

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO**

Mariana Soares

**ANÁLISE DO USO DO BAMBU COMO PAINÉIS E COMO
REFORÇO DE LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Orientador: Prof. Dr. João Carlos Souza

Florianópolis
2011

Aos meus pais e ao Vinicius pelo apoio e paciência,
e à Gabriela, um ponto de luz.

AGRADECIMENTOS

O mestrado representou uma nova fase em minha vida, novas amizades, novos conhecimentos e novas perspectivas.

Agradeço...

...a Deus por me permitir começar e concluir esta fase, à minha mãe, “porto seguro”, que me ajuda e dá força, sempre tão presente em minha vida, e ao meu pai e aos irmãos, pelo carinho com que sempre me acolheram.

...ao meu orientador João Carlos de Souza, sempre muito prestativo, cuidadoso e atencioso, e ao professor Carlos Alberto Szücs, pelo aprendizado, pela sua dedicação, paciência e amizade.

...ao GIEM (Grupo Interdisciplinar de Estudo da Madeira), por ter sido como uma família para mim, um reconhecimento especial ao Manuel, João e Rodrigo, sem os quais este trabalho não seria realizado.

...ao PósARQ, pela formação e ensino durante estes dois anos.

...à Ivonete, sempre tão dedicada e disposta a ajudar todos os alunos e professores.

...às minhas colegas e amigas Carolina e Natalia, por estarem sempre ao meu lado durante todo o mestrado.

...aos membros da banca avaliadora na qualificação e defesa pela disponibilidade e ensinamentos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta dissertação...

Obrigada!

RESUMO

Muitas são as diretrizes que devem ser seguidas e avaliadas para que uma obra seja considerada sustentável, tendo em vista o impacto negativo que o uso de materiais convencionais pode apresentar ao meio ambiente, nesta dissertação destaca-se a necessidade de substituir ou complementar esses materiais por materiais mais sustentáveis. Tem-se como intenção colaborar para a ampliação de uma base de conhecimento sobre materiais alternativos, especialmente o bambu, material ainda pouco utilizado nas construções brasileiras, apesar das muitas qualidades e possibilidades já identificadas em seu emprego. A dissertação aborda duas distintas maneiras de utilizar o material bambu: em forma de painéis e como reforço de ligação entre elementos estruturais. Na primeira, os painéis estruturais, confeccionados com madeira, bambu e cola, são submetidos ao ensaio de cisalhamento, conforme a norma americana *ASTM D 2719-89 – Standard test methods for structural panels in shear through-the-thickness*, e também são avaliados quanto ao peso e à estética. Na segunda, parte-se do conhecimento de que reforços de ligação entre elementos estruturais são normalmente necessários em construções com bambu que utilizam pinos metálicos como material de ligação devido à fragilidade encontrada nessa área. Assim, propõe-se que o reforço nessas áreas seja feito com fibra de bambu, pois este é um material encontrado na natureza, diferente da fibra de vidro, material normalmente empregado nesses reforços. Nos ensaios de tração para simular o esforço realizado por um pino metálico na ligação, foram utilizadas fibras de bambu e quatro diferentes tipos de cola. Nos resultados e conclusões sobre a resistência, o peso e a estética dos painéis estruturais em madeira e bambu, destacam-se a boa resistência ao cisalhamento, a leveza e beleza dos painéis propostos. Na apreciação do uso do bambu como reforço de ligação entre elementos estruturais, comprova-se o aumento de resistência dos corpos de prova em que foram utilizadas fibras de bambu como reforço de ligação.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Bambu. Painéis e Reforço de ligação.

ABSTRACT

There are many guidelines that must be followed and evaluated so that a work is considered sustainable, in view of the negative impact that the use of conventional materials can provide the environment, this dissertation highlights the need to replace or supplement these materials by more sustainable materials. It is intended to contribute to the expansion of a knowledge base on alternative materials, especially bamboo, material still a little used in buildings in Brazil, despite the many qualities and possibilities already identified in their jobs. The dissertation addresses two distinct ways to use bamboo material: in the form of panels and to reinforce the connection between structural elements. At first, structural panels, made of wooden, bamboo and glue, are subjected to shear test, according to American Standard ASTM D 2719-89 - Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-thickness, and are also evaluated for weight and aesthetics. In the second part is the knowledge that reinforcements link between structural elements are normally required in buildings with metal pins that use bamboo as a bonding material due to the weakness found in this area. Thus, it is proposed that the strengthening in these areas is made with bamboo fiber, because this is a material found in nature, unlike glass fiber materials are commonly employed in these reinforcements. In tensile tests to simulate the effort made by a metal pin in the link, bamboo fibers were used and four different types of glue. The results and conclusions on the strength, weight and aesthetics of the wood structural panels and bamboo, we highlight the good shear strength, lightness and beauty of the proposed panels. In assessing the use of bamboo as reinforcement of links between structural elements, confirming the increased resistance of the specimens that were used bamboo fibers as reinforcement connection.

Keywords: Sustainability. Bamboo. Panels and Strengthening connections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Custo total de uma edificação por fase convencional	33
Figura 2- Possibilidades de intervenção no custo durante o ciclo de vida de uma edificação	34
Figura 3- Composição média do entulho no Brasil	40
Figura 4- Bambu na arquitetura	66
Figura 5- Andaimos de bambu	66
Figura 6- (a) Painel com varas estacadas verticalmente; (b) Painel feito de bambus estacados nos dois sentidos	69
Figura 7- Casa feita de bambu com o uso das esteiras	69
Figura 8- Painéis de bambu feitos com esteiras	70
Figura 9- (a) Pavilhão do Menino Pescador, Centro Cultural O Menino e o Mar; (b) Detalhe do painel de bambu trançado, utilizado como vedação	70
Figura 10- Detalhes construtivos dos painéis preenchidos com barro	71
Figura 11- Detalhes construtivos dos painéis do tipo bahareque	72
Figura 12- Detalhe construtivo dos painéis do tipo <i>tendinous</i> ou tencionados	73
Figura 13- Estrutura do painel	73
Figura 14- Painel finalizado	74
Figura 15- Lâminas, lascas, ripas ou partículas: amostras de material empregado nos painéis	74
Figura 16- a, a1, a2, a3) Painéis de ripas coladas na horizontal; b, b1, b2, b3) Painéis com ripas coladas na vertical; c, c1, c2) Painéis com ripas coladas em direções invertidas (contraplacados); d) Painéis com tiras entrelaçadas	75
Figura 17- Painéis com revestimento de lâminas naturais	76
Figura 18- Processo de descolorir (<i>Bleaching</i>) tiras de bambu	76
Figura 19- Lâminas de bambu descoradas, alvejadas (<i>Bleaching</i>)	77
Figura 20- Forno ou caldeira para a carbonização das ripas, China	77
Figura 21- Lâminas ou painéis carbonizados	78
Figura 22- a) Bambu laminado colado; b) e c) lâminas	78
Figura 23- Lâminas sendo prensadas com moldes curvos	79
Figura 24- a) Painel contraplacado carbonizado; b) Painel contraplacado natural	79
Figura 25- Compensados laminados de bambu	80
Figura 26- Carroceria de caminhão tipo baú e de ônibus urbano	80
Figura 27- a) , b) e c) pisos de bambu laminado	81

Figura 28- a) Mulheres tecendo a esteira; b, c) Amostras de esteiras de bambu moldado sob pressão	81
Figura 29- Mobiliário feito com lâminas de bambu	82
Figura 30- Processo de fabricação do painel ondulado	82
Figura 31- Painéis de partículas de bambu sem revestimento	83
Figura 32- Painel de partículas aglomeradas compostas	83
Figura 33- Painel de bambu com partículas orientadas – OSB	84
Figura 34- Estrutura para casas em OSB de bambu	84
Figura 35- Painel de MDF revestido com ripas de bambu e pó de coco colado	85
Figura 36- <i>Wall paper</i>	85
Figura 37- Cobertura do aeroporto de Madri, Espanha	86
Figura 38- Conexões das peças de bambu	87
Figura 39- Viga treliçada	88
Figura 40- Corpos de prova para ensaio de tração	88
Figura 41- Ossatura em madeira	91
Figura 42- A madeira <i>pínus</i> sendo passada na serra circular	94
Figura 43- As ripas de <i>pínus</i> sendo passadas na plaina	95
Figura 44- Ripas sendo serradas na serra destopadeira para ficarem com a dimensão de 10x800x20 mm	95
Figura 45- Estrutura em madeira do painel antes de ser colada e prensada	96
Figura 46- Colagem das ripas	97
Figura 47- Ripas com cola na prensa	97
Figura 48- Após todas as ripas estarem com cola e posicionadas na prensa elas foram prensadas	98
Figura 49- Parte da colagem das madeiras do painel finalizada	98
Figura 50- Colagem das lâminas de bambu <i>Dendrocalamus Giganteus</i>	99
Figura 51- Colagem das lâminas de bambu no OSB de 800x800 mm	100
Figura 52- Ajuste do painel no dispositivo de prensagem	101
Figura 53- Lonas colocadas entre o painel e dispositivo	101
Figura 54- Prensagem do painel	102
Figura 55- Painel sendo passado na <i>serra circular</i>	102
Figura 56- Painel	103
Figura 57- Painel sendo passado na serra fita para retirar as quinas	103
Figura 58- Painel com as quinas arredondadas	104
Figura 59- Extremidades dos corpos de provas sendo enrijecidos	104

com OSB

Figura 60- Prensação do painel após enrijecimento das laterais	105
Figura 61- Corpo de prova finalizado sendo medido	106
Figura 62- Esquema do ensaio de cisalhamento	107
Figura 63- Ensaio corpo de prova	108
Figura 64- Corpos de prova após ensaio	110
Figura 65- Composição painéis	112
Figura 66- Painel fixado no montante	113
Figura 67- Painel de bambu utilizado como parte da decoração	114
Figura 68- Autoclave vertical	116
Figura 69- Ripas de bambu na autoclave vertical	116
Figura 70- Ripas de bambu sendo passadas no moedor	117
Figura 71- Ripas após serem passadas no moedor	117
Figura 72- Desfibramento manual	118
Figura 73- Feixes de fibras de bambu	118
Figura 74- Colmo de bambu após ser serrado	120
Figura 75- Corpo de prova tendo a camada lisa externa sendo raspada	121
Figura 76- Cola Araldite sendo passada no corpo de prova	121
Figura 77- Atadura de crepom sendo enrolada no corpo de prova	122
Figura 78- Atadura de crepom com feixes de fibras de bambu sendo enrolada no corpo de prova	122
Figura 79- Corpo de prova sendo furado	123
Figura 80- Corpo de prova finalizado	123
Figura 81- Ensaio corpo de prova	124
Figura 82- Corpos de prova após ensaios	126
Figura 83- Primeira camada de fibra de bambu	139
Figura 84- Segunda camada de fibra de bambu	140
Figura 85- Fibras de bambu prontas para serem prensadas	140
Figura 86- Painel de fibras de bambu com adesivo epóxi Araldite finalizado	141
Figura 87- Painel de fibras de bambu com adesivo Resorcina-Fenol-Formaldeído finalizado	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo energético para produzir alguns materiais de construção	28
Tabela 2- Requisitos a serem avaliados para a seleção de materiais e componentes	37
Tabela 3- Aspectos ligados à sustentabilidade do cimento, concreto e agregados	44
Tabela 4- Aspectos ligados à sustentabilidade da Terra	46
Tabela 5- Aspectos ligados à sustentabilidade da madeira e bambu	50
Tabela 6- Aspectos ligados à sustentabilidade dos metais	53
Tabela 7- Aspectos ligados à sustentabilidade dos plásticos	55
Tabela 8- Aspectos ligados à sustentabilidade dos vidros	57
Tabela 9- Aspectos ligados à sustentabilidade das tintas, vernizes, lacas e esmaltes	59
Tabela 10- Espécies prioritárias de bambu de acordo com o <i>INBAR</i>	61
Tabela 11- Vantagens, desvantagens do bambu	64
Tabela 12- Resultados dos corpos de prova	109
Tabela 13- Resultados das massas dos corpos de prova	111
Tabela 14- Resultados dos ensaios	125

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Exemplo de comportamento do corpo de prova 3	108
Gráfico 2- Resultados das resistências dos corpos de provas	128
Gráfico 3- Resultados das resistências características dos corpos de provas	130

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA	26
1.2 PESQUISA REALIZADA	29
1.3 OBJETIVOS	29
1.3.1 Objetivo Geral	29
1.3.2 Objetivos Específicos	29
1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	30
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 IMPORTÂNCIA DO PROJETO E ESCOLHA DE MATERIAIS	33
2.1.1 Análise do Ciclo de Vida (ACV)	38
2.1.1.1 Energia Embutida ou Energia Incorporada	39
2.1.1.2 Emissão de CO ₂	39
2.1.1.3 Resíduos	40
2.1.1.4 Transportes	41
2.1.1.5 Aspectos socioeconômicos	41
2.2 MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SEUS ASPECTOS SUSTENTÁVEIS	42
2.2.1 Cimento / Concreto	42
2.2.2 Blocos Cerâmicos / Solo Estabilizado	45
2.2.3 Gesso	47
2.2.4 Madeiras	47
2.2.5 Metais	51

2.2.5.1 Alumínio	51
2.2.5.2 Aço	52
2.2.6 Plásticos	54
2.2.7 Vidro	56
2.2.8 Tintas, Vernizes, Lacas e Esmaltes	58
2.3 BAMBU	60
2.3.1 Bambu na Arquitetura	65
2.4 PAINÉIS	67
2.4.1 Painéis de Bambu	68
2.4.1.1 Painéis Tradicionais de Bambu	68
2.4.1.2 Painéis de Bambu Colados	74
2.4.1.2.1 <i>Estrutura dos painéis de bambu laminados</i>	74
2.4.1.2.2 <i>Cores e tonalidades obtidas a partir do processamento dos painéis de bambu</i>	75
2.4.1.2.3 <i>Painéis de bambu que utilizam cola: amostras e aplicações</i>	78
2.5 LIGAÇÕES DE BAMBU E REFORÇOS DE LIGAÇÕES	86
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS	90
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	90
3.2 PRIMEIRA PARTE	92
3.2.1 Modelo de corpos de prova proposto	92
3.2.1.1 Corpo de prova com madeira de <i>Pínus</i>	94
3.2.1.2 Problemas encontrados no painel com madeira de <i>Pínus</i>	99
3.2.1.3 Corpos de prova com OSB	99
3.2.1.4 Procedimento utilizado nos corpos de prova com OSB e	

nos corpos de prova com madeira de <i>Pínus</i>	100
3.2.2 Avaliação dos corpos de prova	106
3.3 SEGUNDA PARTE	114
3.3.1 Uso do bambu como reforço de ligações entre elementos estruturais: o desfibramento do bambu	114
3.3.1.1 Obtenção das fibras	115
3.3.1.2 Observações realizadas ao longo do processo de desfibramento do bambu	118
3.3.2 A confecção dos corpos de prova	119
3.3.2.1 Observações realizadas ao longo da confecção dos corpos de prova	123
3.3.2.2 Ensaio de caracterização mecânica	123
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	128
5 CONCLUSÃO	131
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	133
ANEXO 1 - SOLUÇÕES COM O USO DE FIBRAS DE BAMBU	139

1 INTRODUÇÃO

O modelo econômico seguido durante séculos visou apenas o desenvolvimento e o acúmulo de riquezas de países hegemônicos, sem haver uma preocupação com a conservação ambiental. Porém, desde 1970, tomou força a discussão sobre como melhorar as condições da produção mundial de bens e serviços, reduzir padrões de consumo excessivos e diminuir o desperdício de recursos naturais. A consciência de que a humanidade necessita dos recursos naturais do planeta para garantir a sobrevivência na Terra é cada vez mais presente, porém, contraditoriamente, parece ainda muito distante a extinção dos padrões nocivos de degradação ambiental, decorrentes da industrialização.

A humanidade se encontra diante de uma situação em que são necessárias buscas por novas tecnologias, novos materiais, novos métodos e procedimentos de criação, não apenas para gerar novos equipamentos e técnicas, mas também para atender às necessidades da população.

Segundo Brandão (2008), o conceito de desenvolvimento sustentável foi usado na Assembleia Geral das Nações Unidas em 1979. Em seguida, passou a ser assumido pelos governos e pelos organismos multilaterais. A publicação do documento “Nosso Futuro Comum”, após quase mil dias de reuniões de especialistas convocados pela ONU, sob a coordenação da primeira ministra da Noruega, Gro Brundland, estabeleceu da seguinte forma a definição de desenvolvimento sustentável tornada clássica: “sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

Em virtude dessa conceituação, a importância de construções com valores ambientais agregados é evidenciada, uma vez que, ao se realizarem construções, o meio ambiente está sendo alterado. Isso acontece porque os materiais, a utilização de recursos naturais não renováveis e o ato de construir em si acabam gerando agressões ao meio. Assim, o objetivo da arquitetura sustentável é minimizar os impactos que a construção cria ao seu redor ao atingir diretamente o ambiente e indiretamente o homem, que sofre por perder sua qualidade de vida. Porém, essa preocupação não deve existir apenas durante a construção. O projeto possui grande importância para que o edifício, depois de pronto, continue a ser sustentável. Ele constitui o modo mais

eficaz de determinar o desempenho de uma edificação, pois durante o desenvolvimento do projeto são realizadas escolhas e tomadas decisões relacionadas à arquitetura que influenciarão toda a “vida” da edificação e sua agregação ao meio ambiente.

Muitas são as diretrizes que devem ser seguidas e avaliadas para que uma obra seja considerada sustentável. Dessa grande gama de informações a serem consideradas na apreciação da sustentabilidade de uma obra, optou-se, nesta dissertação, por se ater aos materiais construtivos. Nesse tema, enfatiza-se a necessidade de o projetista, o construtor e a população em geral conhecerem as implicações da escolha de um material na preservação, ou não, dos aspectos ambientais das obras. Destaca-se a necessidade de inserir na indústria da construção materiais alternativos e mais sustentáveis, que possam substituir ou complementar os materiais ou sistemas construtivos tradicionalmente utilizados nas edificações.

A pesquisa pretende contribuir para a escolha de materiais de construção que observem os critérios de sustentabilidade, tendo em vista o impacto negativo que o uso de materiais convencionais pode apresentar ao meio ambiente. Para isso, foram tomados como base estudos que analisam os materiais de construção comumente utilizados na confecção de painéis e verificou-se como neles estão inseridos os princípios da sustentabilidade, focando-se especialmente naqueles cujos resultados apontam para novas formas de emprego de materiais alternativos com maior potencial ambiental.

A intenção é contribuir para a ampliação de uma base de conhecimento sobre um material alternativo ainda pouco empregado em construções no Brasil: o bambu. Com o propósito de disseminar possíveis usos desse material em construções, destacam-se, neste trabalho, duas maneiras distintas de empregá-lo em construções: em forma de painéis estruturais e utilizando as fibras de bambu no reforço de ligações entre elementos estruturais.

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

O setor da construção é responsável em média por 15% do PIB (MANSEAU; SEADEN, 2001), sendo o setor econômico do país com maior impacto na economia. Nesse contexto, a preservação do meio

ambiente por meio de um desenvolvimento sustentável, especificamente no setor da edificação, tem adquirido cada vez mais relevância.

Os projetos de edificação não precisam deixar de ter uma grande preocupação estética. Devem ser tecnológicos, confortáveis, modernos, sem perder de vista os critérios de sustentabilidade, destacando, como ponto principal, o seu usuário, pensando no conforto, bem-estar e saúde dentro da edificação. As informações a seguir demonstram que é necessário realizar projetos que reduzam a dependência energética.

Dados dos Estados Unidos mostram que as edificações são responsáveis por 12% do consumo de água, 39% das emissões de CO₂, por 65% da geração de resíduos e 71% do consumo de eletricidade (fonte USGBC). Dados brasileiros, ainda que não tão precisos, revelam índices semelhantes: 40% dos recursos naturais extraídos são destinados a indústria da construção civil, 50% dos resíduos sólidos urbanos são provenientes de construções e demolições, 50% do consumo de energia elétrica é destinada para operação das edificações. Fonte FGV – União Nacional da Construção (ANAB, 2008).

Não se pode esquecer, também, que a indústria da construção depende dos materiais de construção e grande parte deles é proveniente de indústrias transformadoras, o que representa, por exemplo, cerca de 37,4% das emissões de CO₂ (INE, dados estatísticos de 2003, para Portugal). Devido à grande quantidade de materiais que são utilizados nos processos construtivos, é muito importante a divulgação do conhecimento sobre a poluição e efeitos nocivos que esses materiais podem causar.

Na Suécia, um levantamento indicou que dois bilhões e quinhentos milhões de toneladas de materiais estão incorporados em edificações, estradas e outras estruturas. Levantamentos realizados no Brasil identificam um consumo de aproximadamente uma tonelada de materiais de construção por metro quadrado de área edificada (SATTNER, 2002).

Além disso, alguns materiais amplamente empregados em construções no Brasil, como o aço e o concreto, possuem alto impacto tanto nos custos da construção quanto no ambiente. Isso pode ser observado na Tabela 1, que mostra os valores do consumo energético para produzir alguns materiais de construção.

Tabela 1 - Consumo energético para produzir alguns materiais de construção.

Material	Consumo energético			
	KWh/kg	KWh/m ³	Kg eq. Carvão	Mega J/kg
Madeira serrada	0,7	350	0,8	<5
Madeira laminada-colada	2,4	1200	n.i.	n.i.
Cimento	1,4	1750	260	n.i.
Concreto	0,3	700	25	n.i.
Tijolo	0,8	1360	140	n.i.
Aço	5,9	46000	1000	≅30
Plástico PVC	18,0	24700	1800	n.i.
Alumínio	52,0	141500	4200	≅120

Fonte: Oliveira (2008), adaptado de Ceotto.

