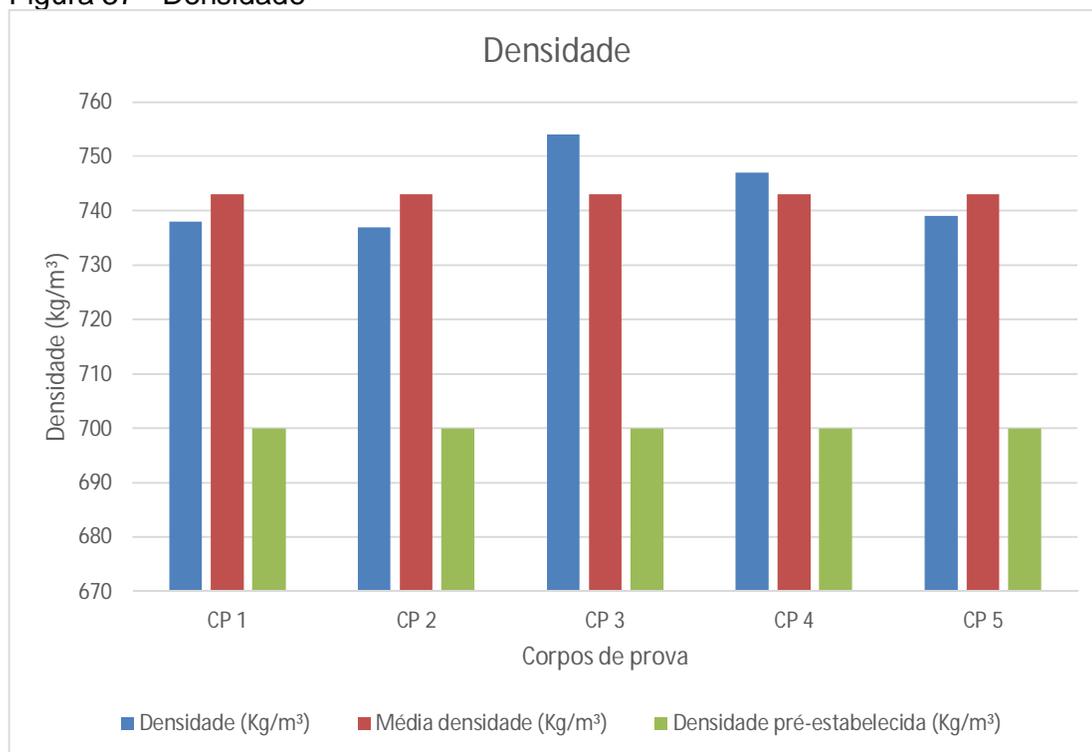
b1 e b2: medidas ortogonais (mm);

t: espessura (mm);

ρ : densidade (Kg/m^3).

A densidade determinada para a criação das placas foi de 700 Kg/m^3 , porém podemos observar que os painéis apresentaram uma densidade levemente superior a pré estabelecida. A figura 37 a seguir mostrar melhor os resultados obtidos.

Figura 37 - Densidade



Fonte: Elaborada pelo autor.

A abordagem da influência da densidade sobre o inchamento em espessura varia de autor para autor. Maloney (1989) afirma que o aumento da densidade ocasiona aumento do inchamento em espessura; Kelly (1977) afirma que a densificação pode restringir a entrada de umidade no painel e consequentemente o inchamento, Suchsland et al. (1986), Chow (1976) e Nelson (1973) afirmam que o inchamento não varia com a densidade. (JACKSON, 2000, p. 79).

No trabalho presente quando comparado a densidade e a porcentagem de inchamento, nota-se que as placas teve um inchamento constante e independente da densidade obtida.