Evidencia-se, dessa forma, a importância dos projetistas terem conhecimento sobre o material que estão utilizando, tanto no aspecto construtivo e estrutural, quanto no do consumo energético utilizado na sua produção e das agressões geradas pelo material durante todo o seu período de “vida”, pois a fabricação dos materiais industrializados provoca um grande consumo de energia elétrica.

Ao compararem-se, por exemplo, os níveis de energia exigidos para a produção de materiais industrializados, como o cimento e o aço, com os dos tijolos de barro cru sem cozimento (utilizados no período do Brasil colonial), ou com os feitos de colmos de bambu (utilizados em construções grandiosas na China) ou, ainda, com a madeira, a diferença é significativa.

O bambu e a madeira, por serem encontrados na natureza, prontos para serem utilizados, praticamente não consomem energia para a sua produção e são ecologicamente viáveis. Além disso, tem-se demonstrado que esses materiais são adequados do ponto de vista construtivo (BATISTA, 2007; BARBOZA, 2008, entre outros).

1.2 PESQUISA REALIZADA

A partir da revisão de literatura sobre maneiras inovadoras de empregar o bambu na construção, o presente trabalho limitou-se à análise de duas alternativas: a do uso do bambu com madeira na forma de painéis estruturais e a do emprego de fibras de bambu para reforços de ligações entre elementos estruturais. A primeira visa apreciar a resistência mecânica dos painéis de bambu com madeira; e a segunda, verificar se existe e de quanto é o aumento de resistência nas ligações com pinos metálicos quando utilizados reforços de ligações com fibras de bambu. Nessas duas diferentes propostas para a utilização do bambu foram realizados ensaios laboratoriais.

Na presente pesquisa, não foram realizados os seguintes estudos: comparação entre os painéis estruturais de bambu com madeira e painéis confeccionados com outros materiais; viabilidade econômica; emprego de colas com aspectos mais sustentáveis, entre outros.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade do uso de painéis estruturais elaborados com bambu e núcleo de madeira, como também a utilização de fibras de bambu como reforços de ligações entre elementos estruturais.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apontar e descrever de que forma a utilização de materiais sustentáveis, em especial bambu e madeira, possibilitam que as construções agridam menos o meio ambiente e possam substituir materiais amplamente poluentes nas edificações;
- Avaliar as possibilidades de uso do bambu como componente construtivo, por meio da construção de protótipos de painéis de bambu com madeira;

- Propor a utilização de fibras de bambu como reforços de ligações entre elementos estruturais;
- Realizar ensaios laboratoriais com corpos de prova, para analisar como as propostas de emprego do bambu pesquisadas nesta dissertação resistem a esforços mecânicos exigidos na edificação;
- Propor soluções em arquitetura com o uso de painéis de bambu com madeira e com fibras de bambu.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

O interesse pela utilização e por novas técnicas de concepção de materiais como o bambu na construção civil se deve ao fato dele: proteger o solo, pois cresce naturalmente sem necessitar replantio; retirar o carbono da atmosfera; ser um bem renovável devido à possibilidade de ser reutilizado ou reciclado ao final de sua vida útil; possibilitar o aumento da eficiência térmica da construção, reduzindo os custos energéticos.

O bambu pode e deve ser utilizado na construção, por ser facilmente encontrado, ecologicamente viável e de fácil manejo, no entanto, Teixeira (2006) alerta para o preconceito ainda existente no Brasil em relação ao uso do bambu em construções. Isso tem levado ao esquecimento desse material e à contínua eliminação de bambuzais, dando lugar a locais para produzir grãos ou criar bovinos.

No Brasil, atualmente, começa a haver mobilização das universidades, juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), para o desenvolvimento de pesquisas sobre as propriedades do bambu para a construção. Porém, nota-se que o acesso às informações a respeito do uso dessa matéria-prima em construções ainda é bastante restrito, pois há pouca bibliografia técnica e científica e não existe uma norma técnica para a aplicação desse material. O bambu, assim como a madeira, ainda é empregado erroneamente nas construções, o que leva à escassez de projetos e construções de qualidade com o uso desse material. Há insuficiência de pessoas preparadas e treinadas para sua utilização, o que acaba reforçando o preconceito da população em relação ao uso desses materiais.

Teixeira (2006) defende que deveria haver mais centros onde pessoas interessadas pudessem fazer cursos e atividades educativas para aprender a lidar com o bambu e seus produtos. A falta de disciplinas nas universidades brasileiras que abordem a madeira e o bambu como materiais empregados em construções de qualidade faz com que estes materiais estejam praticamente ausentes em projetos de arquitetura. Não são, assim, considerados como uma opção, de igual valor, em relação aos demais materiais de uso corrente na construção, como o concreto, o aço e os materiais cerâmicos, que não possuem nenhum conceito sustentável.

Na primeira parte da dissertação sobre o uso do bambu e da madeira foi proposta sua utilização para a confecção de painéis porque, além de serem materiais que atendem aos critérios de sustentabilidade, são provenientes de matérias-primas diferentes, com propriedades mecânicas e custos diferentes, características específicas de cada material. Isso sugere a possibilidade de confeccionar painéis mais sustentáveis, com melhoria das propriedades mecânicas. Os painéis confeccionados foram submetidos aos ensaios de cisalhamento e seguiram os critérios da norma norte-americana ASTM D 2719-89 (*Standard test methods for structural panels in shear through-the-thickness*). A escolha se deve ao fato de ser essa a norma criada especificamente para ensaio de painéis estruturais, possibilitando verificar a resistência mecânica que esses painéis deverão ter aos esforços exigidos em uma edificação.

A segunda parte deste trabalho é referente ao processo de ligação entre duas peças de bambu para a elaboração de uma estrutura, pois há estudos (MORÉ, 2003, entre outros) que demonstram a fragilidade nas áreas de ligação entre dois colmos de bambu quando são utilizados pinos metálicos como forma de ligação. Isso evidencia uma relativa redução de resistência, sendo necessário algum tipo de reforço. Geralmente, para esses reforços, são utilizadas fibra de vidro e resina. Porém, propõe-se, na presente pesquisa, substituir os reforços em fibra de vidro por fibra de bambu, por ser esta uma opção mais natural e mais econômica. O estudo da viabilidade dessa opção foi feito por meio de ensaios de tração para verificar o desempenho dos corpos de prova ao serem empregadas fibras de bambu coladas em volta do local no qual seria inserido o pino metálico, o que possibilitou avaliar o aumento da resistência mecânica nessa área.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1, Introdução, delimita-se o objeto de estudo, apresentam-se o objetivo geral e os específicos, justificam-se a pertinência e relevância do tema proposto.

No capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a sustentabilidade na construção de edifícios e os materiais possíveis de serem utilizados com esse propósito. Foca-se no componente construtivo, denominado painel, especialmente o construído com bambu, destacando os principais sistemas e técnicas de produção dos painéis com este material. Trata-se de uma revisão bibliográfica abrangente que visa esclarecer o que já existe sobre o tema na literatura e retratar a importância de aprofundar a compreensão de diversos aspectos sobre as vantagens e desvantagens do emprego desse material, visando opções arquitetônicas mais sustentáveis.

No capítulo 3, descreve-se o procedimento metodológico adotado na fase experimental e os resultados obtidos. Além disso, são detalhadas as etapas da pesquisa desenvolvida.

Os procedimentos experimentais da dissertação e os respectivos resultados são divididos em duas etapas:

- i) confecção e ensaios dos painéis feitos em bambu e madeira;
- ii) execução e ensaio dos corpos de prova utilizando fibras de bambu como reforço de ligação.

No capítulo 4, são apresentadas as análises dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões da pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

Ao final, são apresentadas as referências utilizadas ao longo da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA DO PROJETO E ESCOLHA DE MATERIAIS

Durante a fase do projeto de um edifício são tomadas as decisões que implicarão na qualidade da edificação, incluindo a dependência energética, como a utilização da água, os materiais e componentes, bem como, o custo da obra, sua manutenção e os gastos energéticos, pagos por seus ocupantes. Contudo, é comum que a fase de projeto acabe sendo negligenciada, investindo-se um mínimo de recurso financeiro possível nessa etapa.

Deve-se investir mais em planejamento e projeto (que representa apenas um pequeno percentual da obra) de modo a assegurar que sejam adotadas boas soluções para aquela edificação. Enquanto nos EUA e Europa os projetos demandam um a dois anos e as obras alguns poucos meses, o inverso ocorre no Brasil. Isto reflete em construções de baixa qualidade: arquitetônica, de execução e sustentável, afetando diretamente os custos de operação e manutenção, bem como o bem-estar e a produtividade dos usuários (ANAB, 2008).

A Figura 1 mostra os custos de cada fase convencional de uma edificação.

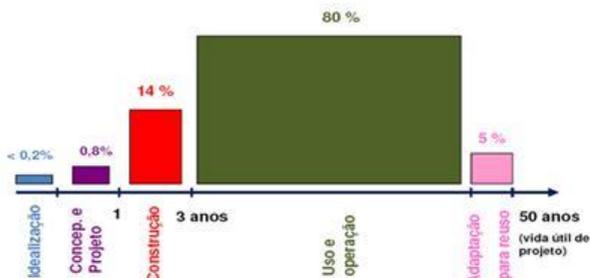


Figura 1 - Custo total de uma edificação por fase convencional.

Fonte: Oliveira (2008), adaptado de Ceotto.

Os custos dessas fases iniciais (idealização, concepção e projeto), de acordo com as informações da Figura 1, não ultrapassam 1% do custo do ciclo de vida da edificação.

Na Figura 2 é apresentado o impacto dessas fases iniciais no custo durante o ciclo de uma edificação:

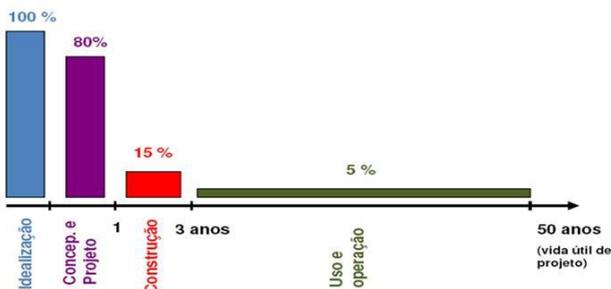


Figura 2 - Possibilidades de intervenção no custo durante o ciclo de vida de uma edificação.

Fonte: Oliveira (2008), adaptado de Ceotto.

Os 100% de possibilidades de intervenção no custo da obra durante a fase de idealização, dos quais 80% se situam na fase de concepção do projeto, demonstram o impacto dessas fases iniciais.

De acordo com Ceotto (2008), a ampliação do valor gasto na fase de idealização, concepção e projeto pode significar uma redução de 30% do consumo de energia e de 40% do consumo de água. Mediante esses dados, fica evidente a importância da elaboração do projeto para o nível de qualidade de uma edificação tanto no aspecto de conforto dos seus usuários, como no custo que ela implicará, durante todo seu período de vida, quanto no de danos ao meio ambiente. Segundo o USGBC (*United States Green Building Council*), edifícios sustentáveis reduzem de 8 a 9% os custos de operação e aumentam em 7,5% a valorização dos imóveis.

Ao se projetar uma obra, ou durante sua execução, em momento algum se deve ignorar a possibilidade de sua ampliação, devendo-se sempre tomar decisões que acarretem menos demolições, desperdícios e elevados custos. Segundo Oliveira (2009), cada decisão de projeto e cada pequeno componente do ambiente construído acarretam alguma

contribuição, seja positiva ou negativa, para o ambiente natural. A autora também destaca a necessidade do arquiteto ter maior conhecimento sobre os materiais disponíveis e sempre estar se atualizando.

Segundo Oliveira (2009), as etapas iniciais para seleção de sistema construtivo, materiais e componentes são:

- fazer levantamento das indústrias de materiais e componentes mais próximas ao local da obra, que possuam materiais de qualidade;
- selecionar as indústrias com forma de produção e produtos mais sustentáveis que possuam alguma rotulagem ambiental;
- verificar a possibilidade de aproveitamento de estruturas ou matérias-primas (terra, pedra) existentes no local da implantação;
- averiguar a possibilidade de incorporar materiais de demolição da região, porém cuidando da procedência desses materiais.

Oliveira (2009), além de tecer considerações ambientais e sociais, enfatiza que a etapa de seleção dos materiais deve estar aliada ao paradigma atual: tempo, preço e mão de obra disponíveis. Para ela, os materiais devem ser selecionados de acordo com requisitos de sustentabilidade classificados nas seguintes categorias (Tabela 2):

- **Água:** selecionar materiais e componentes que contribuam para o uso racional da água ou que não comprometam os recursos hídricos;
- **Matéria-prima:** selecionar materiais e componentes com matéria-prima local, natural, com longa vida útil, de fonte certificada, com extração sem impactos, recicladas ou de reuso, de fonte renovável, sem componentes poluentes;
- **Energia:** selecionar materiais e componentes que contribuam para o uso racional de energia, priorizando o uso de energia de fontes renováveis;
- **Emissões:** selecionar materiais e componentes que possuam baixa emissão de gases de efeito estufa, gases tóxicos, principalmente VOC;
- **Resíduos:** selecionar materiais e componentes com resíduos atóxicos, recicláveis, recuperados pelo fabricante, reutilizáveis ou biodegradáveis;

- Transporte: selecionar materiais locais, diminuindo o transporte de mercadorias;
- Aspectos socioeconômicos: selecionar materiais que possuam viabilidade econômica; contribuam para um ambiente saudável e seguro; possuam viabilidade de industrialização e comercialização; sejam produzidos com respeito às condições humanas, com políticas empresariais de ações sociais e que deem ênfase à economia local.

Tabela 2 - Requisitos a serem avaliados para a seleção de materiais e componentes.

	Água	Matéria-prima	Energia embutida	Emissões	Resíduos gerados	Transporte	Aspectos socioeconômicos
Material ou componente	Porcentagem de água economizada na produção.	Disponibilidade de recursos naturais (se é alta ou baixa).	Energia embutida em todo o ciclo de vida.	Quantidade de CO ₂ embutido em todo o ciclo de vida (CO ₂ /Kg)	Quantidade de resíduos tóxicos ou perigosos, tais como POP ou metais pesados.	Distância transportada (em Km).	Custo.
		Conteúdo de substâncias tóxicas ou perigosas (se há ou não).		Emissão de outros gases de efeito estufa na produção (se há ou não).			Vida útil adequada do material (em anos). Embalagem: se é reciclada, biodegradável ou retornável.
	Porcentagem de água economizada no uso.	Porcentagem de fonte reciclada.	Energia embutida por m ² construído com material ou componente.	Emissão de poluentes do ar interno.	Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado.	Emissões do transporte.	Capacidade de transferência tecnológica (valor subjetivo).
		Capacidade de renovação do recurso (em anos) e capacidade de biodegradação.		Emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre.	Conformidade técnica do material e capacitação profissional necessária.		Políticas empresariais (se há ou não).

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

Para Oliveira (2009), o cuidado com a seleção de materiais deve estar presente desde o levantamento do local da obra, durante a fase de idealização e estudo preliminar da edificação, continuando presente até o projeto executivo, quando todo o detalhamento dos materiais que serão utilizados for apresentado.

Outro cuidado importante é utilizar materiais fáceis de encontrar próximos à obra, pois isso evita gastos desnecessários com transporte, além de ser uma alavanca para a economia regional, beneficiando a população econômica e socialmente. Também deve ser salientada a importância de misturar os materiais, pois se todas as construções utilizassem o mesmo material não haveria como repor esse material, podendo ocorrer um desequilíbrio, o que não estaria de acordo com o termo sustentabilidade.

Além da escolha de materiais e sistemas construtivos menos agressivos ao meio, é importante adotar o uso de sistemas modulares pré-fabricados. De acordo com Brandão (2008), o uso da modulação dos pré-fabricados passou a ser considerado um elemento de eficiência sustentável, devido à precisão dimensional que esses materiais proporcionam, aliada à mão de obra especializada, evitando acidentes e perdas.

Ainda segundo Brandão (2008), a modulação, além de estar aliada aos fatores ecológicos, permite flexibilidade no projeto de edificação, objetivando possibilitar alterações, mudança de uso, reformas, reposições de componentes e adequações de novas infraestruturas, além de ajudar a racionalizar a condição de manutenção predial.

2.1.1 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

É a análise de todas as etapas pelas quais um produto passa, desde a extração da matéria-prima até o descarte ou reciclagem (ciclo de vida do produto), estabelecendo vínculos entre os aspectos e categorias de impacto potencial ligadas ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e ambiental.

Falar do ciclo é referir-se a todas as etapas e processos de um sistema de produção, de produtos ou serviços, englobando toda a cadeia produtiva e

de consumo. Deve-se considerar então, a aquisição de energia, matérias-primas e produtos auxiliares, aspectos dos sistemas de transportes e logística, características da utilização, manuseio, embalagem, marketing e consumo, além das sobras e resíduos e sua respectiva reciclagem ou destino final (SOUZA, 2010).

Na prática da ACV na construção de edifícios, cria-se um banco de dados contendo o impacto ambiental de diferentes materiais de construção, podendo-se comparar a escolha de diferentes opções que atendam a mesma função e que provem numericamente qual é a mais ecológica.

Segundo Souza (2010), o assunto a ser estudado durante uma avaliação do ciclo de vida precisa ser especificado de forma a deixar evidente com qual produto se está lidando, qual quantidade, durante que período de tempo e com que função. Também se faz necessário especificar se o produto ou o processo produtivo mudaram nos últimos anos, ou se o seu método de produção varia de país para país. Juntamente, devem ser descritos itens como embalagem e comportamento do consumidor.

2.1.1.1 Energia Embutida ou Energia Incorporada

Segundo Oliveira (2009), energia embutida é toda energia consumida durante o ciclo de vida do material. A escolha dos materiais e componentes deve ser feita com base na análise de toda a energia consumida, sendo os melhores materiais os que apresentam menos consumo de energia. Quando analisado o consumo de energia de um material ao longo de seu ciclo de vida, deve ser considerada também a utilização da água necessária para produção desse material, lembrando-se que o consumo de energia pode variar de acordo com cada fabricante.

2.1.1.2 Emissão de CO₂

O CO₂ é o grande causador do efeito estufa, devido à sua capacidade de bloquear a saída das radiações infravermelhas da camada

troposférica. Quanto menor a emissão de CO₂ de um material durante o seu ciclo de vida, melhor a sua qualidade sobre o aspecto da sustentabilidade. Essa emissão precisa ser considerada desde a produção e transporte, até o seu descarte (OLIVEIRA, 2009).

2.1.1.3 Resíduos

Os edifícios geram resíduos durante todo o seu ciclo de vida, começando na produção dos materiais e componentes, na atividade dos canteiros, durante sua manutenção e até sua demolição. Entre esses resíduos estão substâncias tóxicas, poluentes e não biodegradáveis que geram grande problema para as cidades.

Segundo Oliveira (2009), a geração de entulho nas construções está diretamente ligada à mão de obra não qualificada, falta de gestão no canteiro e uso de materiais de construção desconformes com as Normas Técnicas (Figura 3).

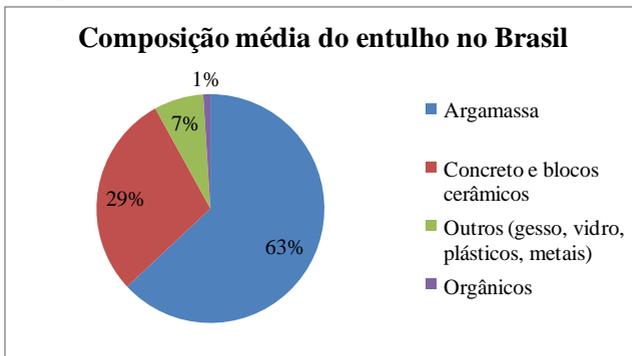


Figura 3 - Composição média do entulho no Brasil.

Fonte: Oliveira (2009).

Para Oliveira (2009), a racionalidade, a característica dos materiais e o uso de componentes padronizados e modulados também ajudam na diminuição do desperdício e geração de resíduos, desde que o projeto de edificação seja baseado nessa padronização.

Durante a obra, os resíduos dos materiais devem ser colocados em compartimentos separados para que possam ser coletados e enviados para reciclagem. A organização dos materiais na obra também é importante, devendo ser construídas proteções para evitar que materiais

como areia, terra e brita se espalhem, gerando desperdícios e se contaminando com matéria orgânica.

2.1.1.4 Transportes

Na maioria das construções ainda não é dada a devida importância ao fato de que um dos aspectos importantes para uma obra se tornar mais sustentável é a utilização de recursos próximos ao local da obra e de materiais que sejam facilmente adquiridos nas imediações.

Oliveira (2009) alega que a questão logística está diretamente relacionada à sustentabilidade, pois no transporte de mercadoria é queimada uma grande quantidade de combustíveis fósseis que geram dióxido de carbono e óxido de hidrogênio (causador da chuva ácida). Além disso, ele contribui para o aumento de tráfego nas rodovias e o conseqüente desgaste delas.

2.1.1.5 Aspectos socioeconômicos

Para que se tome a decisão a respeito de qual material deve ser utilizado em uma obra é necessário levar em consideração aspectos sobre a cultura e o poder econômico do local. Infelizmente, as implicações sobre o ponto de vista ecológico e os fatores ambientais ainda não são completamente considerados nas construções, prevalecendo, como preocupação principal, o lucro imediato.

Devido à complexidade envolvida na análise da eficiência de um material quanto aos aspectos de sustentabilidade, necessita-se de um banco de dados, pronto para consulta, contendo os aspectos sustentáveis dos produtos ao longo do seu ciclo de vida. Assim, o projetista pode saber qual é mais condizente com a edificação que está sendo projetada, de acordo com os aspectos da obra. Sempre é importante ressaltar que cada obra é diferente, pois é implantada em local diferente e possui necessidades diversas.

2.2 MATERIAIS CONSTRUTIVOS E SEUS ASPECTOS SUSTENTÁVEIS

Steele (1997) afirma que muito da arquitetura praticada nos dias atuais está focada na utilização de um mesmo setor da indústria de materiais de construção: o do aço, vidro e concreto. Isso ocorre devido às políticas expansionistas e o desejo de modernização a qualquer preço.

A seguir, é apresentada uma breve descrição dos materiais de construção comumente utilizados na construção civil e também na produção de painéis, enfatizando-se o aspecto de sustentabilidade ambiental.

2.2.1 Cimento / Concreto

O cimento é um pó fino, com propriedades aglomerantes, que endurece sob a ação da água. Por não ser um material natural, o cimento exige um processo de fabricação complicado e caro, com muitas consequências para o meio ambiente. Tais consequências podem ser facilmente identificadas na extração dos recursos naturais, que alteram significativamente a paisagem:

- na queima da clínquer, que exige altas temperaturas;
- no enorme volume de energia necessário durante todo o processo.

As principais matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento são calcário e argila. As fábricas sempre são localizadas próximas às minas de onde são extraídas essas matérias-primas, evitando um longo transporte. Porém, após o cimento estar pronto para consumo ele será transportado por longas distâncias até as usinas de concreto ou os pontos de venda, gerando grandes emissões de CO₂.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, após extraído o calcário da mina e realizada sua britagem, esse material e a argila seguem para o moinho de bolas, equipamento em que são misturados, ficando com a aparência de uma areia fina denominada “cru”. O material “cru”, em seguida, é levado para os silos de farinha crua, obtendo-se a homogeneização adequada para ir ao forno, local em que é transformado em “clínquer”. Para se obter o “clínquer”, base do cimento, a farinha crua é submetida ao alto forno a 1450°C, temperatura de fusão para virar “clínquer”. O forno é movido a óleo combustível e

não pode ser desligado. A temperatura no seu ponto mais quente pode chegar a 2000°C. Em seguida, o “clínquer” passa por um processo de moagem, juntamente com gesso e calcário, adicionados com a finalidade de controlar as reações de pega e endurecimento do cimento, sendo, dessa forma, finalizada a fabricação do cimento.

Conforme Oliveira (2009), para se formar o “clínquer”, ocorre calcinação do carbonato de cálcio (pedra calcária) transformando-se em silicato de cálcio na porção resfriada do forno. Durante esse processo é emitido dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera. A segunda reação, também dentro do forno, é a união de óxido de cálcio e de sílica para formar silicato dicálcico e silicato tricálcico. Nessa reação também são produzidas pequenas quantias de aluminato tricálcico e de ferro aluminato de cálcio.

De acordo com Stachera Jr e Casagrande Jr (2007), 1 t de clínquer equivale a 1 t de CO₂ e são produzidos mais de 2 bilhões t de clínquer por ano, responsáveis por 7% das emissões de CO₂ na atmosfera.

Tavares e Lamberts (2008) destacam que, entre as indústrias dos materiais mais usados na construção civil, a do cimento é a maior emissora de CO₂, pois, além do uso de combustíveis fósseis para geração de energia térmica, durante a produção de clínquer ocorrem emissões adicionais pela calcinação do calcário.

O concreto é constituído de cimento Portland, adicionado à água, areia e ao agregado (brita) e, algumas vezes, contém aditivos químicos para aumentar a eficiência do produto. De acordo com Oliveira (2009), o cimento perfaz um valor de 10 a 20% dessa mistura e, entre esses materiais, é o que mais consome energia para sua produção.

Resultados obtidos por Carvalho (2008) mostram a quantidade de materiais utilizada pelas indústrias de concreto em um ano:

$$\bullet \text{ Concreto} = \text{cimento} + \text{areia} + \text{brita} + \text{água}$$

12 bilhões t/ano	1 trilhão	1 trilhão	1 trilhão
	Lts./ano	Lts./ano	Lts./ano

Oliveira (2009), em contraposição a esses dados sobre o aspecto ambiental, afirma que o uso do concreto encontra defesa na sua maleabilidade e adaptação à enorme variedade de resultados plásticos, tornando-se símbolo do progresso ocidental, utilizado em construções em todo o mundo.

Na Tabela 3 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens do cimento, do concreto e dos agregados.

Tabela 3 - Aspectos ligados à sustentabilidade do cimento, concreto e agregados.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL			
		Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens
Concreto, cimento e agregados	Cimento e argamassa	Rebocos, emboço; Colas para assentamento de revestimentos; Impermeabilizantes; Entre outros.	- Variedade de soluções para construção; - Longa vida útil; - Alto grau de transferência da técnica; - Material que pode ser reaproveitado como agregado.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida moderada; - Desperdício na construção; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.	
	Concreto pré-moldado	Placas para lajes; Blocos para fundações; Peças estruturais; Pisos e revestimentos; Elementos vazados; Blocos de vedação; Tubulações e fossas pré-fabricadas.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Material que pode ser reaproveitado como agregado; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Volume grande e maior peso das peças; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida moderada; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.	
	Concreto armado moldado <i>in loco</i>	Placas e perfis; Esquadrias e grades; Estruturas leves; Calhas; Telhas para coberturas e chapas para revestimento e vedação vertical.	- Longa vida útil; - Liberdade de criação arquitetônica; - Material que pode ser reaproveitado como agregado; - Alto grau de transferência tecnológica.	- Volume grande e maior peso das peças; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Maior desperdício na construção; - Energia embutida moderada; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.	
Alternativas mais sustentáveis para o uso de concreto, cimento e agregados na construção de edifícios:					
1. Diminuir o volume de cimento utilizado na construção: pela escolha de materiais mais leves que diminuam as cargas na estrutura; e substituição do concreto e cimento por outro material menos impactante e que cumpra a mesma função;					
2. Dar preferência aos elementos pré-fabricados que diminuam os resíduos na obra e permitem racionalização de materiais;					
3. Dar preferência ao cimento CPIII, que é composto em 60 a 70% de subprodutos de outra indústria e possui menor energia embutida;					
4. Ver a possibilidade de substituir os agregados por RCD, sempre que possível.					

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

2.2.2 Blocos Cerâmicos / Solo Estabilizado

A indústria da cerâmica é uma das mais antigas do mundo. As cerâmicas são obtidas a partir de uma massa à base de argila, submetida a um lento processo de secagem, que após grande perda de quantidade de água é moldada e seca em estufa e levada a fornos e submetida à alta temperatura. De acordo com Isaia (2007), a Associação Nacional da Indústria Cerâmica emitiu dados de que existem no Brasil cerca de 5.500 empresas produtoras de cerâmica vermelha, que consomem cerca de 10.300.000 toneladas de argila por mês. A cerâmica vermelha obtém a cor avermelhada após a queima, devido à quantidade de óxido de ferro existente em sua composição.

Oliveira (2009) ressalta que as indústrias cerâmicas produzem gases poluentes devido às altas temperaturas necessárias nos fornos de produção, além de fazerem uso de combustíveis fósseis ou biomassa para queima dos componentes. Alerta também que na opção pelo solo estabilizado, além de não ser necessária a queima, como nas cerâmicas, os elementos podem ser retirados do próprio terreno onde a obra será realizada, utilizando-se a terra retirada na escavação para a implantação da edificação em alguns terrenos.

Isaia (2007) destaca que em países asiáticos, africanos e do Oriente Médio existem, ainda, cidades construídas quase que inteiramente em solo estabilizado. No Peru, hoje em dia, quase metade das moradias é feita desse material. No Brasil, Minas Gerais é um exemplo do bom uso que esse material pode proporcionar. As seguintes vantagens são destacadas na utilização do solo estabilizado: a disponibilidade; as propriedades térmicas superiores; a absorção e liberação de umidade mantendo o ambiente saudável; a geração mínima de poluição e baixo consumo energético no seu manuseio; a fácil reincorporação na natureza e a facilidade de gerar tecnologias adequadas.

Na Tabela 4 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens do solo estabilizado e dos blocos cerâmicos.

Tabela 4 - Aspectos ligados à sustentabilidade da Terra.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL			
		Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens
Terra	Solo estabilizado	Blocos ou tijolos para vedações; Paredes monolíticas portantes; Taipa, adobe; Piso com solo estabilizado compactado.	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser utilizado o solo das escavações, no próprio local; - Viabilidade econômica; - Baixa emissão de poluentes; - Bom desempenho térmico e acústico; - Incombustível; - Matéria-prima abundante; - Resíduos atóxicos e reutilizáveis; - Energia embutida baixíssima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exige experimentações, demanda maior tempo de obra e conhecimento sobre o material; - Reformas geram mais obra e demolições; - Aumento de carga nas fundações; - Baixa aceitação pela mão de obra; - Material sensível à umidade e a sulfatos. 	
	Cerâmica	Blocos e tijolos para paredes portantes ou de vedação; Revestimentos (pisos e azulejos); Telhas; Louças sanitárias.	<ul style="list-style-type: none"> - Culturalmente aceito e possui alta transferência tecnológica; - Viabilidade econômica; - Bom desempenho térmico e acústico; - Matéria-prima abundante; - Energia embutida baixa; - Incombustível; - Resíduos atóxicos e reutilizáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - CO2 embutido e emissões de NOx; - Uso de biomassa ou de combustíveis fósseis para a queima dos tijolos; - Grande número de indústrias informais. 	
Alternativas mais sustentáveis para o uso de terra na construção de edifícios:					
1. Dar preferência ao uso de solo estabilizado ao invés da cerâmica, pois há diminuição de energia embutida e emissão de poluentes;					
2. Caso haja escavações com grande quantidade de terra, procurar usar esse material na obra;					
3. Ao optar pela cerâmica, dar preferência a indústrias locais e com material de qualidade garantida.					

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

2.2.3 Gesso

O gesso, assim como o cimento e a cal, é um aglomerante inorgânico. Segundo Isaia (2007), o gesso é um aglomerante de baixo consumo de energia se comparado ao cimento e à cal, pois, enquanto a temperatura de processo do clínquer Portland é de 1450° C e a da cal de 800° C a 1100° C, a do gesso não ultrapassa 350° C, sendo somente os tipos especiais produzidos em temperaturas superiores.

O gesso é um material produzido por calcinação do minério natural gipsita e seu processo de produção, conforme Isaia (2007), envolve as seguintes atividades realizadas em sequência: i) extração do minério gipsita, britagem, moagem grossa e estocagem com homogeneização; ii) a secagem, a calcinação, a moagem fina e a ensilagem – a calcinação pode ser realizada em um único forno ou em dois fornos, a moagem e a seleção em frações granulométricas são realizadas em conformidade com sua utilização em construção ou moldagem; iii) armazenamento em silos para promover homogeneização e estabilidade, garantindo a qualidade do produto. O mesmo autor destaca, ainda, que devido ao fato do gesso ter um tempo de pega e endurecimento rápido, é comum a utilização de aditivos retardadores em conjunto para garantir uma maior flexibilidade na aplicação.

2.2.4 Madeiras

A maioria dos materiais construtivos utilizados atualmente é proveniente de fontes não renováveis. Contudo, a madeira se mostra como uma opção diferenciada, pela possibilidade de reposição na natureza. O desenvolvimento da madeira inicia, pelo princípio da fotossíntese, quando as substâncias minerais são transformadas em orgânicas, através da energia solar, naturalmente e sem gerar poluição (OLIVEIRA; WAGNER; GROHMANN, 1997). Os mesmos autores destacam aspectos positivos da madeira também para o desenvolvimento regional, mostrando que uma produção de 100.000 m³ de madeira geraria até 2.500 novos empregos diretos no campo.

Segundo Souza (2010), a floresta plantada mostra-se como uma grande aliada na busca de um maior equilíbrio ambiental, pois esta seria

uma forma sustentável de utilizar esse recurso e seria considerada um bem que poderia ser renovado, inúmeras vezes, no mesmo local. Cabe, entretanto, ressaltar que floresta plantada é diferente de área reflorestada, pois o reflorestamento ocorre em áreas que sofreram desmatamento anterior e que estão em recuperação.

Segundo Szucs (2009), no espaço de 1 ha, as florestas plantadas produzem em volume o que as florestas da mata nativa produzem em 10 ha. De acordo com Geraldo (2006), um metro cúbico de madeira é capaz de armazenar em média 0,8 a 0,9 toneladas de dióxido de carbono. Porém, a madeira precisa ser transformada em bens duráveis para promover o sequestro do carbono por longo tempo, pois, segundo Batista (2007), o seu apodrecimento ou combustão devolve o CO₂ ao meio ambiente. O corte e plantio de árvores em florestas plantadas criam um ciclo constante de retirada de CO₂ da atmosfera.

No Código de Moradas Sustentáveis do Reino Unido, apresentado pelo site “*Wood for Good*” e citado por Geraldo (2006) na Revista *Referência*, são elencados os seguintes aspectos positivos para o meio ambiente ao se usar madeira na construção civil:

- a madeira cresce naturalmente, ao contrário de outros materiais. Sua manufatura demanda pouquíssima energia quando manejada adequadamente;
- a madeira é um bom isolante, aumenta a eficiência térmica da construção, reduz custos energéticos e emissões de dióxido de carbono ao longo de sua vida útil (daí a relevância do tratamento preservativo correto em função dos usos e correspondentes classes de risco);
- a madeira pode ser reutilizada ou reciclada ao final de sua vida útil, nos projetos de edificações;
- ao final de sua vida útil, a madeira pode gerar energia, em substituição a combustíveis fósseis.

Em relação ao segundo aspecto, a seguinte citação é esclarecedora:

Na Alemanha é necessário a utilização de calefação no período de inverno, verificam-se que as construções em sistema leve de madeira, proporcionam o consumo de aproximadamente 50 Kw/h, enquanto que as em alvenarias tradicional

chegam a consumir 180 Kw/h para manter o ambiente aquecido (SZÜCS, 2009).

Oliveira (2009) cita que o aspecto positivo das construções em madeira é o fato de serem utilizados materiais que não se agregam, podendo ser facilmente desmontadas e remontadas, facilitando, com isso, a substituição de peças, o reuso do material e a ampliação da edificação. No entanto, apesar de todas as vantagens, um fator que ainda é muito discutido e que apresenta certa polêmica quanto ao uso da madeira é o seu tratamento, pois nele são utilizados materiais nada naturais. Segundo Oliveira (2009), preservantes como o CCA e CCB podem se desprender da madeira ao longo de sua vida útil e ocasionar uma contaminação da água, do solo ou das próprias pessoas que tenham contato com esse material.

Outro aspecto a ser considerado é a forma como a madeira é empregada na edificação: madeira roliça, serrada, laminada colada, entre outras. Esse emprego influenciará diretamente na quantidade de energia que será necessária para a confecção do produto.

Na Tabela 5 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens da madeira e bambu.

Tabela 5 - Aspectos ligados à sustentabilidade da madeira e bambu.

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Madeira	Madeiras nativas	Madeira roliça, serrada ou beneficiada para uso em peças estruturais; Esquadrias; Vedações; Pisos; Pérgolas e brises.	- Vida útil mais longa do que madeiras de florestas plantadas; - Recurso renovável e que mantém a biodiversidade; - Sequestro de CO ₂ ; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Praticamente sem emissão de poluentes; - Energia embutida baixa; - Resíduos atóxicos e biodegradáveis.	- Material combustível; - Baixa durabilidade natural; - Maior manutenção.
	Madeiras de floristas plantadas e Eucalipto	Madeira roliça, serrada ou beneficiada para uso em peças estruturais ou fôrmas; Madeira laminada colada; Chapas de OSB e MDF; Esquadrias; Vedações; pisos; pérgolas e brises.	- Recurso altamente renovável; - Sequestro de CO ₂ ; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Baixa emissão de poluentes; - Grande aproveitamento de matéria-prima; - Energia embutida baixa.	- Material combustível; - Menor resistência e durabilidade do material; - Plantio com monocultura restringe a biodiversidade; - Necessita tratamento com preservantes; - Maior manutenção; - MDF, OSB e madeira laminada colada podem conter formaldeído.
	Bambu	Peças estruturais; Vedações; Pisos; Pérgolas e brises; Chapas; Pisos; Vedações.	- Recurso altamente renovável; - Sequestro de CO ₂ ; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Praticamente sem emissão de poluentes; - Energia embutida baixa; - Resíduos atóxicos e biodegradáveis.	- Material combustível; - Plantio com monocultura restringe a biodiversidade; - Necessita tratamento com preservantes; - Maior manutenção.
Alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira na construção de edifícios:				
1. Dar preferência a madeiras que não necessitem tratamento de profundidade;				
2. Usar madeiras de reflorestamento certificadas e tratadas com sais de Boro (CCB), ao invés de CCA;				
3. Dar preferência ao uso de madeiras nativas ou bambu, de espécies pouco exploradas e naturalmente resistentes, cuja extração seja, preferencialmente, certificada;				
4. Dar preferência a madeiras de demolição, com cuidado de verificar o tratamento utilizado para protegê-la;				
5. Elaborar o correto detalhamento das peças, de forma a proteger das intempéries, aumentar sua durabilidade e diminuir o uso de preservantes;				
6. Dar preferência ao uso de troncos roliços, ou madeira com pouco beneficiamento;				
7. Evitar ou diminuir o uso de tratamentos que contenham Poluentes Orgânicos Persistentes, tais como: Creosoto, Pentaclorofenol, furanos, dioxinas.				

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

No plantio tanto da madeira como do bambu, aparece como desvantagem a monocultura, porque restringe a biodiversidade. Porém, é importante ressaltar que a monocultura dessas árvores deve ser vista como um setor do agronegócio, da mesma forma que a agricultura ou a pecuária, pois é um bem que está sendo plantado para ser consumido. Cabendo ao governo criar inventários que definam as áreas onde possa ser realizado o plantio dessas monoculturas.

2.2.5 Metais

Os materiais metálicos são substâncias inorgânicas que contêm um ou mais elementos metálicos. Segundo Isaia (2007), os materiais metálicos possuem diversas propriedades mecânicas, físicas e elétricas que os tornam uma classe de material adequada para diferentes aplicações na construção, com funções estruturais ou não estruturais.

2.2.5.1 Alumínio

Material que pode ser considerado como símbolo da ideia do progresso na arquitetura, desde seu surgimento durante o período modernista, no início do século XX. No entanto, a produção desse material pode ser vista como uma das mais extremas formas de abuso dos recursos ambientais. Para Tavares e Lamberts (2008), o processo de fabricação do alumínio é gerador de alta quantidade de CO₂ e demanda grandes quantidades de energia elétrica.

Oliveira (2009) destaca que a bauxita, matéria-prima utilizada na fabricação do alumínio, é um recurso mineral, extraído pela mineração do subsolo. Isaia (2007) cita que o processo de mineração da bauxita consiste nas seguintes etapas: remoção da vegetação e do solo orgânico; retirada das camadas superficiais do solo (argila e lateritas) e beneficiamento que consiste em britagem, lavagem do minério com água e secagem. Após ser extraído, o minério é triturado e misturado à soda cáustica. É, então, aquecido à temperatura de 1090° C, ou seja, observa-se também aqui um elevado consumo de energia. São necessários 6 kg de bauxita para produzir 1 kg de alumínio, o que consome aproximadamente de 24.900 a 303.255 Watts por kg.

Entretanto, o autor afirma que, quando o alumínio é reciclado, pode haver uma economia de 80% no consumo de energia na sua produção, porém, a reciclagem de alumínio não é um processo limpo, também gerando resíduos, produção de gases tóxicos e poluição de água corrente.

2.2.5.2 Aço

A indústria da construção é a principal consumidora de produtos derivados de óxido de ferro, a matéria-prima do aço. A fabricação do aço pode ser apontada como o maior indicador de desenvolvimento econômico de uma nação industrializada, porém os elementos utilizados na fabricação do aço são: óxido de ferro, pedra calcária e carvão mineral e, durante o processo de produção de cada um desses elementos, é necessário um uso intensivo de energia. Além disso, a quantidade de minério de ferro extraída é cinco vezes maior do que pode ser recomposto pela natureza, e durante a mineração dessa matéria-prima são gerados muitos resíduos (OLIVEIRA, 2009). É, também, explicado que o carvão é uma variedade betuminosa que, após ser extraído, é triturado, peneirado e pré-aquecido. Depois desses processos é formado o coque (derivado do carvão) que é aquecido e levado a diversos fornos para desoxigenação, sendo liberados diversos gases para a atmosfera. Após esse longo processo, o coque é lavado com água e conduzido à caldeira, onde são inseridos óxido de ferro (extraído por mineração) e pedra calcária (extraída por explosão de rocha calcária). Na caldeira, esses três materiais se agregam, passando por diversos processos de redução, até o produto final: uma liga de aço quente. Outros processos podem ainda ocorrer para o término da fabricação, pois dependendo do produto final que será fabricado, o aço pode ser moldado, cortado em chapas, placas e outros produtos (OLIVEIRA, 2009).