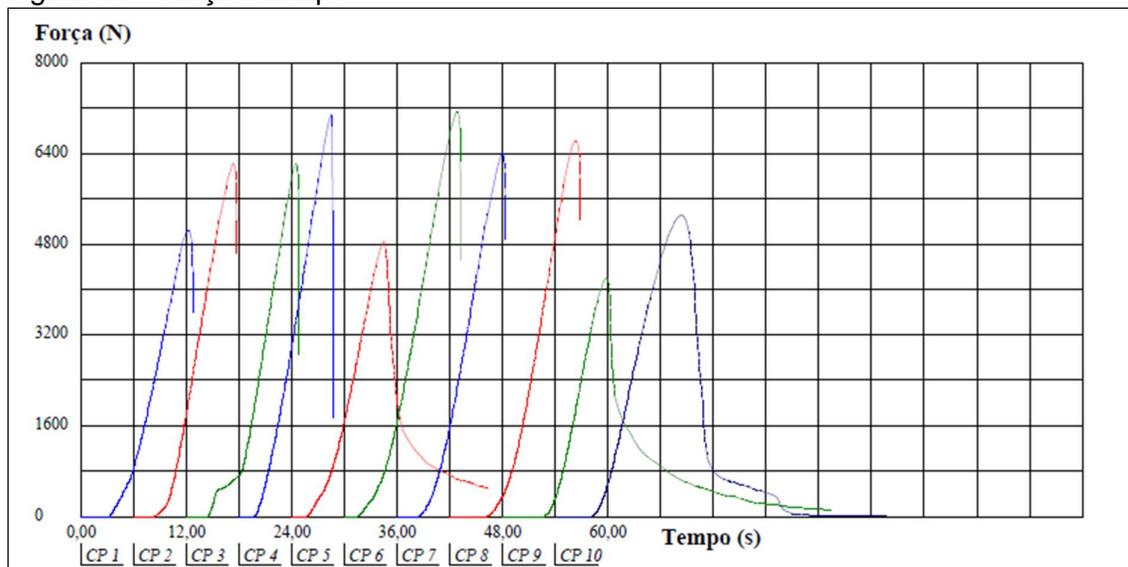
5.3 TRAÇÃO PERPENDICULAR

Tabela 8 - Tração perpendicular

| Corpos de prova | L (mm) | C (mm) | S (mm ²) | P (N) | TP (Mpa) |
|-----------------|--------|---------|----------------------|---------|----------|
| CP 1 | 51,1 | 49,65 | 2537,11 | 5050,81 | 1,99 |
| CP 2 | 51,02 | 49,66 | 2533,65 | 6235,52 | 2,46 |
| CP 3 | 50,92 | 49,84 | 2537,85 | 6235,52 | 2,46 |
| CP 4 | 50,92 | 49,84 | 2537,85 | 7097,00 | 2,80 |
| CP 5 | 50,83 | 49,73 | 2527,78 | 4854,07 | 1,92 |
| CP 6 | 50,72 | 49,84 | 2527,88 | 7149,70 | 2,83 |
| CP 7 | 51,16 | 49,64 | 2539,58 | 6410,49 | 2,52 |
| CP 8 | 51,21 | 49,63 | 2541,55 | 6633,39 | 2,61 |
| CP 9 | 51,17 | 49,66 | 2541,10 | 4203,39 | 1,65 |
| CP 10 | 50,95 | 49,73 | 2533,74 | 5322,75 | 2,10 |
| Número CPs | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Média | 51,00 | 49,72 | 2536 | 5919 | 2,334 |
| Desv.Padrão | 0,1604 | 0,08817 | 4,961 | 1002 | 0,3954 |
| Coef.Var (%) | 0,3145 | 0,1773 | 0,1957 | 16,93 | 16,94 |
| Mínimo | 50,72 | 49,63 | 2528 | 4203 | 1,654 |
| Máximo | 51,21 | 49,84 | 2542 | 7150 | 2,828 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 38 - Força x tempo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico de Força x Tempo acima, pode-se notar que em todos os testes a força para romper o CP foi superior a 4800 N, o que demonstra uma forte adesão dos grãos em função da resina utilizada.