Na Tabela 6 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens dos metais: aço, ferro e alumínio.

Tabela 6 - Aspectos ligados à sustentabilidade dos metais.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL		
Tipos	Possibilidade de uso	Vantagens	Desvantagens	
Metais	Ferro	Placas; Perfis e barras; Esquadrias e grades; Peças estruturais; Pregos, parafusos e junções; Condutores elétricos.	- Menor custo se comparado a outros metais; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Vida útil menor e com maior manutenção do que outros metais; - Energia embutida alta; - Emissão de poluentes; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Matéria-prima não renovável.
	Aço	Placas; Blocos para fundações; Perfis e barras; Esquadrias e grades; Peças estruturais; Pregos, parafusos e junções; O aço inox ainda é utilizado em revestimento, mobiliário (bancadas e cubas) e utilitários de cozinha.	- Longa vida útil; - Liberdade de criação na arquitetura; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida alta; - Preço alto; - Matéria-prima não renovável.
	Alumínio	Placas e perfis; Esquadrias e grades; Estruturas leves; Calhas; Telhas para coberturas e chapas para revestimento e vedação vertical.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume e peso de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida alta; - Matéria-prima não renovável.
Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios:				
1. Se houver viabilidade econômica, dar preferência ao uso do aço inoxidável pela sua longa vida útil;				
2. Dar preferência ao uso de metais reciclados ou peças metálicas de reuso;				
3. O uso do metal é mais válido quando é aliado a soluções bioclimáticas, como brises ou esquadrias com vidros duplos.				

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

2.2.6 Plásticos

Os plásticos causam alto grau de degradação ambiental, pois são usadas substâncias tóxicas na sua fabricação e a matéria-prima utilizada não é renovável. Oliveira (2009) alerta que todos os termoplásticos são recicláveis. No entanto, essa reciclagem pode exigir um processo tóxico e dispendioso de energia. Assim, apenas pequena quantidade dos plásticos utilizados são reciclados, sendo o restante abandonado em aterros ou incinerados. Muitos são os derivados do plástico utilizados na construção civil, estando entre eles o politereftalato de etileno (pet), cloreto de polivinila (PVC), polietileno (PE), poliestireno (PS), poliestireno expandido (isopor), polipropileno (PP), plásticos termorrígidos. É, portanto, necessário analisar cuidadosamente o uso de tubos e conexões plásticas, como o PVC e CPVC, numa obra sustentável, pois com a reutilização de águas cinza e águas da chuva, um volume muito maior de material de tubulação poderá ser necessário (OLIVEIRA, 2009).

Na Tabela 7 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens dos plásticos.

Tabela 7 - Aspectos ligados à sustentabilidade dos plásticos.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL			
		Tipos	Possibilidade de uso	Vantagens	Desvantagens
Plásticos	PET	Conduítes; Telhas; Tubulações.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção, que envolve CFC; - Matéria-prima não renovável.	
	PVC	Telhas e forros; Calhas; Mobiliário; Tubulações; Materiais elétricos; Esquadrias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Alta emissão de poluentes: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC, ácido clorídrico, monovinil cloreto, dicloreto de etileno, ftalatos e dioxinas; - Emissão de VOC na pós-ocupação; - Energia embutida muito alta; - Matéria-prima não renovável; - Reciclagem difícil, custosa e poluidora.	
	PE	Conduítes, e outros materiais elétricos; Embalagens.	- Baixo custo; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Energia embutida alta; - Matéria-prima não renovável.	
	OS	Materiais elétricos; Isolantes térmicos.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo;	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção; - Reciclagem difícil e poluidora; - Matéria-prima não renovável.	
	PP	Materiais elétricos; Tubos e conexões; Telhas; Caixas de água.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção; - Matéria-prima não renovável.	
	Termorrígidos	Tintas e vernizes; Colas e resinas; Melaminas.	- Longa vida útil.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na fabricação, que pode envolver: CO ₂ , CO, ácido clorídrico, dioxinas e furanos; - Emissão de VOC na pós-ocupação; - Matéria-prima não renovável e não reciclável.	
	Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios:				
1. Diminuir o uso dos plásticos nas edificações, principalmente o PVC e os termorrígidos;					
2. Dar preferência ao uso de plásticos menos tóxicos e mais recicláveis como PE, PP e PET;					
3. O uso do plástico é mais válido quando é aliado a soluções bioclimáticas, como brises ou esquadrias com vidros duplos.					

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

2.2.7 Vidro

De acordo com Isaia (2007), o vidro chegou para ficar desde a segunda metade do século XIX, sendo um dos mais importantes e versáteis materiais utilizados por arquitetos e engenheiros. Atualmente, existe no mercado uma enorme gama de modelos de vidros: vidros temperados, vidros refletivos, vidros refletivos de alta *performance*, vidros laminados, vidros inteligentes ou eletrônicos. Numa edificação, o vidro é um material de grande importância, pois é através dele que se dá a entrada de luz natural e parte do calor para o ambiente e, por isso, gera influência direta no conforto térmico e luminoso do usuário da edificação.

Na fabricação do vidro comum são utilizados areia, carbonato de sódio e sulfatos como matéria-prima, o processo empregado necessita de grande quantidade de energia para sua produção, a fim de atingir as altas temperaturas que o processo de queima exige.

Na Tabela 8 estão dispostas as possibilidades de uso, as vantagens e desvantagens dos vidros.

Tabela 8 - Aspectos ligados à sustentabilidade dos vidros.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL		
Vidro	Tipos	Possibilidade de uso	Vantagens	Desvantagens
	Comum	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário.	- Viabilidade econômica; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Material atóxico; - Matéria-prima abundante; - Facilidade de desmonte, corte e reaproveitamento das peças.	- Vida útil menor que outros vidros; - Energia embutida moderada; - Emissão de poluentes na fabricação.
	Temperado	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário e divisórias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício; - Matéria-prima abundante.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Energia embutida alta; - Material não reciclável, resíduos não biodegradáveis.
	Laminados e refletivos	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário e divisórias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício; - Matéria-prima abundante; - Maior eficiência no controle das radiações solares.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Energia embutida alta; - Custo alto; - Material não reciclável, resíduos não biodegradáveis.
Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios:				
1. Dar preferência ao uso de vidro comum reciclado;				
2. Aliar as estratégias bioclimáticas com a escolha do vidro;				
3. Evitar o uso de materiais de fibra de vidro.				

Fonte: Oliveira (2009).

2.2.8 Tintas, Vernizes, Lacas e Esmaltes

As tintas, vernizes, lacas e esmaltes devem ser pontos de preocupação numa obra que pretenda atender a critérios de sustentabilidade, pois a maioria das tintas e vernizes disponíveis no mercado possui solventes acrílicos que liberam VOC (*Volatile Organic Compound*) tanto na aplicação, como durante a vida útil do edifício. Os VOC são prejudiciais à saúde e um dos responsáveis pela poluição urbana.

Atualmente, já podem ser facilmente encontradas tintas e vernizes à base de água que mesmo apresentando, às vezes, um custo um pouco maior, diminuem consideravelmente a quantidade de VOC que a edificação vai emitir. Segundo Oliveira (2009), a escolha da tinta que será utilizada, e principalmente sua cor, afeta o ser humano tanto em aspectos psicológicos, como em relação ao conforto ambiental, pois o entorno da edificação é afetado pela absorção ou reflexão das radiações, principalmente solares.

Na Tabela 9 estão dispostas as possibilidades de uso, vantagens e desvantagens das tintas, vernizes, lacas e esmaltes.

Tabela 9 - Aspectos ligados à sustentabilidade das tintas, vernizes, lacas e esmaltes.

		USO MAIS SUSTENTÁVEL		
Tipos		Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens
Tintas, vernizes, lacas e esmaltes	Tintas PVA	Revestimento de tetos e paredes de alvenaria.	- Prolongam a vida útil da edificação; - Baixa emissão de VOC.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ e VOC; - Emissão de VOC durante o uso da edificação; - Podem conter metais pesados; - Resíduos poluentes; - Matéria-prima não renovável.
	Tintas acrílicas		- Prolongam a vida útil da edificação; - Tintas acrílicas podem ser fabricadas a partir de reciclagem de PET.	
	Tintas à base de cal		- Prolongam a vida útil da edificação; - Matéria-prima abundante; - Nenhuma emissão de VOC; - Promove a troca de ar e umidade pelas paredes da edificação.	
	Esmaltes e vernizes acrílicos	Revestimento e acabamento com proteção para madeiras e metais.	- Prolongam a vida útil dos materiais;	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Emissão de VOC; - Resíduos poluentes, os resíduos do poliuretano contêm POP; - Matéria-prima não renovável e não reciclável.
	Vernizes poliuretânicos			
	Esmalte e vernizes à base de água		- Baixa emissão de VOC; - Maior rapidez de secagem e facilidade de aplicação.	
	Stains	Revestimento e proteção para madeiras.	- Prolongam a vida útil da madeira; - O acabamento penetra nas fibras da madeira, garantindo melhor proteção.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Podem envolver o uso de VOC e pesticidas perigosos; - Matéria-prima não renovável.
Alternativas mais sustentáveis para o uso de tintas, vernizes, lacas e esmaltes na construção de edifícios:				
1. Dar preferência aos acabamentos à base de água e evitar os que possuem hidrocarbonetos aromáticos, formaldeído, benzeno ou outro VOC ou POP;				
2. Utilizar tintas com certificação que garantam o menor conteúdo de substâncias tóxicas ou prejudiciais;				
3. Dar preferência a tintas com conteúdo reciclado e que são fabricadas com SGA ou de acordo com normas ISO.				

Fonte: Oliveira (2009), adaptado pela autora.

2.3 BAMBU

Existem no mundo cerca de 180 gêneros e cinco mil espécies de bambu. No Brasil, segundo Figueiras & Gonçalves (2004), há ocorrência de 34 gêneros e 232 espécies nativas de bambu. O bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, originário da China, é bastante encontrado pelo país e possui colmos grossos de coloração verde. Sua variação *vittata*, mais conhecida como bambu brasileiro ou bambu imperial, possui coloração verde e amarela.

O gênero *Phyllostachys* é o mais variado, com grande número de espécies, sendo *Phyllostachys aurea* a mais conhecida em todo o mundo. O bambu mossô ou *Phyllostachys pubescens* é muito utilizado na China na obtenção de brotos comestíveis e na fabricação de laminados para pisos e painéis.

O maior bambu de todos pertence à espécie *Dendrocalamus giganteus* e seus colmos podem atingir mais de 30 metros de altura.

O gênero *Guadua* é de grande importância econômica em países como Equador e Colômbia, pois possui espécies resistentes e excelentes para o uso na construção civil, como o *Guadua angustifolia*, conhecido pela característica de apresentar os nós brancos.

O *Inbar – International Network for Bamboo and Rattan* ou Rede Internacional para o Bambu e Ratan considera prioritárias dezenove (19) espécies de bambu, conforme pode ser observado na Tabela 10, com base em sua utilização, cultivo, processamento, recursos genéticos e características relativas ao meio ambiente, solo e clima. Entre essas, quatorze (14) se encontram adaptadas às condições de solo e clima do Brasil, são elas: *Bambusa blumeana*, *Bambusa textilis*, *Bambusa tulda*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus asper*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Dendrocalamus strictus*, *Gigantochloa apu*, *Gigantochloa Levis*, *Guadua angustifolia*, *Melocanna baccifera*, *Phyllostachys pubescens* e *Thyrsostachys siamensi*.

Tabela 10 - Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR.

Espécie	Valor			Manejo	Clima e Ecologia		Recursos Genéticos				
	C	RI	E		CL	SL	D	S	IV	T	F
<i>Bambusa bambus</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	M	M	H
<i>B. blumeana*</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	H	H	H
<i>B. polymorpha</i>	+	+	-	D	h,d	r,m	H	H	M	H	H
<i>B. textilis*</i>	+	++	+	D	st	r,m	M	L	H	H	L
<i>B. tulda*</i>	+	++	+	D	h,d	r,m	H	M	H	H	H
<i>B. vulgaris*</i>	-	-	++	D	h,d,s	r,m,p	L	L	L	L	L
<i>Cephalostachyum pergracile</i>	+	++	+	W	h,d	m	M	L	M	H	M
<i>Dendrocalamus asper*</i>	++	+	++	D	h,d	r	H	H	M	H	H
<i>D. giganteus*</i>	+	+	+	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>D. latiflorus*</i>	++	+	+	D	h	r	M	L	M	H	L
<i>D. strictus*</i>	++	+	++	D	d,s	m,p	M	L	L	H	M
<i>Gigantochloa apus*</i>	+	++	++	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>G. levis*</i>	+	++	++	D	h	r	H	L	H	H	H
<i>G. pseudoarundinaria</i>	++	+	+	D	h,d	r	M	L	H	H	L
<i>Guadua angustifolia*</i>	++	++	++	W	h	r,m	H	H	H	H	H
<i>Melocanna baccifera*</i>	+	++	+	W	h	r	H	M	H	H	M
<i>Ochilandra</i>	+	+	+	W	h	r	H	H	M	H	H
<i>Phyllostachys pubescens*</i>	++	++	++	D	t	r,m	M	M	L	L	L
<i>Thyrsostachys siamensis*</i>	++	++	++	D	h,d	r	M	M	L	H	L
<i>Legenda</i>											
* espécies existentes no Brasil											
Valor:	C = Potencial para comercialização										
	RI = Indústria Rural ++ (alto); + (médio); - (baixo)										
	E = Regenerador ambiental										
Manejo:	D = Domesticado										
	W = Selvagem										
Clima e Ecologia	CL = Clima: h (trópicos úmidos); d (trópicos secos);										
	st (subtropicais); s (semi-árido); t (temperado)										
	SL = Solo: r (rico); m (médio); p (pobre)										
Recursos genéticos:	D = Desgaste genético										
	S = Necessidade de pesquisas sobre armazenamento de sementes										
	IV = Necessidade de pesquisas sobre reprodução em vitro										
	T = Necessidade de maiores transferências										
	F = Necessidade de levantamentos futuros										
H (alto) – M (médio) – L (baixo)											

Fonte: Pereira e Pereira Neto (1996) *apud* Barelli, 2009.

O bambu possui um grande potencial ambiental, pois é uma gramínea ideal para ser utilizada no reflorestamento. Segundo Jaramillo (1992), o bambu é o recurso natural que é renovado em menor tempo, não havendo nenhuma espécie florestal que possa competir em

velocidade de crescimento e aproveitamento por área plantada. Seu plantio pode ser utilizado em áreas degradadas, na recuperação do solo, para compor barreiras naturais contra erosão, deslizamento e como barreira acústica nos meios urbanos. O aumento da umidade relativa do ar na região em que o bambu é plantado gera suporte para o crescimento de espécies arbóreas nativas. Também deve ser ressaltado o fato do bambu ser um excelente sequestrador de carbono, gerador de oxigênio e não precisar de replantio, pois o bambu, após a poda, continua a brotar anualmente, sem necessidade de replantio.

Pereira (2008) cita que, além do bambu ser um material de fonte renovável e uma excelente alternativa na renovação do oxigênio, reciclagem da água de rios e lagos e limpeza de elementos nocivos do solo, ele atinge sua maturação num tempo relativamente curto, estando em condições de ser extraído com três anos, no caso de algumas espécies. Além disso, o bambu, por ser uma matéria-prima abundante, de fácil manejo e possuir grande potencial ambiental, mostra-se como uma alternativa tecnológica para a construção. Porém, a utilização do bambu em construção, no Brasil, ainda é pouco representativa e pouco frequente, principalmente devido à falta de conhecimento sobre sua utilidade, resultados de pesquisas e também pela insegurança da população em utilizar materiais alternativos, o que gera preconceito em relação ao seu uso.

O bambu alcança a resistência necessária para ser utilizado na construção, a partir dos três anos, quando atinge a maturidade. A cor, a altura total, a distância entre os nós, o diâmetro do mesmo e a espessura da parede dependem da espécie, do período e idade do corte do bambu.

Assim como a madeira das árvores, o bambu é um material que está sujeito ao ataque de fungos e insetos e, se não for devidamente tratado, terá uma vida útil aproximada de um a três anos. Existem métodos tradicionais e químicos para o tratamento do bambu. Os tradicionais subdividem-se em: maturação ou cura no local da colheita, cura por imersão, por fogo e por fumaça. Os químicos podem ser dos tipos oleosos, oleossolúveis, imersão em solução de sais hidrossolúveis e substituição de seiva por sais hidrossolúveis (AZZINI; BERALDO, 2001).

Entre os métodos tradicionais, o tratamento com fogo que se utiliza de uma fonte de calor, como um maçarico, mostra-se bastante eficaz, porém trabalhoso. O bambu “defumado” pode ser obtido introduzindo os colmos em uma estufa ou compartimento que tenha fogo e fumaça agindo sobre eles. Segundo pesquisadores, a defumação

modifica o sabor do bambu, tornando-o menos atrativo para os agentes deterioradores. De acordo com a bióloga colombiana Ximena Lodoño, o óleo resultante dessa queima que aparece na superfície dos colmos é chamado ácido pirolenhoso e pode ser reutilizado como fonte de fumaça, resultando num método de tratamento do bambu bastante eficaz. Outro método tradicional muito utilizado é a fervura em água, por um período de 15 a 60 minutos. Segundo o *site* Bambu Brasileiro, os fornecedores de bambu da região serrana do Rio de Janeiro costumam passar um pano embebido de óleo diesel no bambu antes de ferver. A soda cáustica também é recomendada para esse tipo de tratamento, utilizada numa proporção de 1:10 (1 parte de soda cáustica para 10 partes de água).

Os métodos de tratamento químico do bambu são considerados mais eficazes. Entre os hidrossolúveis, o produto químico preservativo mais utilizado é o ácido bórico. Os colmos podem ser tratados com esse produto ou com solução do mesmo por imersão ou por pressão, através de uma bomba de ar comprimido (método *boucherie*) que fará a solução penetrar através dos colmos e fibras do bambu, ocasionando a substituição da seiva. Após receber o tratamento, o bambu pode ser utilizado em sua forma natural (em colmo) ou ser processado (laminado).

Souza (2004) sintetiza na tabela a seguir (Tabela 11) vantagens e desvantagens da utilização do bambu, como também propriedades mecânicas e físicas do bambu.

Tabela 11 - Vantagens, desvantagens do bambu.

Vantagens:
<ul style="list-style-type: none"> • Abundância que leva ao baixo custo e à economia; • Não poluente; • Baixo impacto ambiental; • Renovável; • Beleza estética; • Ecológico; • Prático, podendo ser associado a outros materiais; • Crescimento rápido; • Não precisa ser replantado após o corte; • Produz mais ou menos 20 toneladas por hectare; • Leve (devido ao baixo peso específico e seção circular oca); • Fácil transporte e armazenamento; • Boa resistência e flexibilidade; • A própria planta (o bambuzal) ajuda na contenção do terreno em casos de erosão e até mesmo em terremotos.

Desvantagens:
<ul style="list-style-type: none"> • Quando muito seco, pode pegar fogo; • Apodrece se ficar em constante contato com umidade; • Está propenso ao ataque de insetos e cupim; • Não tem uma perfeita linearidade; • Tem tendência a rachar, fissurar e esmagar; • Pode contrair-se quando usado no concreto armado.

Fonte: Souza (2004), adaptado pela autora.

Propriedades mecânicas e físicas do bambu:

- Alta resistência à tração, podendo chegar a 370 Mpa em determinadas espécies;
- Resistência à compressão 30% menor que à tração (entre 20 e 100 Mpa);
- Resistência à flexão entre 30 e 150 Mpa;
- Quanto maior o teor de umidade, menor a resistência ao cisalhamento;
- Cisalhamento transversal é de aproximadamente 32 Mpa;
- Cisalhamento longitudinal de aproximadamente 8 Mpa;
- A parte externa do colmo é mais resistente devido à concentração de lignina, substância aglutinante;

- A parte interna é mais concentrada em amido e é menos resistente;
- O diafragma (nó) aumenta a resistência da cana contra flexão e ruptura;
- Há variação de espessura ao longo da cana: quanto mais próxima da base, mais espessa;
- O bambu está sujeito a variações dimensionais causadas pela absorção de umidade;
- Há variações de acordo com a espécie, plantio, corte, cura, secagem e estocagem;
- Mais resistente à tração do que à compressão devido ao sentido longitudinal das fibras;
- A durabilidade, rendimento estrutural e eficiência dependem diretamente da secagem e dos tratamentos aplicados;
- A maior desvantagem é a falta de padronização;
- É um bom isolante acústico e térmico;
- Tem aparência de material acabado;
- Resistência ao fogo (mais resistente quando aplicado na vertical do que na horizontal) devido ao teor de sílica, sua grande densidade e ao sentido das fibras.

2.3.1 Bambu na Arquitetura

Países da Ásia e da América Latina, como Equador, Venezuela e Colômbia, utilizam o bambu na construção civil há milhares de anos. Na Figura 4 estão ilustrados exemplos de construções que utilizam o material bambu.





Figura 4 - Bambu na arquitetura.

Fonte: <<http://www.arq.ufsc.br>>.

O bambu, conhecido entre os orientais como amigo da natureza e a planta dos mil usos, atualmente é muito usado no Japão e Hong Kong na confecção de andaimes utilizados na construção de arranha-céus (Figura 5).



Figura 5 - Andaimes de bambu.

Fonte: Hidalgo - López (2003).

As informações apresentadas até aqui sobre as vantagens e desvantagens do uso dos materiais tradicionalmente empregados na construção civil destacam informações sobre a possibilidade e

viabilidade do emprego da madeira e do bambu como alternativas para construções sustentáveis. Nessa direção, uma vez que a pesquisa realizada utiliza painéis de bambu com madeira, a seguir são apresentadas informações sobre as possibilidades de emprego de painéis de bambu e madeira como componentes construtivos e a utilização de fibras de bambu como reforço de ligações.

O bambu naturalmente é um material considerado leve, resistente, versátil, com adequadas características físicas e mecânicas. Ele pode substituir muitos materiais na fabricação de vários produtos e pode ser usado na construção civil, na arquitetura e no design. Do bambu são produzidos painéis com excelentes qualidades estruturais e estéticas provenientes de matas plantadas, e produzidos através de processos limpos e ecologicamente corretos (MOIZÉS, 2007).

2.4 PAINÉIS

Após a Segunda Guerra Mundial, o continente europeu possuía grande déficit habitacional e necessidade de construções com maior rapidez. Segundo Von Kruguer (2000), isso possibilitou o desenvolvimento mais intenso de técnicas de painéis com o uso de diferentes materiais, como painéis em gesso acartonado, concreto celular e poliestireno expandido.

Teixeira (2006) acredita que a falta de domínio da tecnologia da pré-fabricação no Brasil, aliada a alguns fatores culturais, serviu como obstáculo para o desenvolvimento e maior utilização de painéis pré-fabricados, uma vez que se faz necessário para a sua utilização o treinamento de mão de obra, a compatibilização dos projetos existentes em uma construção e o planejamento detalhado de todas as etapas do processo construtivo da edificação. O mesmo autor cita o Arquiteto João Figueiras Lima (Lelé) como uma referência no Brasil no que diz respeito ao estudo e desenvolvimento de sistemas construtivos industrializados, pois acredita que esse arquiteto mantém uma linha de pesquisa de desenvolvimento de projeto e aplicação de métodos experimentais que valoriza o potencial da industrialização como meio

privilegiado para viabilizar a modernização e combater o déficit de equipamentos e construções no país.

Painéis que utilizam materiais como o cimento, o gesso acartonado, a argamassa armada, entre outros, têm sido muito empregados nas construções. Os painéis de gesso acartonado são compostos por chapas leves, produzidas industrialmente com o miolo de gesso envolto por cartão (acartonado), com chapas estruturadas por perfis metálicos ou de madeira, podendo ser fixas ou desmontáveis. Esses painéis devem ser montados somente após a elaboração e compatibilização de todos os projetos, inclusive os hidráulicos e elétricos, para que sejam feitas as aberturas das passagens de dutos. Também devem ser previstos e especificados nos projetos, reforços para a fixação de estantes, tanques, pias e bancadas.

2.4.1 Painéis de Bambu

Nesta dissertação, o primeiro estudo focaliza o desempenho do bambu em painéis de bambu com madeira com o objetivo de verificar a viabilidade da disseminação do uso desses painéis, tanto por atenderem a critérios de sustentabilidade quanto por atenderem aos esforços solicitados na construção civil.

Os painéis de divisórias, vedação e estruturais são considerados como alguns dos principais componentes construtivos das edificações. Os fechamentos verticais feitos com painéis de bambu podem ser projetados e executados de diversas maneiras, com técnicas construtivas distintas. Eles podem utilizar: apenas bambu; bambu e madeira; bambu, madeira e cimento; bambu e cimento; bambu, madeira e solo estabilizado; bambu e solo estabilizado.

Esses painéis podem ser usados de forma estrutural, como vedação, ou apenas decorativa, podendo ser utilizados, também, como paredes externas, internas ou muros.

A seguir serão mostrados alguns dos modelos mais utilizados de painéis.

2.4.1.1 Painéis Tradicionais de Bambu

a) Painéis de bambu estacado

Segundo Teixeira (2006), essa é a técnica mais simples. As varas de bambu são divididas alternadamente dentro do espaço e formam um importante elemento construtivo de fechamento, podendo ser colocadas verticalmente, horizontalmente ou entrelaçadas (Figura 6).

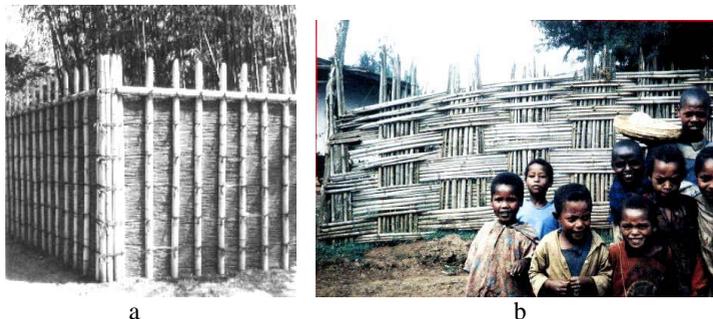


Figura 6 - (a) Pannel com varas estacadas verticalmente; (b) Pannel feito de bambus estacados nos dois sentidos.

Fonte: Hidalgo - López (2003) e Vélez (2000) *apud* Teixeira (2006).

b) Painéis de bambu feitos de esteira

De acordo com Teixeira (2006), esses painéis são fechamentos verticais feitos de bambu formando uma esteira. Esse modelo de arquitetura de bambu pode ser facilmente encontrado na costa do Equador (Figura 7).



Figura 7 - Casa feita de bambu com o uso das esteiras.

Fonte: Hidalgo - López (2003).

c) Painéis feitos de esteiras com desenhos decorativos

Os painéis de bambu artesanais feitos de esteiras trançadas e decoradas podem ser utilizados como fechamento vertical e para a produção de portas e janelas, ficando aparentes na edificação (Figura 8).

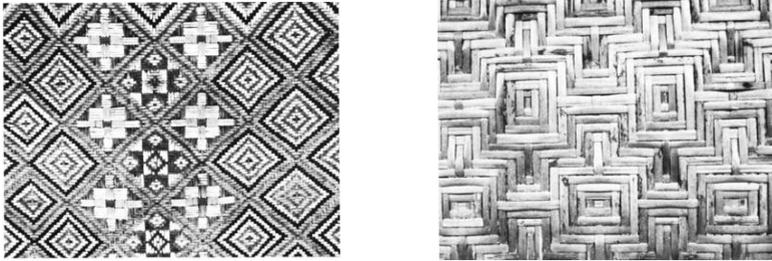


Figura 8 - Painéis de bambu feitos com esteiras.

Fonte: Hidalgo - López (2003).

d) Painéis vazados de bambu

São painéis que visam o preenchimento das estruturas das paredes com feixes ou fibras de bambu. Vazados ou não, esses painéis são ricos em detalhes que podem ser trabalhados das mais diversas maneiras, como o ilustrado na Figura 9 (Projeto do arquiteto Ruy Ohtake em Ubatuba-SP).



Figura 9 - (a) Pavilhão do Menino Pescador, Centro Cultural O Menino e o Mar; (b) Detalhe do painel de bambu trançado, utilizado como vedação.

Fonte: Ohtake (1998).

e) Painéis de bambu preenchidos com solo estabilizado

As estruturas construídas de bambu podem ser preenchidas ou simplesmente rebocadas com barro ou argila. Este tipo de painel pode ser elaborado de várias formas, a forma mencionada por Teixeira (2006) utiliza bambus inteiros (*guadua*) no interior da estrutura e ripas de madeira ou bambu são fixadas horizontalmente nos lados internos e externos do bambu. A estrutura é, então, preenchida com solo estabilizado, que pode ser misturado com palhas ou fibras naturais (Figura 10).

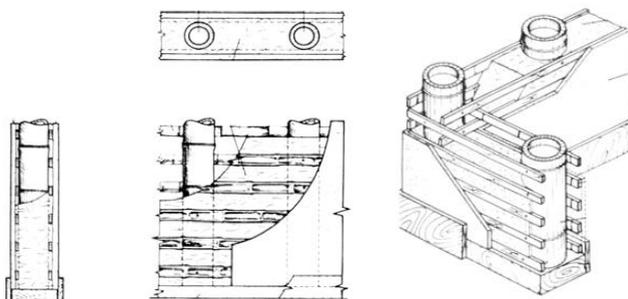


Figura 10 - Detalhes construtivos dos painéis preenchidos com barro.

Fonte: Hidalgo - López (2003).

f) Painéis do tipo bahareque com esteiras duplas

Essa técnica se apresenta como uma solução tecnológica do espaço construído por muitas culturas milenares (TEIXEIRA, 2006). São painéis formados por uma estrutura de bambu ou madeira, vedada por esteiras de bambu, tanto na parte externa como na interna. Em seguida, os painéis são argamassados e recebem pintura como acabamento final (Figura 11).

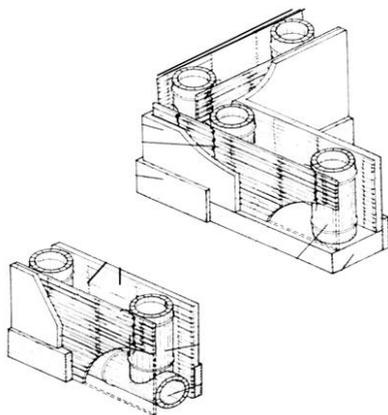


Figura 11 - Detalhes construtivos dos painéis do tipo bahareque.
Fonte: Hidalgo - López (2003).

g) Painéis do tipo *tendinous* ou tencionados

De acordo com Hidalgo - López (2003), é um painel com estrutura de bambu, semelhante a uma moldura (formada de base inferior, superior e lateral), espaçada de 1,20 em 1,20 metros. Em seguida, arames farpados são fixados horizontalmente ou diagonalmente entre as molduras. Aplica-se então uma tela ou tecido grosso, feita de juta ou outra fibra vegetal, facilitando a aplicação da argamassa de revestimento (Figura 12).

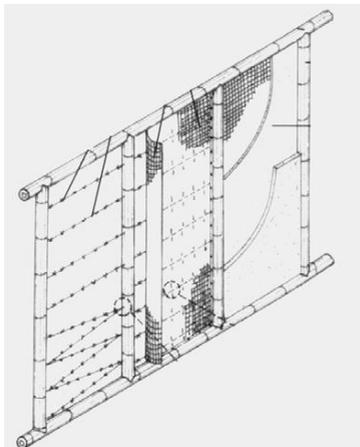


Figura 12 - Detalhe construtivo dos painéis do tipo *tendinous* ou tencionados.
Fonte: Hidalgo - López (2003).

h) Painéis com colmos inteiros de bambu

O quadro do painel e as aberturas são feitos em madeira, os colmos de bambu são utilizados como montantes posicionados com uma distância entre 400 e 500 mm entre eles, essa distância varia de acordo com a grossura do colmo (Figura 13).



Figura 13 - Estrutura do painel.
Fonte: Hidalgo - López (2003).

Após a estrutura estar pronta, são fixadas aos colmos esteiras de bambu, utilizando pregos e arame galvanizados (Figura 14).

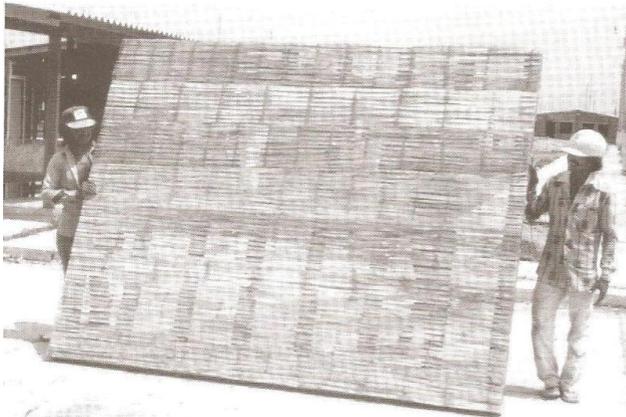


Figura 14 - Painel finalizado.
Fonte: Hidalgo - López (2003).

2.4.1.2 Painéis de Bambu Colados

Os painéis de bambu que utilizam adesivos (cola) são formados normalmente por partículas, pó, lascas, lâminas e ripas, e são produzidos utilizando-se adesivos à base de ureia formaldeído, ureia melamina formaldeído, fenol formaldeído, entre outros (Figura 15).



Figura 15 - Lâminas, lascas, ripas ou partículas: amostras de material empregado nos painéis.
Fonte: Moizés (2007).

2.4.1.2.1 Estrutura dos painéis de bambu laminados

Segundo Moizés (2007), estruturalmente, esses painéis podem ter uma ou mais camadas, com diferentes formatos, direções e disposições das ripas, lâminas ou tiras que podem ser coladas

lateralmente na vertical e horizontal, na mesma linha cola (Figura 16- a2, b2) ou não (Figura 16- a3, b3). Podem também ser feitos com ripas coladas em direções invertidas (contraplacados); ou entrelaçados (esteiras), como mostra a Figura 16 (c e d). Ele assinala que, na composição dos painéis e peças, o material empregado e a disposição das tiras ou ripas definirão as características estruturais do produto final.

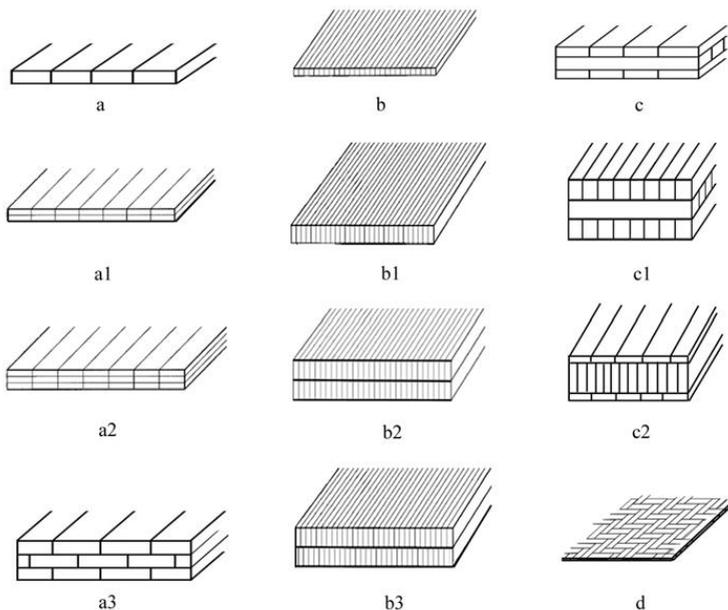


Figura 16 - a, a1, a2, a3) Painéis de ripas coladas na horizontal; b, b1, b2, b3) Painéis com ripas coladas na vertical; c, c1, c2) Painéis com ripas coladas em direções invertidas (contraplacados); d) Painéis com tiras entrelaçadas.

Fonte: Moizés (2007).

2.4.1.2.2 Cores e tonalidades obtidas a partir do processamento dos painéis de bambu

De acordo com Moizés (2007), os painéis podem variar de cor e tonalidades, dependendo das espécies e do processo final de fabricação. Eles podem ser em cores naturais (Figura 17) ou peças descoloridas ou carbonizadas.



Figura 17 - Painéis com revestimento de lâminas naturais.
Fonte: MOIZÉS (2007).

a) Painéis e Peças Descoloridas (*Bleaching*)

O processo de descolorir com substâncias químicas, através do cozimento, remove a lignina das polpas, tiras ou lâminas de bambu (MOIZÉS, 2007). As soluções normalmente utilizadas nesses processos são o dióxido de cloro, hipoclorito de sódio e peróxido de hidrogênio. No tanque, imersas em soluções a altas temperaturas, as tiras de bambu são descoloridas em porcentagens que dependem do tempo e da concentração dessas soluções (Figura 18).



Figura 18 - Processo de descolorir (*Bleaching*) tiras de bambu.
Fonte: Moizés (2007).

Segundo o mesmo autor, o grande volume de água utilizado nesses processos de branqueamento e o despejo de afluentes contaminados por descarte dessas águas residuárias contendo organoclorados constituem um dos mais sérios problemas ambientais do setor de celulose e papel. Porém, o peróxido de hidrogênio, também conhecido como água oxigenada, pode substituir efetivamente o dióxido de cloro utilizado, pois não forma os organoclorados, o que muito

contribui para o controle ambiental. Na Figura 19 é possível observar a lâmina de bambu descolorida.



Figura 19 - Lâminas de bambu descoradas, alvejadas (*Bleaching*).

Fonte: Moizés (2007).

b) Painéis Carbonizados

A carbonização do bambu é utilizada para mudar a cor natural para uma coloração mais escura. O aquecimento das peças provoca o escurecimento do amido presente nas células de parênquima (Figura 20).



Figura 20 - Forno ou caldeira para a carbonização das ripas, China.

Fonte: Marco Pereira (2000) *apud* Moizés (2007).

Para Moizés (2007), a ação de carbonizar possibilita a obtenção de tons diferentes que não podem ser precisamente controlados, mas alcançam cores nos tons do âmbar, marrom ou negra (Figura 21).



Figura 21 - Lâminas ou painéis carbonizados.
Fonte: Moizés (2007).

2.4.1.2.3 Painéis de bambu que utilizam cola: amostras e aplicações

I. PAINÉIS DE LAMINADOS E RIPAS

a) Painéis ou peças de Bambu Laminado Colado (BLC, *Bamboo Laminated Glued*)

O Bambu Laminado Colado (BLC) é produzido com a mesma tecnologia dos compensados de madeira, podendo ser produzido com diversos tipos de adesivos, como aqueles à base de ureia formaldeído e ureia melamina (Figura 22).

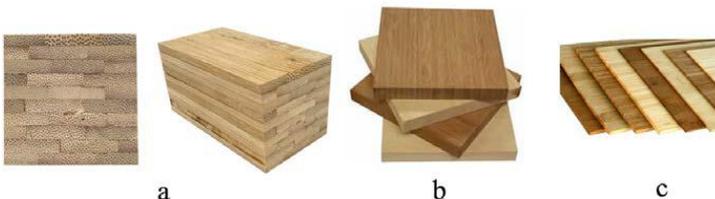


Figura 22 - a) Bambu laminado colado; b) e c) lâminas.
Fonte: Moizés (2007).

O BLC, por sua resistência e flexibilidade, pode ser facilmente aplicável no *design* de produtos interiores e construção civil. Podendo

ser usado na fabricação de produtos com superfícies planas ou curvas, conforme molde utilizado durante a prensagem das lâminas após estarem coladas (Figura 23).

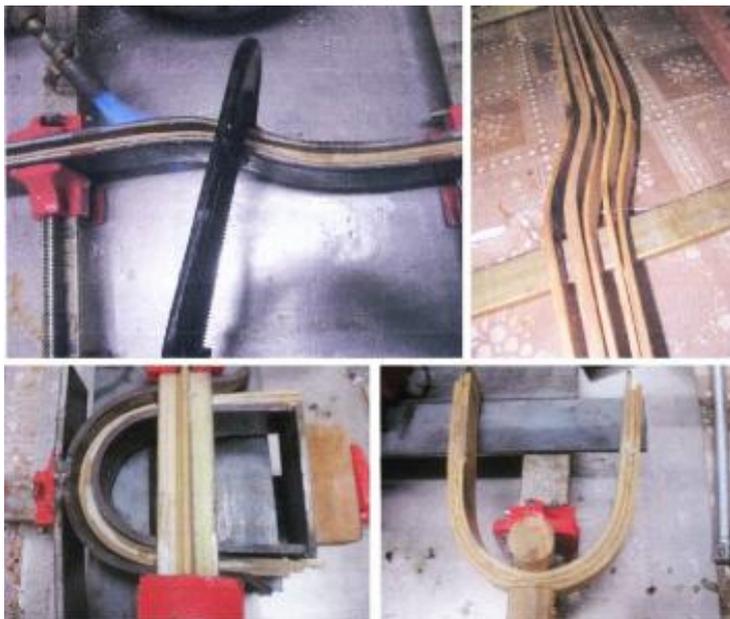


Figura 23 - Lâminas sendo prensadas com moldes curvos.

Fonte: Pereira e Beraldo (2008).

b) Painel Contraplacado de Bambu

É formado com ripas coladas em direções invertidas (Figura 24).



a



b

Figura 24 - a) Painel contraplacado carbonizado; b) Painel contraplacado natural.

Fonte: MOIZÉS (2007).

c) Painel Compensado de Lâminas de Bambu (*Plyboo*)

Os painéis de compensado de bambu são fabricados com a disposição das lâminas similar a dos painéis de madeira. Segundo Moizés (2007), são cortadas tiras de aproximadamente 60 mm a 120 mm, dispostas na direção transversal para cada camada, aplicando-se adesivo e depois prensando a quente ou a frio, com uma camada protetora. O compensado laminado empilhado, ilustrado na Figura 25, é fabricado com 100% de matéria-prima renovável. O mesmo autor adverte que são usados adesivos fortes, mas com emissões livres de gases contaminantes e que o compensado de bambu pode ser cortado e lixado usando-se equipamentos convencionais.



Figura 25 - Compensados laminados de bambu.

Fonte: Marco Pereira (2000) *apud* Moizés (2007).

Ele informa que na Colômbia esse compensado é utilizado como fôrma para concreto, estruturas, vigas e montagem de paredes. Na China é usado como fôrmas de concreto, plataformas de caminhões (Figura 26), ônibus e trens, piso na construção civil, embalagem para componentes de máquina e material para móveis de interiores de navios e barcos.



Figura 26 - Carroceria de caminhão tipo baú e de ônibus urbano.

Fonte: Moizés (2007).

d) Pisos de Bambu Laminado Colado (*Bamboo Floor Laminated*)

Moizés (2007) declara que os pisos de bambu possuem uma boa resistência e durabilidade e são fabricados com ripas de bambu coladas lateralmente na horizontal ou na vertical (Figura 27). Sua principal aplicação destina-se a pisos e assoalhos de ambientes internos.