5.4 FLEXÃO ESTÁTICA

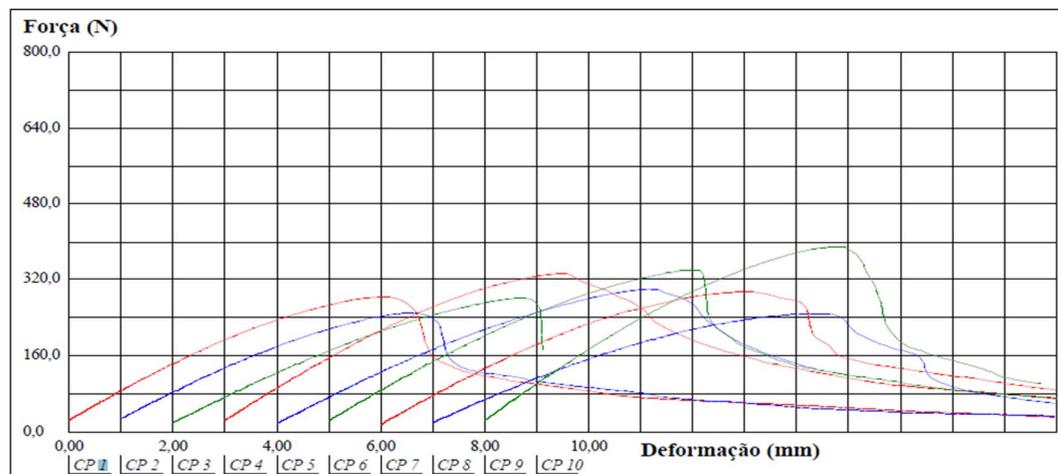
Tabela 9 - MOR E MOE

| Corpos de prova | Espessura (mm) | Largura (mm) | P est (N) | Velocidade Carga (mm/min) | Carga ruptura (Mpa) | MOR (Mpa) | MOE 10% a 50% (Mpa) |
|-----------------|----------------|--------------|-----------|---------------------------|---------------------|-----------|---------------------|
| CP 1 | 13,53 | 49,65 | 289,50 | 7 | 283,45 | 11,69 | 1878,62 |
| CP 2 | 13,14 | 49,75 | 289,50 | 7 | 251,10 | 10,96 | 1835,99 |
| CP 3 | 13,24 | 49,65 | 289,50 | 7 | 281,34 | 12,12 | 1724,25 |
| CP 4 | 13,23 | 49,81 | 289,50 | 7 | 331,98 | 14,28 | 2227,25 |
| CP 5 | 13,09 | 49,42 | 289,50 | 7 | 300,33 | 13,30 | 1870,74 |
| CP 6 | 13,24 | 49,69 | 289,50 | 7 | 339,02 | 14,60 | 2090,48 |
| CP 7 | 13,17 | 49,62 | 289,50 | 7 | 295,41 | 12,87 | 1992,84 |
| CP 8 | 13,10 | 49,70 | 289,50 | 7 | 248,99 | 10,95 | 1565,91 |
| CP 9 | 13,27 | 49,65 | 289,50 | 7 | 388,25 | 16,65 | 2541,35 |
| Número CPs | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Média | 13,22 | 49,66 | 289,50 | 7,000 | 302,2 | 13,05 | 1970 |
| Desv.Padrão | 0,1231 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0000 | 44,62 | 1,886 | 288,9 |
| Coef.Var (%) | 0,9990 | 0,2166 | 0,0000 | 0,0000 | 14,76 | 14,45 | 14,67 |
| Mínimo | 13,09 | 49,42 | 289,50 | 7,000 | 249,0 | 10,95 | 1566 |
| Máximo | 13,53 | 49,81 | 289,50 | 7,000 | 388,3 | 16,65 | 2541 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 39 mostra o gráfico de tensão por deformação do painel aglomerado.

Figura 39 - Tensão x deformação



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo gráfico de tensão x deformação pode concluir que os painéis não podem ser considerado um material dúctil e sim frágil, já que o mesmo apresenta um alto coeficiente de elasticidade (MOE), quando comparado com os materiais metálicos e a tensão limite de resistência coincide com a de ruptura e não apresenta uma região elástica, plástica e de escoamento.

Os painéis aglomerados de bambu apresentaram uma boa resistência (MOR) tendo uma média de 13,05 Mpa, ou seja, consegue suportar uma peso de até 130 Kgf

6 CONCLUSÃO

Tendo em vista que as placas foram confeccionadas sem um controle a nível industrial, as mesmas atenderam às expectativas, superando-as em alguns casos.

Ficou comprovado a eficiência da resina utilizada, como mostrado no ensaio de tração onde adquiriu uma boa resistência e no de inchamento, onde não sofreu deformação.

Pelo ensaio de absorção concluiu-se que a resina preencheu bem o interior das placas e os grão de bambu, ocasionando uma diminuição do número de vazios da mesma, baixando sua taxa de absorção.

Em relação a densidade, as placa tiveram um resultado onde a mesma superou o valor pré-estabelecido.