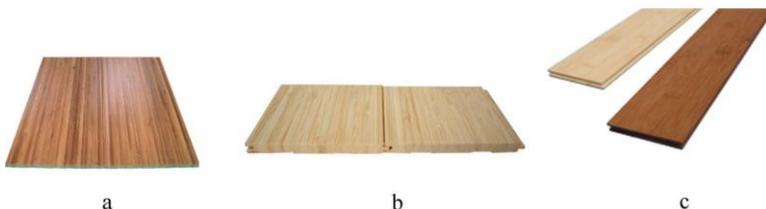


Figura 27 - a) , b) e c) pisos de bambu laminado.

Fonte: Moizés (2007).

II. PAINÉIS DE LASCAS OU FATIAS FINAS

a) Esteiras de Bambu Colado (*Bamboo Mat Board*)

Sobre a produção das chapas de esteira de bambu entrelaçado (Figura 28), Moizés (2007) esclarece que as fatias finas de bambu são classificadas quanto à qualidade, para posteriormente serem organizadas, trançadas e, então, mergulhadas em adesivo e prensadas à quente. Podem-se utilizar diferentes fôrmas para moldar as esteiras.

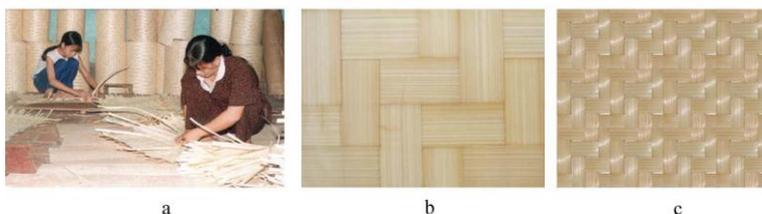


Figura 28 - a) Mulheres tecendo a esteira; b, c) Amostras de esteiras de bambu moldado sob pressão.

Fonte: Moizés (2007).

b) Laminado ou folheado de Bambu (*Bamboo Laminated*)

As lâminas ou folhas de bambu são usadas principalmente para revestimentos, como folheados, em painéis montados e colados ou compostos com outras folhas mais espessas, podendo ser feitos com

placas de madeira como compensados e aglomerados (MOIZÉS, 2007). Esses laminados são aplicados na arquitetura de interiores, principalmente como revestimentos de divisórias, pisos e no mobiliário (Figura 29).



Figura 29 - Mobiliário feito com lâminas de bambu.

Fonte: Moizés (2007).

c) Painel de Lascas de Bambu Ondulado para Telhados (*corrugated Bamboo Roofing Sheets*)

Conforme explicado por Moizés (2007), os bambus são cortados, tecidos em lascas finas e embebidos em resina (adesivo), como uma esteira. Em seguida, essas esteiras são prensadas juntas e após estarem secas, os painéis (Figura 30) são aparados e serão aplicados especificamente em coberturas (telhados).



Figura 30 - Processo de fabricação do painel ondulado.

Fonte: Moizés (2007).

III. PAINÉIS DE PARTÍCULAS OU FLOCOS

a) Painel Aglomerado de Partículas de Bambu (*Bamboo of Particleboard*)

Os painéis de partículas são produzidos com o mesmo processo utilizado para a madeira. O colmo do bambu é moído ou triturado em partículas e seco em estufas, sendo em seguida misturado com um adesivo e prensado (MOIZÉS, 2007).

Esses painéis (Figura 31) são fabricados geralmente com resíduos e podem receber revestimento de ambos os lados da chapa com lâminas de bambu ou de madeira, entre outros materiais. Após revestido, esse produto pode ter diversas aplicações na construção, como forros, vários tipos de divisórias e painéis decorativos.



Figura 31 - Painéis de partículas de bambu sem revestimento.
Fonte: Moizés (2007).

b) Painel Aglomerado de partículas aglomeradas de bambu composto (*Particle Board Composite*)

Moizés (2007) cita que este painel é composto de partículas de bambu, provenientes do aproveitamento total dos colmos, galhos e folhas caulinares que, em outras situações, poderiam ser considerados resíduos agrícolas (Figura 32).



Figura 32 - Painel de partículas aglomeradas compostas.
Fonte: Moizés (2007).

Nos testes realizados pela Unesp Bauru (SP), esse material foi indicado para divisórias, forros, vedações e mobiliário.

c) Painel OSB de Bambu (*Oriented Strand Board of Bamboo*)

Esse painel, de acordo com Moizés (2007), é composto de partículas ou flocos (*flakes*) de bambu, orientados e prensados em colchão específico para essa finalidade, sendo fabricados com a mesma tecnologia dos painéis de madeira (Figura 33).



Figura 33 - Painel de bambu com partículas orientadas – OSB.

Fonte: Moizés (2007).

A sua aplicação é similar a desses painéis em madeira, sendo destinada à estruturação de paredes, pilares, vigas de casas, divisórias para interiores e edificações em geral (Figura 34).



Figura 34 - Estrutura para casas em OSB de bambu.

Fonte: Moizés (2007).

IV. PAINÉIS COMPOSTOS DE BAMBU

a) Painel de Revestimento com Tiras de Bambu, Pó de Coco Colado e MDF

Esse painel foi desenvolvido pelo *designer* Salim Moizés, suprimindo a necessidade de um revestimento ecológico para os móveis da loja Living Interiores, de Recife (MOIZÉS, 2007). É um material alternativo, com um aspecto visual diferenciado, que pode ser usado como estrutura e acabamento, tanto para superfícies de mobiliário, como para revestimento de paredes e divisórias (Figura 35).



Figura 35 - Painel de MDF revestido com ripas de bambu e pó de coco colado.
Fonte: Moizés (2007).

b) Painel para Papel de Parede com Ripas de Bambu (*Bamboo Strips Wallpaper*)

Em Moizés (2007), há uma explicação de que no painel de bambu para papéis de paredes (*Strips Wallpaper*), as tiras são dispostas lateralmente sobre manta de tecido. Porém, não são coladas lateralmente, permitindo uma flexibilidade da esteira ou manta (Figura 36).



Figura 36 - *Wall paper*.
Fonte: Moizés (2007).

Essas esteiras consistem em tiras de bambu de 50 milímetros de largura e 2,4 milímetros da espessura. O material é fornecido em rolo (largura padrão 2040 mm, comprimento padrão 30,00 m). Essas esteiras de bambu podem ser utilizadas em diversas aplicações internas, como tapetes, pisos, forros e no mobiliário (MOIZÉS, 2007). A cobertura do aeroporto de Madri é um belo exemplo de uso do material como forro (Figura 37).



Figura 37 - Cobertura do aeroporto de Madri, Espanha.

Fonte: Moizés (2007).

2.5 LIGAÇÕES DE BAMBU E REFORÇOS DE LIGAÇÕES

O tema das ligações dos bambus, seja com os próprios bambus ou com outros materiais, vem sendo estudado cada vez mais por pesquisadores a fim de viabilizar sua aplicação de forma sistematizada em edificações.

As ligações são pontos críticos das estruturas, embora muitas vezes recebam pouca atenção no contexto do dimensionamento da estrutura. Uma das dificuldades encontradas para se utilizar peças roliças de bambu é a necessidade de um estudo detalhado das ligações, necessitando, muitas vezes, de encaixes mais elaborados para seu enrijecimento.

Segundo Teixeira (2006), o bambu não tem boa resistência às pregações, devido à sua constituição ser basicamente composta por fibras paralelas muito longas, com densidade específica muito alta, principalmente nas paredes externas, com grande tendência ao cisalhamento. A mesma autora ainda afirma que as ligações mais recomendadas são as parafusadas, por proporcionarem maior estabilidade (Figura 38).



Figura 38 - Conexões das peças de bambu.

Fonte: Vélez (2002).

De acordo com Moré (2003), as ligações estruturais em colmos de bambu merecem as seguintes observações:

- Ligações parafusadas: deve-se evitar o contato direto entre as peças, ou seja, entre o bambu e o parafuso. Para evitar fissuras e esmagamento, principalmente em vigas, faz-se uso de segmentos de borracha ou silicone. Recomenda-se enrijecer o interior dos colmos nos pontos mais vulneráveis das peças, por meio de injeção de resina ou concreto, evitando o fendilhamento e o esmagamento das peças.
- As ligações nas quais se usam entalhes devem vir associadas a outras soluções (amarras, parafusos, pinos, cavilhas e colas).
- Nas ligações de peças roliças em ângulos nas estruturas espaciais devem-se utilizar elementos padronizados (metal, plástico ou similares), para facilitar a execução dos entalhes e garantir a rigidez da ligação.
- As ligações nas quais se utiliza a técnica de amarras devem vir sempre associadas à utilização de parafusos, pinos ou peças para enrijecimento dos colmos, evitando o afrouxamento e a instabilidade das ligações.

Moré (2003), na sua pesquisa de mestrado, propôs a confecção de uma viga de bambu treliçada Howe com perfil I. Nas ligações entre os colmos de bambu foram utilizadas barras de aço rosqueadas de ¼” de

diâmetro. Ao confeccionar a treliça (Figura 39), Moré logo percebeu as fragilidades encontradas nas ligações.



Figura 39 - Viga treliçada.

Fonte: Moré (2003).

Com o objetivo de tornar as ligações mais eficientes, foram aplicadas fitas com fios de fibra de vidro orientados longitudinalmente, de 0,5 cm de espessura e cola com base epóxi. Para verificar a eficiência do reforço, foram realizados ensaios de tração em 14 corpos de prova de 20 cm cada, sendo 7 deles com fibras de vidro e cola em cada extremidade (Figura 40) e 7 sem esse reforço.

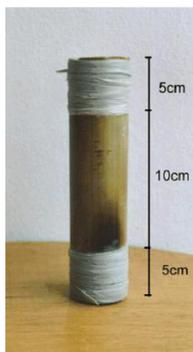


Figura 40 - Corpos de prova para ensaio de tração.

Fonte: Moré (2003).

Os corpos de prova foram furados a 25 mm de suas extremidades, com uma broca de 10,5 mm. As duas extremidades foram conectadas à peça do dispositivo de ensaio, utilizado no esforço de tração. Com os ensaios, pôde-se perceber que houve um ganho de 71,7% na resistência dos bambus reforçados com fibra de vidro e cola epóxi.

Na revisão bibliográfica, foi feito um levantamento sobre diferentes formas em que o material bambu pode ser empregado, para então ser proposta a utilização desse material na pesquisa desenvolvida.

Também foram levantadas referências sobre o uso do material bambu na forma de painéis e do uso de fibras desse material como reforço de ligação. Os procedimentos metodológicos serão apresentados no capítulo a seguir, em duas partes, a primeira com foco no desenvolvimento de painéis de bambu com madeira para serem utilizados na construção, e a segunda focando o uso de fibras de bambu como reforço de ligação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E RESULTADOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme pôde ser percebido na revisão bibliográfica, ainda há, no Brasil, o preconceito em relação ao uso do bambu em construções. Na maior parte das vezes, as empresas e *designers* que começam a utilizar o bambu como painel iniciam seu uso sem ter sido realizados ensaios que estudem seu comportamento numa construção e sem seguir padrões para que possam ser utilizados em grande escala. Na revisão bibliográfica sobre o uso do bambu em construções, procurou-se buscar os pontos mais falhos, com menos pesquisa e que ainda não tivessem resultados satisfatórios, para escolher o foco de pesquisa que seria aprofundado. Com essa intenção, delimitou-se o foco da presente dissertação em painéis estruturais de bambu e madeira e em reforços de ligações utilizando fibras de bambu.

As duas diferentes abordagens da utilização do bambu realizadas neste trabalho – como painéis e como reforço de ligações – mostram as distintas possibilidades de utilização desse material, seja como componente construtivo ou como lâmina ou fibra.

Os elementos de fechamento verticais (DIAS, 2005) são considerados alguns dos principais componentes construtivos das edificações devido à sua grande importância numa construção, tanto no conforto gerado pelo fechamento vertical da edificação e separação de ambientes, como pela grande quantidade de material empregado nesse componente.

Quando é utilizado, na construção, o sistema leve em madeira (sistema plataforma), os elementos de fechamento (painéis) aliam-se às funções de aporte estrutural e de fechamento da edificação, diferindo do tradicional sistema pilar-viga, que utiliza painéis apenas para vedação ou divisórias, sem necessitarem ter funções estruturais (DIAS, 2005).

A ossatura em madeira (Figura 41) utilizada nesse sistema construtivo só cumpre sua função estrutural após receber os painéis de fechamento, o que proporciona o travamento definitivo do conjunto.

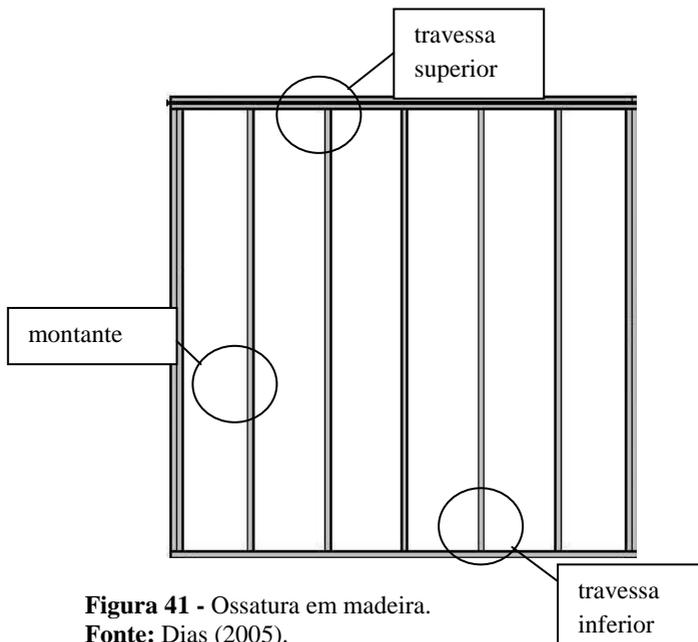


Figura 41 - Ossatura em madeira.
Fonte: Dias (2005).

As paredes sofrem ação de forças verticais (gravitacionais; sobrecargas de utilização, entre outras) e forças horizontais (ação do vento). Segundo Dias (2005), no sistema Plataforma, as solicitações verticais incidem diretamente nos sistemas de piso e cobertura e são transmitidas à ossatura das paredes que, por sua vez, descarregam nas fundações. Normas norte-americanas já estipulam distâncias máximas permitidas entre os montantes e entre os pregos que forem utilizados para fixar os painéis de fechamento, garantindo a resistência da estrutura a ações de forças verticais.

De acordo com Dias (2005), a distribuição das forças horizontais em sistemas leves de madeira, como o Sistema Plataforma, não é tão evidente quanto a das forças verticais. As forças horizontais, geradas pelo vento, incidem diretamente sobre as paredes transversais (perpendiculares à direção do vento). Os painéis de fechamento deverão ter suficiente resistência e rigidez para suportar as solicitações normais à sua superfície, impostas pela força de vento.

De acordo com Dias (2005), para os sistemas leves em madeira, há duas possibilidades de contraventamento das paredes que sofrem ação do vento: paredes cisalhantes, que utilizam painéis de uso estrutural e contraventamento interno em diagonal, que pode ser feito com tábuas de madeira ou com tiras de aço, ambas dispostas em diagonal.

O ensaio de cisalhamento proposto no presente trabalho pretende estudar a resistência dos painéis de bambu com madeira ao cisalhamento, esforço gerado numa construção pela ação dos ventos.

A pesquisa aqui apresentada sobre o uso do material bambu em construções é abordada sob duas vertentes: desenvolvimento de painéis de bambu com madeira e uso de fibras de bambu como reforço de ligação. Ela é parte do programa de pesquisa, financiado pelo CNPq, denominado “Desenvolvimento de Protótipos em Bambu: painéis compósitos de madeira e bambu para o uso na construção civil e bambu laminado colado para a fabricação de móveis”, desenvolvido no período de janeiro de 2009 a março de 2011.

A parte prática e experimental do trabalho foi realizada no LEE – Laboratório de Experimentação em Estrutura da UFSC, pelo grupo GIEM – Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira, no qual a pesquisadora foi bolsista CNPq DTI-3 (Desenvolvimento Tecnológico e Industrial nível 3) no período de dezembro de 2009 a março de 2011.

Essas duas distintas abordagens da utilização do bambu são detalhadas a seguir, sendo a primeira parte sobre painéis de bambu com madeira e a segunda parte sobre fibras de bambu como reforço de ligação.

3.2 PRIMEIRA PARTE

A primeira parte compreendeu três etapas: a) elaboração de projeto de painéis estruturais feitos de bambu; b) desenvolvimento dos corpos de prova utilizados nos ensaios laboratoriais de avaliações (nessa fase, descreveram-se a preparação dos materiais, as etapas da construção e os cuidados necessários no processo); c) realização de ensaios de avaliação de desempenho dos painéis com bambu.

3.2.1 Modelo de corpos de prova proposto

Foram elaborados sete (7) corpos de prova compostos por materiais distintos. Em um (1) dos painéis foi utilizada a matéria-prima madeira de *pínus*, adesivo MUF (Melamina-Ureia-Formaldeído) e lâminas de bambu *Dendrocalamus Giganteus*; e nos outros seis (6) foi

utilizada a matéria-prima chapa de OSB, adesivo PVA (acetato de polivinil) e lâminas de bambu *Dendrocalamus Giganteus*.

As lâminas de bambu, utilizadas para reforçar o núcleo em madeira *pínus* ou OSB, têm função de aumentar a resistência dos painéis, garantindo, assim, uma segurança a mais na construção quando utilizado o sistema plataforma.

O adesivo MUF (Melamina-Ureia-Formaldeído) foi mantido mesmo tendo-se ciência de que esse adesivo não é a melhor escolha quando analisado pelo lado ambiental. O emprego desse adesivo foi decidido com base no fato de que o mesmo possui boa resistência quando submetido a esforços, é incolor e possui um preço muito mais competitivo se comparado com a RFF (Resorcina-Fenol-Formaldeído). O adesivo PVA (Acetato de Polivinil) foi empregado por se tratar de um adesivo amplamente utilizado nesse setor.

Tanto a madeira, quanto o bambu, já estavam tratados: o bambu *Dendrocalamus Giganteus*, cedido pela empresa Oré Brasil, para o desenvolvimento de projeto de pesquisa realizado pelo GIEM, já é entregue tratado e em forma de lâminas com dimensões usuais de 30 mm de largura, 1250 mm de comprimento e 3 mm de espessura.

O trabalho de caracterização mecânica tomou como base os ensaios preconizados na norma norte-americana ASTM D 2719-89 – *Standard test methods for structural panels in shear through-the-thickness*, devido ao fato de no Brasil não existir uma norma específica para resistência de painéis estruturais. A norma ASTM D 2719-89, além de ser conhecida mundialmente, é específica para painéis e permite a caracterização mecânica de painéis por meio do ensaio de cisalhamento. Os ensaios de cisalhamento com os painéis de bambu e madeira foram realizados visando tanto a sua caracterização mecânica, quanto a resistência e rigidez ao cisalhamento. Segundo Bodig e Jayne (1992), esse método de ensaio com painéis foi concebido de modo a submeter o corpo de prova a um estado puro de tensões de cisalhamento no plano do painel, visando, dessa forma, obter o valor da força máxima à qual esse painel pode ser submetido.

A seguir é apresentada a forma de confecção do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento com os painéis de bambu e madeira.

Corpo de prova: Os sete (7) protótipos do painel de bambu tiveram as suas dimensões de comprimento e de altura determinadas pelas exigências da norma ASTM D 2719-89 e do dispositivo no qual foram realizados os ensaios. A espessura do painel de 19 mm foi adotada por ser uma dimensão usual. Foram confeccionados sete (7)

corpos de prova, sendo quatro (4) com as lâminas de bambu dispostas em sentido vertical e horizontal e três (3) com as lâminas de bambu dispostas em sentido diagonal.

3.2.1.1 Corpo de prova com madeira de *Pínus*

A confecção dos corpos de prova foi composta por três (3) materiais distintos: madeira *pínus*, por ser uma madeira de floresta plantada e possuir preço acessível; bambu, por todos seus benefícios e a facilidade de ser encontrado no território brasileiro, e adesivo MUF (Melamina-Ureia-Formaldeído).

Procedimentos seguidos para confecção do corpo de prova: As madeiras de *pínus* cedidas para a pesquisa com dimensões de 60x2500x30 mm foram serradas para ficar com a dimensão de 15x2500x20 mm (Figura 42).



Figura 42 - A madeira *pínus* sendo passada na serra circular.

Fonte: Autora, 2010.

Em seguida, as ripas foram passadas na plaina (Figura 43) até atingirem as dimensões de 10x2500x20 mm.



Figura 43 - As ripas de *pínus* sendo passadas na plaina.
Fonte: Autora, 2010.

Após plainadas, as ripas foram serradas novamente (Figura 44) para adquirirem a dimensão de 10x800x20 mm. Essas dimensões foram adotadas para que pudessem simular uma composição de aproveitamento de restos de madeira gerados pelas madeireiras, criando painéis reconstituídos.



Figura 44 - Ripas sendo serradas na serra destopadeira para ficarem com a dimensão de 10x800x20 mm.
Fonte: Autora, 2010.

As ripas formaram um painel (Figura 45) com 800x800x20 mm e foram coladas e prensadas.



Figura 45 - Estrutura em madeira do painel antes de ser colada e prensada.
Fonte: Autora, 2010.

O sarrafeado em madeira foi colado com o adesivo MUF (Figura 46), contando com uma equipe de cinco (5) pessoas, devido à necessidade de a colagem ser realizada em, no máximo, uma (1) hora, que é o tempo de cola fechado, recomendado pelo fabricante do adesivo. Isso para evitar que o adesivo polimerize antes de iniciar o processo de prensagem. Quatro (4) pessoas ficaram encarregadas de passar cola nos dois lados das ripas e uma de organizar as ripas na prensa, para posterior prensagem. É evidente que esses cuidados foram tomados levando-se em consideração um processo artesanal de produção dessas chapas sarrafeadas.



Figura 46 - Colagem das ripas.

Fonte: Autora, 2010

Após estarem todas as ripas coladas e posicionadas na prensa, foi realizada a prensagem (Figura 47 e 48).



Figura 47 - Ripas com cola na prensa.

Fonte: Autora, 2010.



Figura 48 - Após todas as ripas estarem com cola e posicionadas na prensa elas foram prensadas.

Fonte: Autora, 2010.

Após ter permanecido em torno de vinte e quatro (24) horas na prensa, a madeira colada foi lixada para que ficasse com a dimensão de 800x800x13 mm e tivesse uma superfície regular e plana (Figura 49).



Figura 49 - Parte da colagem das madeiras do painel finalizada.

Fonte: Autora, 2010.

Em seguida, foram coladas as lâminas de bambu em sentido transversal ao que se encontravam coladas as ripas de madeira (Figura 50) e então o painel foi prensado.



Figura 50 - Colagem das lâminas de bambu *Dendrocalamus Giganteus*.
Fonte: Autora, 2010.

3.2.1.2 Problemas encontrados no painel com madeira de *Pínus*

O dispositivo utilizado para prensagem foi confeccionado no próprio laboratório durante a pesquisa. Quando aplicada a pressão exigida para colagem, as seis barras posicionadas perpendicularmente ao sentido das ripas – três posicionadas em baixo das ripas e três em cima – não cumpriram a sua função de manter as ripas alinhadas, deslizando uma ripa sobre a outra. O painel, então, adquiriu imperfeições, o que prejudicou parte da proposta de trabalho, pois não foi possível ter espessuras uniformes em todo o painel e sua espessura média ficou de 10 mm.

3.2.1.3 Corpos de prova com OSB

A confecção dos painéis foi realizada utilizando chapas de OSB e lâminas de bambu, o OSB foi empregado por ser um material com características estruturais consagradas internacionalmente (DIAS, 2005). Assim, o painel pôde ter suas características estruturais melhoradas pelas lâminas de bambu e já possuir acabamento. A colagem das lâminas de bambu nessas chapas serviu como uma forma de revestimento e estudo da melhoria de sua resistência. Na confecção dos

seis (6) painéis, foi utilizada a cola PVA (acetato de polivinil) por ser comumente empregada pelas empresas desse setor.

Procedimentos seguidos para confecção do corpo de prova: As placas de OSB foram serradas em dimensões de 800x800 mm. Em seguida, foi passado cola PVA no OSB e nas lâminas (Figura 51).



Figura 51 - Colagem das lâminas de bambu no OSB de 800x800 mm.

Fonte: Autora, 2011

3.2.1.4 Procedimento utilizado nos corpos de prova com OSB e nos corpos de prova com madeira de *Pínus*

Após coladas as lâminas, os painéis foram devidamente prensados a 20 000 Kgf, utilizando dispositivo confeccionado no próprio laboratório (Figura 52).



Figura 52 - Ajuste do painel no dispositivo de prensagem.
Fonte: Autora, 2011.

Para evitar que a cola do painel passasse para o dispositivo e colasse um no outro foram utilizadas lonas, posicionadas entre o painel e o dispositivo (Figura 53).



Figura 53 - Lonas colocadas entre o painel e dispositivo.
Fonte: Autora, 2011.

O painel permaneceu no dispositivo de prensagem durante vinte e quatro (24) horas (Figura 54). Em seguida, esperou-se uma semana para a cola polimerizar.



Figura 54 - Prensagem do painel.

Fonte: Autora, 2011.

Após a cola estar polimerizada, os painéis foram passados na *serra circular* para ser retirado o excesso das lâminas (Figura 55).



Figura 55 - Painel sendo passado na *serra circular*.

Fonte: Autora, 2011.

Após o painel estar com aspecto de acabado (Figura 56), foram retiradas das quinas dos painéis aproximadamente 100 mm de cada lado (Figura 57), ficando cada aresta com aproximadamente 610 mm e possuindo quinas arredondadas, com raio de 12,5 mm (Figura 58).



Figura 56 - Painel.
Fonte: Autora, 2011.



Figura 57 - Painel sendo passado na serra fita para retirar as quinas.
Fonte: Autora, 2011.



Figura 58 - Paineis com as quinas arredondadas.

Fonte: Autora, 2011.

Em seguida, as extremidades dos corpos de prova foram enrijecidas com OSB colados em ambos os lados do corpo de prova (Figura 59), necessários para receber a aplicação do carregamento.

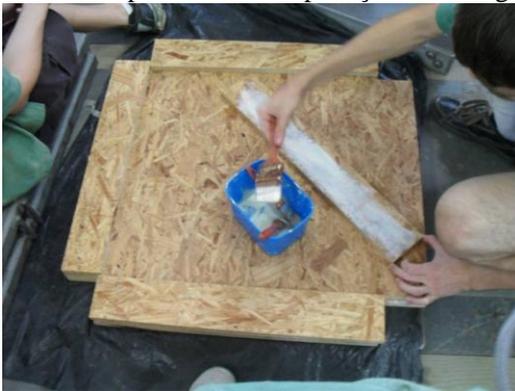


Figura 59 - Extremidades dos corpos de provas sendo enrijecidos com OSB.

Fonte: Autora, 2011.

Após a colagem, os corpos de prova foram novamente prensados (Figura 60).



Figura 60 - Prensagem do painel após enrijecimento das laterais.

Fonte: Autora, 2011.

Depois de uma semana de polimerização da cola, os corpos de prova estavam finalizados e foram retiradas as suas dimensões para iniciar os ensaios (Figura 61).



Figura 61 - Corpo de prova finalizado sendo medido.
Fonte: Autora, 2011.

3.2.2 Avaliação dos corpos de prova

a) Quanto ao cisalhamento

Os sete (7) corpos de prova foram avaliados e submetidos ao ensaio de cisalhamento com o objetivo de determinar a resistência e a rigidez ao cisalhamento. Nesse ensaio, foi possível analisar a resistência do painel quando submetido a esforços horizontais existentes em uma construção no sistema plataforma, também sendo possível observar como os materiais bambu, ripas de madeira ou OSB, e a cola trabalharam quando o painel foi submetido a esse ensaio.

Dias *et al.* (2004) citam que o dispositivo de ensaio transforma as forças de tração aplicadas às extremidades do dispositivo em esforços cisalhantes ao longo das arestas da chapa (Figura 62).



Figura 63 - Ensaio corpo de prova.

Fonte: Autora, 2011.

Resultados: Para a determinação dos módulos de elasticidade, foram construídos diagramas carga x deformação de todos os ensaios realizados (Gráfico 1). No entanto, houve problemas na obtenção das deformações, pois os transdutores de deslocamento se soltaram durante os ensaios, prejudicando a leitura das deformações em função da carga aplicada.

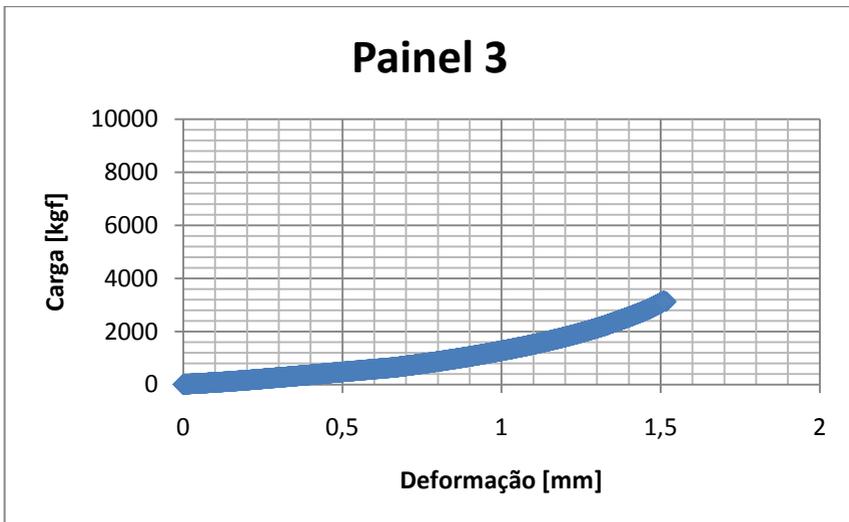
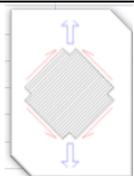
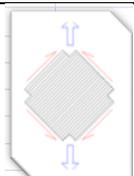
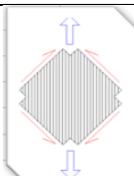


Gráfico 1 - Exemplo de comportamento do corpo de prova 3.

Fonte: Autora, 2011.

Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 12. Vale ressaltar que esses resultados estão transformados em resistência ao cisalhamento das seções das bordas dos painéis, onde o esforço de 0,707 da carga aplicada era transmitido.

Tabela 12 - Resultados dos corpos de prova.

1. Corpos de prova de painel de Bambu <i>Giganteus</i> colados perpendicularmente, com adesivo MUF, em sarrafos de <i>Pínus</i> de 10 mm de espessura.	
1.1. Resistência do painel utilizando lâminas de bambu paralela à linha de cisalhamento.	
Desv. Padr. = 0,00 Média = 4,77 [Mpa] Coef. Var. = 0,00% $F_{ULR,k} = 4,77$ [Mpa]	
2. Corpos de prova de painéis de Bambu <i>Giganteus</i> colados, com adesivo PVA, em OSB (<i>Oriented Strand Board</i>).	
2.1. Resistência dos painéis utilizando lâminas de bambu paralela à linha de cisalhamento.	
Desv. Padr. = 0,93 Média = 3,64 [Mpa] Coef. Var. = 25,50% $F_{ULR,k} = 3,64$ [Mpa]	
2. Corpos de prova de painéis de Bambu <i>Giganteus</i> colados, com adesivo PVA, em OSB (<i>Oriented Strand Board</i>).	
2.2. Resistência dos painéis utilizando lâminas de bambu <u>não</u> paralela à linha de cisalhamento.	
Desv. Padr. = 0,35 Média = 3,46 [Mpa] Coef. Var. = 9,98% $F_{ULR,k} = 3,46$ [Mpa]	

Fonte: Autora, 2011.

Na Figura 64, estão expostos os corpos de prova após a realização dos ensaios.

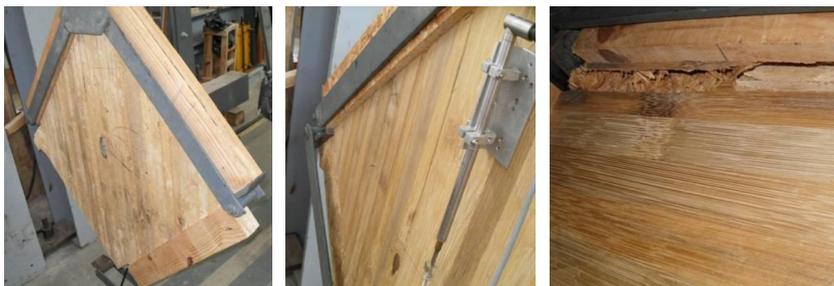


Figura 64 - Corpos de prova após ensaio.

Fonte: Autora, 2011.

Na Figura 65 é possível perceber que nenhum dos corpos de prova apresentou ruptura por tração ou cisalhamento, mas sim esmagamento do ponto onde o esforço era transmitido pelo dispositivo de ensaio, ou seja, como estava previsto, as chapas com os reforços das lâminas de bambu deram uma resistência superior à das chapas que já haviam sido ensaiadas em trabalhos anteriores. Portanto, em nenhum dos ensaios se conseguiu levar o corpo de prova até a ruptura da chapa revestida, por tração, ou por cisalhamento, mas sim, por danificação da região do apoio das placas que transmitiam a parcela de esforço, de 70,7% da carga total aplicada. Logo, os resultados apresentados referem-se a esse limite de carga alcançado para cada um dos ensaios. Poder-se-ia alcançar melhores resultados, reforçando melhor as abas, e melhorando as ligações do dispositivo. No entanto, os valores alcançados pelos painéis, nesse ensaio, confirmam a possibilidade desses painéis serem empregados em edificação que utilize o sistema plataforma, garantindo a resistência necessária nos esforços gerados pela ação do vento em uma edificação.

b) Quanto ao peso

Foram obtidas as massas dos corpos de prova. O peso se tornou um critério importante de análise devido ao fato de esses painéis precisarem ser movimentados na obra e as implicações em relação ao transporte, uma vez que quanto maior o painel, mais pesado ele será e mais difícil será a sua movimentação.

Resultados: As massas, a média de valores laterais, o volume e a densidade dos painéis estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados das massas dos corpos de prova.

			[cm]	[cm]	[dm ³]	[g/dm ³]
	Descrição	Massa [g]	Média A	Média B	Volume	Densidade
Painel 1	bambu alinhado com a placa OSB	9100,00	79,57	78,87	13,81	659,16
Painel 2		9100,00	79,00	78,93	13,72	663,33
Painel 7		9300,00	78,63	79,57	13,76	675,65
Painel 4	bambu em diagonal em relação a placa OSB	9400,00	80,20	80,90	14,27	658,54
Painel 5		9500,00	80,17	80,30	14,16	670,80
Painel 6		9500,00	80,67	80,13	14,22	668,03
Painel 3	Painel de Sarrafos colados	7300,00	78,10	79,43	9,55	764,10

Fonte: Autora, 2011.

O valor da massa está dentro do previsto para painéis compostos de madeira e bambu. O painel composto por sarrafiado de madeira com o adesivo Melamina-Ureia-Formaldeído apresentou um valor de densidade maior que os painéis utilizando OSB.

Os pesos encontrados comprovam que os painéis poderão ser facilmente movimentados nas obras, sem a necessidade da utilização de máquinas para realizar esse serviço, o que acarretaria mais gastos e maior consumo de energia em uma obra.

c) Quanto à estética e às soluções de arquitetura

Devido à ampla importância dos painéis verticais como fechamento da edificação e separação de ambientes, tem-se evidenciado a necessidade de empregar materiais diferentes e com aspectos mais sustentáveis na confecção desses painéis (TEIXEIRA, 2006). Afinal, é empregada grande quantidade de material nesse componente.

As diferentes formas de colagem das lâminas, também os diferentes acabamentos e cores, permitem diferentes composições visuais. Os painéis propostos não precisam de revestimento, possuem acabamento natural (Figura 65).

Além de possuir um padrão estético diferenciado, o fato dos painéis propostos já irem finalizados para a obra e não precisarem de revestimento evita a utilização de materiais na obra que gerem desperdício e sujidades, pois utiliza menos matéria-prima e despende menos energia na obra.



Figura 65 - Composição painéis.

Fonte: Autora, 2011.

Os painéis fixados por meio de pregos aos montantes de madeira utilizados no sistema plataforma (Figura 66) necessitarão de acabamento apenas no local da fixação. Esse sistema de empregabilidade possibilita a confecção de paredes já com acabamento e soluções visuais.

A camada de ar existente entre os painéis nesse sistema de empregabilidade permite a passagem de instalações e um bom isolamento térmico.

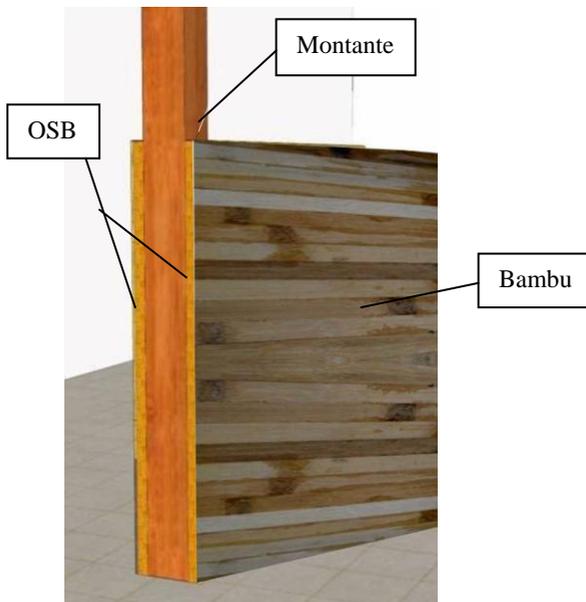


Figura 66 - Painel fixado no montante.

Fonte: Autora, 2011.

Os painéis já possuindo acabamento, além de serem utilizados para o fechamento e separação de ambientes, podem ser utilizados como parte da decoração da casa (Figura 67), possibilitando diferentes composições.



Figura 67 - Painel de bambu utilizado como parte da decoração.

Fonte: Autora, 2011.

A pesquisa comprova a resistência mecânica e a leveza dos painéis, assim como a possibilidade desses painéis serem produzidos em grande escala e atenderem satisfatoriamente ao seu uso. Defende-se, neste trabalho, a possibilidade do uso de materiais mais sustentáveis como o bambu em projetos de edificação, uma vez que a arquitetura compreende vários ramos, entre esses a construção, a utilização de materiais e a decoração. Conhecer materiais diferentes, descrever como esses materiais podem ser empregados e verificar se realmente o emprego desses materiais obtém resultados eficientes é uma tarefa de grande valia para arquitetos e pesquisadores.

3.3 SEGUNDA PARTE

3.3.1 Uso do bambu como reforço de ligações entre elementos estruturais: o desfibramento do bambu

Nesta etapa da pesquisa foi realizado o desfibramento do bambu para que as fibras pudessem ser utilizadas como reforço de ligações, pois são muitas as situações em que esse tipo de reforço pode ser

aplicado para solucionar regiões enfraquecidas de ligações, na construção civil.

É importante deixar claro que o termo desfibramento, no presente caso, está se referindo a conjuntos de fibras em feixes de menores dimensões, se comparadas com as dimensões das paredes que constituem os colmos dos bambus. Não se trata, portanto, de desfibramento no sentido de reduzir o material final às dimensões das fibras que constituem o tecido lenhoso que compõe as paredes dos colmos. Mais adiante, as ilustrações deixarão essa explicação mais aclarada.

Moré (2003) propôs como trabalho de mestrado a confecção de vigas treliçadas Howe com perfil I, em bambu, mas logo percebeu a fragilidade encontrada na região das ligações, devido o bambu não possuir fibras transversais, como ocorre nas madeiras das árvores, que possuem os raios medulares entrelaçando o conjunto de fibras longitudinais. Logo, com o objetivo de tornar as ligações mais eficientes, Moré (2003) propôs que fossem aplicadas fitas com fios de fibra de vidro orientados longitudinalmente, de 0,5 mm de espessura, fixadas com adesivo de base epóxi. As ligações que utilizaram reforço com fibra de vidro, quando submetidas ao ensaio de tração, tiveram um incremento de 71,7% na resistência. Diante desses dados, no presente trabalho foi pensado em se fazer o ensaio de colmos de bambu com reforço de ligação, utilizando, no lugar da fibra de vidro, a fibra vegetal obtida do próprio bambu. Dessa forma, procura-se aplicar uma solução com material mais compatível com a sustentabilidade do meio ambiente.

3.3.1.1 Obtenção das fibras

Os bambus da espécie *Bambusa Vulgaris Schard* foram retirados do bairro do Cacupé no norte da ilha em Florianópolis e levados para o LEE – Laboratório de Experimentação em Estruturas da UFSC, com os colmos serrados longitudinalmente em quatro (4) partes formando ripas que, então, foram serradas novamente para ficarem com 300 mm de comprimento. Essas ripas de 300 mm de comprimento foram colocadas em uma autoclave vertical (Figura 68 e 69), permanecendo dois dias com uma temperatura de 80°C e no terceiro dia sendo submetidas a uma pressão de 1,5 Kgf/cm² e 120°C de temperatura durante quatro (4) horas.



Figura 68 - Autoclave vertical.

Fonte: Autora, 2010.



Figura 69 - Ripas de bambu na autoclave vertical.

Fonte: Autora, 2010.

Após as ripas permanecerem esses três dias na autoclave, constatou-se um amolecimento suficiente para o processo de desfibramento, ou de transformação em conjuntos menores de fibras. O processo empregado nessa transformação foi o de se utilizar um moedor, do tipo moedor de cana-de-açúcar, conforme mostrado na Figura 70.



Figura 70 - Ripas de bambu sendo passadas no moedor.
Fonte: Autora, 2010.

Após as ripas terem sido passadas no moedor, observou-se boa transformação da parede do bambu, em conjuntos menores, mas nesse processo bastante artesanal, esses conjunto de fibras ainda estavam em dimensões não compatíveis com a necessidade de sua aplicação como o reforço pretendido. Portanto, foi realizada uma etapa manual para completar o processo de deixar em feixes de fibras de dimensões mais reduzidas, que pudesse possibilitar a sua aplicação como reforço de ligações, como já havia sido realizado com as fibras de vidro. Observar detalhes desse processo nas Figuras 71 e 72.



Figura 71 - Ripas após serem passadas no moedor.
Fonte: Autora, 2010.



Figura 72 - Desfibramento manual.

Fonte: Autora, 2010.

Após o desfibramento, os feixes de fibras (Figura 73) permaneceram em torno de uma semana secando ao ar livre.