Verificou-se que não teve relação entre a deformação por inchamento e a densidade, visto que todas se deformaram uniformemente.

Os painéis adquiriram uma boa resistência a ruptura e elasticidade, o que permite seu uso na construção civil e na indústria moveleira.

Esse material pode ser associado com outros componentes (fibra de coco, sílica, etc.), afim de adquirir novos estudos, buscando melhorias na qualidade.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810**: painéis de partículas de média densidade. Rio de Janeiro, 2013.

BAMBU Guadua (Guadua Angustifolia). **Sítio da Mata**, c2015. Disponível em: <<http://www.sitiodamata.com.br/categoria-home/bambu-guadua-guadua-angustifolia.html>>. Acesso em: 04 set. 2015.

BARROS, B, R.; SOUZA, F, A, M. Bambu: alternativa construtiva de baixo impacto ambiental. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1. 2004, São Paulo. **Trabalhos Apresentados...** Alagoas, 2004, p.12.

COSTA, J, P, L. **O bambu na construção rural**. 2012. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012.

DINIZ, J, P, D. Mudanças de bambu Guadua angustifolia. **Rede Permanece**, 2011. Disponível em: <<http://www.redepermanece.org/2011/11/mudas-de-bambu-guadua-angustifolia.html>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira**: retratibilidade. Santa Maria. 1992. 33p (Série Técnica, 10).

ELEOTÉRIO, J, R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis mdf de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FORMAS de madeira. **Franca Construções**, 2010. Disponível em: <<http://francaconstrucoespa1.xpg.uol.com.br/formas-de-madeira.html>>. Acesso em: 5 out. 2015.

GALANI, L. Bambu é opção para construções sustentáveis. **Gazeta do povo**, 2015. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/bambu-e-opcao-para-construcoes-sustentaveis/>>. Acesso em: 7 out. 2015.

GLOBAL WOOD. 7 opções de chapas para tapume. **Global Wood**, (c2015). Disponível em: <<http://www.globalwood.com.br/noticias/tapume/>>. Acesso em: 5 out. 2015.

GRAÇA, V. L. **Bambu, técnicas para o cultivo e suas aplicações**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1988.

GRUBERT, W. **Utilização de feixes de fibras de pinus spp. e partículas de polietileno de baixa densidade (pebd) para produção de painéis aglomerado**.

2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2014.

HR OFFICE. **Diferenciais**, ([2015?]). Disponível em:
<<http://www.hroffice.com.br/2/31/p1/empresa/diferenciais.html>>.
2007. Acesso em: 4 out. 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. Ibá Painéis de Madeira. **IBÁ**, 2015. **Lonely Planet**, c2015. Disponível em:

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MOLINA, J. C.; CALIL, J. C. Sistema construtivo em *wood frame* para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

MOROKAWA, M, J. **Influência do bambu *guadua tagoara (nees) kunth* sobre a regeneração natural no parque nacional da serra dos órgãos (RJ)**. 2008. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

PADOVAN, R, B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

PEREIRA, G.P. **Comparação das propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de *pinus patula* e *pinus sp.* de origem industrial**. 2014. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2014.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6,

POWELL, K. L.; TILOTTA, D. C.; MARTINSON, K. L. **Assessment of research and technology transfer needs for wood-frame housing**. Madison: USDA, 2008.

PRESERVAÇÃO. **Apuama**, 2015. Disponível em:
<<http://www.apuama.org/bambu/preservacao/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

PRIVATE Tour: day trip to agra from delhi including taj mahal and agra fort.
<<https://www.lonelyplanet.com/india/delhi/activities/sightseeing-tours/private-tour-day-trip-agra-delhi-including-taj-mahal-agra-fort>>. Acesso em: 3 out. 2015.

SILVA, J. C. et al. Variação da retratibilidade da madeira de *eucalyptus grandis* hillex. maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 803-810, set/out. 2006.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações economicas**: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassas. 2006. 177 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2006.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

U.S. HOME construction rebounde in May. **CBS News**, 2013. Disponível em: <<http://www.cbsnews.com/news/us-home-construction-rebounded-in-may/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

ZENID, G. J. (Coord.). **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. Disponível em: <a3p.jbrj.gov.br/pdf/madeira.pdf>. Acesso em: 7 out. 2015.