Figura 73 - Feixes de fibras de bambu.

Fonte: Autora, 2010.

3.3.1.2 Observações realizadas ao longo do processo de desfibramento do bambu

- O ideal para esse dito desfibramento é utilizar as partes dos entrenós do bambu, pois nas regiões dos nós as fibras se rompem ao passarem pelo moedor.
- As ripas de bambu, mesmo após terem sido passadas por cinco vezes no moedor empregado nesse primeiro estudo dessa natureza, tiveram que passar ainda por um processo manual de separação, para que se conseguisse melhor uniformidade e dimensões compatíveis com a utilização pretendida.
- A parte do bambu, retirada da região próxima à base do colmo, precisou ser desdobrada em mais vezes para se poder passar no moedor, pois as paredes do bambu possuíam maior espessura.
- Os bambus verdes, que tinham sido cortados no dia anterior, apresentaram maior facilidade para serem desfibrados.

3.3.2 A confecção dos corpos de prova

A norma NBR 7190/97 recomenda a confecção de seis (6) corpos de prova para cada tipo de ensaio, quando de espécies já conhecidas, e doze (12) para o caso de espécies pouco conhecidas, nesses ensaios foram adotados seis (6) corpos de provas de cada modalidade por ser tratar de uma espécie conhecida.

Foram confeccionados trinta (30) corpos de prova de 200 mm de bambu, sendo que vinte e quatro (24) desses receberam reforço com fibra de bambu: seis (6) corpos de prova com o adesivo epóxi Araldite náutico, utilizando resina e endurecedor na proporção 1:1 e fibras de bambu; seis (6) corpos de prova com o adesivo epóxi Compound da Vedacit impermeabilizantes com consistência fluida, utilizando componente A e componente B na proporção 3:2 e fibra de bambu; seis (6) corpos de prova com o adesivo epóxi Sikadur 32 da Sika, utilizando Componente A e componente B na proporção 10:3,3 e fibra de bambu; seis (6) corpos de prova com o adesivo Imperveg RP 1315 A, à base de mamona, composto pelos componentes A e B na proporção 1:1,5 e fibra de bambu; e seis (6) corpos de prova não receberam reforço.

Foram utilizadas diferentes colas nesse ensaio para poder estudar os diferentes comportamentos gerados pelas colas quando empregadas com fibra de bambu como reforço de ligação, uma vez que essas fibras não haviam sido utilizadas anteriormente nessa função.

Procedimentos seguidos para a confecção dos corpos de prova:

Para o estudo das ligações reforçadas, tendo em vista a disponibilidade de bambu nessa etapa da pesquisa, optou-se pela preparação de corpos de prova com a espécie *Phyllostacys aurea* (cana-da-índia) e para o reforço, as fibras foram obtidas da espécie *Bambusa vulgaris*, conforme já mencionado no processo de desfibramento.

As peças destinadas ao estudo das ligações foram cortadas com comprimentos de 200 mm, conforme apresentado na Figura 74.



Figura 74 - Colmo de bambu após ser serrado.

Fonte: Autora, 2011.

As duas extremidades dos corpos de prova, ao receberem reforço, tiveram a camada lisa da parte externa raspadas (Figura 75) nos 50 mm onde o reforço é aplicado. Essa região representa o local destinado à ligação a ser executada com pinos, do tipo parafuso.



Figura 75 - Corpo de prova tendo a camada lisa externa sendo raspada.
Fonte: Autora, 2011.

Após as extremidades dos corpos de prova estarem lixadas, foi passada cola nos 50 mm das duas extremidades dos corpos de prova destinadas a receberem o reforço de fibras de bambu (Figura 76).



Figura 76 - Cola Araldite sendo passada no corpo de prova.
Fonte: Autora, 2011.

Em seguida, com o auxílio de uma atadura de crepom, a fibra de bambu foi enrolada em torno do local onde o adesivo havia sido aplicado (Figura 77). A função da atadura é a de auxiliar a aplicação das fibras e garantir a pressão necessária para a colagem. Deve ficar claro que essa atadura não tem a função de melhorar a resistência da ligação, mas, apenas, de facilitar a aplicação do reforço.



Figura 77 - Atadura de crepom sendo enrolada no corpo de prova.
Fonte: Autora, 2011.

Em seguida, os feixes de fibras de bambu foram posicionados na atadura e esta foi enrolada no corpo de prova (Figura 78). Foram utilizadas, em cada extremidade, em média 500 mm de atadura para realizar a colagem, sendo que em cada volta era aplicada cola novamente.



Figura 78 - Atadura de crepom com feixes de fibras de bambu sendo enrolada no corpo de prova.
Fonte: Autora, 2011.

Após completado o processo de aplicação do reforço, os corpos de prova ficaram sete (7) dias estocados, até que se verificasse a polimerização da cola. Após esse período, foram preparados os furos para a colocação dos pinos do tipo parafusos. Para isto, os furos foram posicionados a 25 mm das extremidades de cada corpo de prova. Esses furos foram realizados com broca de diâmetro de 10,5 mm (Figura 79), para abrigar parafusos de diâmetro de 10 mm.



Figura 79 - Corpo de prova sendo furado.

Fonte: Autora, 2011.

Corpo de prova finalizado (Figura 80) e pronto para ser ensaiado.



Figura 80 - Corpo de prova finalizado.

Fonte: Autora, 2011.

3.3.2.1 Observações realizadas ao longo da confecção dos corpos de prova:

- Os feixes de fibras, quanto mais padronizados, apresentavam melhor e mais fácil aplicação, garantindo um melhor acabamento e adaptando-se melhor ao colmo de bambu.
- As colas mais fluidas mostraram-se mais eficazes na aplicação, podendo ser aplicadas com mais facilidade e em menor tempo.
- A cola Imperveg RP 1315 A, à base de mamona, apresentou um tempo de pega menor que as demais, em torno de trinta (30) minutos. Mas foi a cola que se mostrou com mais fácil aplicação e preparo, tendo fácil homogeneização e pouca precipitação.

3.3.2.2 Ensaios de caracterização mecânica

Os trinta (30) corpos de prova foram avaliados, sendo submetidos ao ensaio de tração, cujo objetivo, procedimentos e resultados são descritos a seguir:

Objetivo: a partir desse ensaio é possível determinar a resistência e a rigidez das ligações dos colmos de bambu com reforço e sem reforço quando submetidas à tração.

Procedimento utilizado: Para a realização dos ensaios foi utilizada uma máquina universal de ensaios de pêndulo, da marca MOHR & FEDERHAFF AG. Para o ajuste do corpo de prova na máquina, foram empregadas duas garras devidamente rotuladas e ligadas às duas extremidades dos corpos de prova. Conforme a recomendação da NBR 7190/97, o esforço de tração foi aplicado de forma monotônica crescente (Figura 81).



Figura 81 - Ensaio corpo de prova.

Fonte: Autora, 2011.

Resultados: Os resultados referentes ao esforço característico encontrado a partir do limite de ruptura estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios.

1. Corpos de prova com ligações reforçadas com fibras de bambu - pino metálico de $\phi=10$ mm	
1.1. Resistência característica para fibras aplicadas com adesivo Epóxi Araldite Náutico	
Desv. Padr.= 873,65	
Média = 5743,33 [N]	
Coef. Var. = 15,21%	
$F_{ULR,k} = 5170,00$ [N]	
1. Corpos de prova com ligações reforçadas com fibras de bambu - pino metálico de $\phi=10$ mm	
1.2. Resistência característica para fibras aplicadas com adesivo Epóxi Compound Flúido	
Desv. Padr.= 453,60	
Média = 4775,00 [N]	
Coef. Var. = 9,50%	
$F_{ULR,k} = 4290,00$ [N]	
1. Corpos de prova com ligações reforçadas com fibras de bambu - pino metálico de $\phi=10$ mm	
1.3. Resistência característica para fibras aplicadas com adesivo Epóxi Sikadur 32	
Desv. Padr.= 864,73	
Média = 5375,00 [N]	
Coef. Var. = 16,09%	
$F_{ULR,k} = 4895,00$ [N]	

1. Corpos de prova com ligações reforçadas com fibras de bambu - pino metálico de $\phi=10$ mm	
1.4. Resistência característica para fibras aplicadas com adesivo Imperveg RP1315A (mamona)	
Desv. Padr.= 917,42	
Média = 4483,33 [N]	
Coef. Var. = 20,46%	
$F_{iL,R,k} = 3960,00$ [N]	
2. Corpos de prova com ligações sem reforço - pino metálico de $\phi=10$ mm	
2.1. Resistência característica para o bambu sem estar reforçado	
Desv. Padr.= 537,28	
Média = 2516,67 [N]	
Coef. Var. = 21,35%	
$f_{iL,k} = 1815,00$ [N]	

Fonte: Autora, 2011.

Na Figura 82 estão apresentados os corpos de prova após a realização dos ensaios.



Figura 82 - Corpos de prova após ensaios.

Fonte: Autora, 2011.

Nas ilustrações da Figura 82 nota-se que os corpos de prova sem reforço romperam por fendilhamento e cisalhamento, levando a ligação ao colapso, enquanto que os corpos de prova com reforço apresentam ruptura por cisalhamento com embutimento, sem a verificação de colapso iminente. Isso confere à ligação, além da maior resistência já apresentada na Tabela 14, também maior segurança, uma vez que após atingir o limite de resistência, a ligação continua resistindo enquanto o embutimento vai acontecendo na região das fibras de reforço.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente trabalho, foram preparados sete (7) corpos de prova, que ganharam o reforço das lâminas de bambu, posicionadas paralela e não paralela ao plano de cisalhamento. Quatro (4) corpos de prova foram preparados com as lâminas de bambu paralelas ao plano de cisalhamento, sendo que um desses painéis foi confeccionado com a chapa sarrafeada de madeira *pínus*, adesivo MUF Melamina-Ureia-Formaldeído e lâminas de bambu. Os demais com chapa comercial de OSB, adesivo PVA Acetato de Polivinila e lâminas de bambu. Os outros três (3) corpos de prova foram confeccionados com as lâminas de bambu não paralelas ao plano de cisalhamento e tiveram como chapa, também o OSB, a cola PVA de Acetato de Polivinila e as lâminas de bambu.

No Gráfico 2 são apresentados os valores característicos da resistência alcançada, nos diversos corpos de prova.

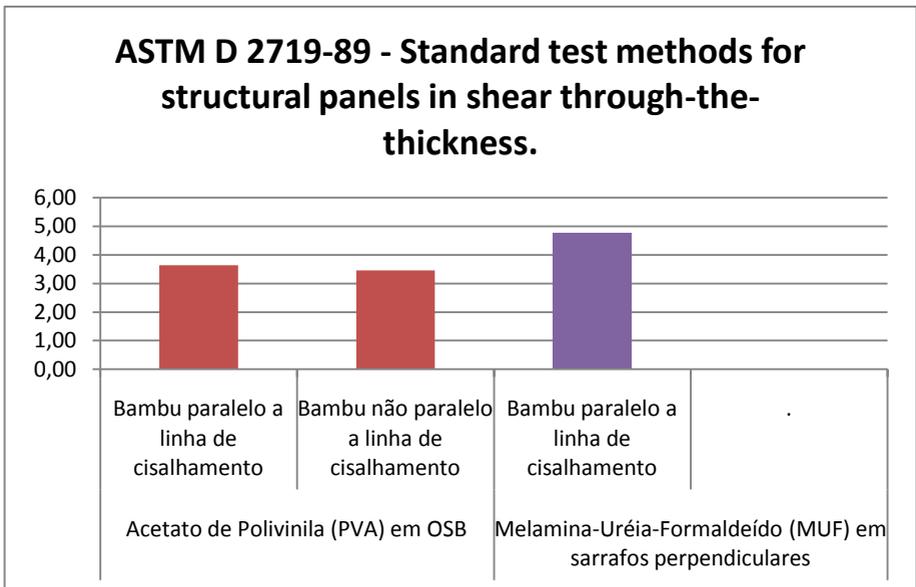


Gráfico 2 - Resultados das resistências dos corpos de provas.

Fonte: Autora, 2011.

Observa-se no gráfico que os corpos de prova com as lâminas de bambu paralelas ao plano de cisalhamento, nesta análise, apresentaram a tendência de um desempenho mais satisfatório. Entretanto, o painel composto por sarrafeado de madeira com o adesivo MUF Melamina-Ureia-Formaldeído apresentou-se mais resistente que os painéis utilizando chapa comercial de OSB.

Obs.: Vale ressaltar que toda essa análise leva em consideração a resistência alcançada, cujo limite se deu pela danificação da região onde os esforços eram aplicados. Isto quer dizer que o limite de resistência ao cisalhamento, evidentemente, é superior aos valores aqui apresentados.

Na segunda parte da pesquisa a confecção dos corpos de prova de reforço de ligação e a análise dos ensaios de tração permitiram evidenciar que as fibras de bambu podem ser utilizadas como reforços, empregando um material mais viável ambientalmente.

Nas resistências de reforços de ligações confeccionados com fibras de bambu, foram empregadas como adesivo as colas epóxi Araldite náutico, epóxi Compound com consistência fluida, epóxi Sikadur 32 e Imperveg RP 1315 A, cola à base de mamona. A opção por esses adesivos deve-se ao fato dos adesivos epóxis serem correntemente empregados em reforços e o adesivo à base de mamona ser uma opção mais sustentável. Para os ensaios foram utilizados trinta (30) corpos de prova.

No Gráfico 3 são apresentados os valores característicos da força resistente dessas ligações por pinos metálicos de diâmetro de 10 mm. Vale salientar que em nenhum dos ensaios foi verificado flexão nos pinos. Por outro lado, conforme já mencionado, observou-se que nos colmos de bambu sem reforço a ruptura se deu por cisalhamento longitudinal às suas fibras em ruptura frágil enquanto que nos colmos com reforço na região das ligações a ruptura ocorreu com um misto de cisalhamento longitudinal às fibras do colmo, acompanhado de embutimento na zona comprimida da parede do furo. Isso conferiu melhor resistência à ligação, além da ruptura não apresentar-se de forma frágil. Em termos de segurança estrutural, esta é a condição que se procura, para evitar a possibilidade de ocorrência de colapso não anunciado.

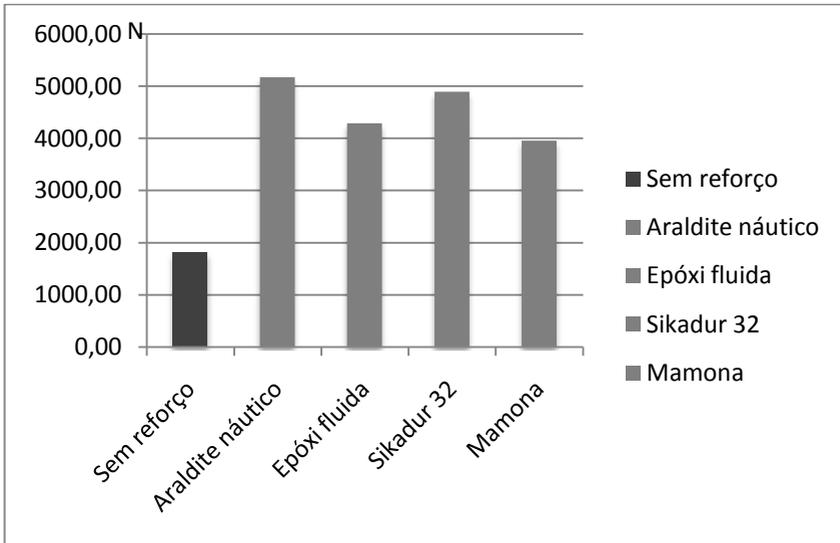


Gráfico 3 - Resultados das resistências características dos corpos de provas.

Fonte: Autora, 2011.

Observa-se pelo gráfico que uma análise feita pela resistência da ligação mostra que os corpos de prova com reforço de fibra de bambu apresentaram como resistência da ligação 2,5 vezes superior ao resultado da ligação sem reforço. Todos os ensaios apresentaram coeficiente de variação compatível com o esperado para a madeira.

5 CONCLUSÃO

Na revisão bibliográfica foi possível apontar e descrever de que forma a utilização de materiais mais sustentáveis, como a madeira e o bambu, agridem menos o meio ambiente e podem substituir materiais poluentes. Para isso, foram descritos os processos de fabricação de diferentes materiais, entre eles o cimento, a cerâmica, o gesso, a madeira e o bambu, que podem ser aplicados na construção com a finalidade de confeccionar painéis de divisórias, estruturais ou de vedação.

Por meio do estudo realizado, foi possível avaliar a possibilidade de uso de painéis de bambu como componente construtivo, tanto como painéis tradicionais, quanto como painéis de bambu colados, demonstrando as diversas maneiras de como o bambu pode ser empregado na construção.

Na revisão bibliográfica, também ficou evidente a possibilidade de utilizar somente o material bambu, ou ele com outros materiais, podendo-se destacar que painéis confeccionados em bambu podem cumprir a mesma função de painéis confeccionados com outro material.

A proposta na primeira parte deste trabalho foi confeccionar painéis estruturais em bambu com madeira e, na segunda parte, utilizar fibras de bambu como reforço de ligação entre elementos estruturais. Isso possibilitou mostrar duas distintas formas de empregar o material bambu. Verificou-se, portanto, a possibilidade de usar materiais mais sustentáveis, ao invés de utilizar materiais poluentes, como o cimento, o gesso e a alvenaria, nas construções e a fibra de bambu para reforço de ligação entre elementos estruturais.

Dessa forma, pôde-se demonstrar a viabilidade da utilização de materiais alternativos sem comprometer o desempenho que painéis devem ter, em uma edificação, quanto à resistência mecânica, ao peso e à estética. Esses três itens foram satisfatoriamente atendidos no painel proposto.

Destaca-se, na primeira parte, que nos ensaios de comportamento mecânico não se conseguiu a ruptura da região submetida ao cisalhamento e nem da região da diagonal central, onde o esforço se dava por tração dessa seção contida nessa referida diagonal. O que se observou foi apenas o esmagamento e danificação do local onde o esforço estava sendo aplicado pelo dispositivo de ensaio. Ficou evidente a viabilidade de se produzir painéis estruturais com revestimento de lâminas de bambu. Essa constatação foi demonstrada, tanto para a possibilidade de se utilizar a chapa comercial de OSB como

base, como também tendo nessa base uma chapa sarrafeada composta pelo reaproveitamento de sobras de madeira dos pátios das serrarias e madeireiras.

Essa afirmativa, demonstrando a eficiência dessas chapas para essa finalidade estrutural de uso, está calcada no conhecimento de que as chapas de OSB anteriormente ensaiadas já apresentavam a resistência compatível com o sistema construtivo autoportante do tipo “wood frame”. Esse reforço com as lâminas de bambu, e até mesmo a composição com as chapas sarrafeadas, introduz maior grau de confiabilidade e segurança ao sistema, além de oferecer um produto já com um acabamento final aplicado.

Além disso, na segunda parte, o aumento de resistência adquirido em uma ligação utilizando pinos metálicos, reforçada com fibras de bambu, evidenciou o grande potencial de uso que as fibras de bambu atingem quando utilizadas nessa função.

As duas soluções apresentadas nesta dissertação para a empregabilidade do bambu tiveram como intuito contribuir com as pesquisas nessa área, aumentar e acrescentar a gama de informações já disponíveis sobre avaliação do desempenho de painéis com bambu e a utilização de reforço de ligações com fibras de bambu, com vistas a constituir uma base de conhecimento sobre o tema. A opção pela descrição detalhada das observações realizadas ao longo da pesquisa deve-se à compreensão de que essa trajetória pode ser de grande valia para futuras pesquisas que venham a ser realizadas sobre o tema.

Em síntese, pôde-se evidenciar que, em relação aos painéis de bambu e madeira, o ensaio de cisalhamento realizado com os corpos de prova comprovou a possibilidade dos mesmos serem utilizados em construções no sistema plataforma, reforçando a resistência dessas paredes estruturais ao cisalhamento, gerado pela ação dos ventos.

O valor de massa por eles apresentados esteve dentro do esperado, o que indica a possibilidade dos mesmos serem utilizados satisfatoriamente nas edificações no sistema plataforma, aumentando o índice de segurança das paredes estruturais. A facilidade de movimentação desses painéis dentro de uma obra pode ser vista como mais um aspecto sustentável, pois evita a necessidade da utilização de máquinas para transportá-los dentro da obra.

Do ponto de vista da aparência, conclui-se que os painéis permitem diferentes composições, tendo aspecto visual natural, além de já chegarem à obra possuindo acabamento. Eles apresentam solução de arquitetura quando utilizados no sistema plataforma como painéis de

fechamento de paredes estruturais, aumentando a resistência dessas paredes a esforços laterais e proporcionando acabamento.

Em relação às fibras de bambu, conclui-se que elas podem ser utilizadas com eficácia em reforços de ligações, fica evidente que, com os insumos disponíveis hoje no mercado dos adesivos e a possibilidade de transformar o bambu em feixes de fibras que possam servir como reforço, apresenta-se como factível na utilização de um material mais sustentável, como essa fibra natural, que pode ser perfeitamente empregada nesse tipo de utilização.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Comparar os painéis propostos com painéis confeccionados com outros materiais.
- Estudar a viabilidade econômica dos painéis propostos.
- Estudar o emprego de colas com aspectos mais sustentáveis para a confecção dos painéis e dos reforços de ligação com fibra de bambu.
- Confeccionar painéis com fibra de bambu e lâminas de bambu e realizar os mesmos ensaios descritos nesta dissertação e compará-los com os resultados aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 2719-89**: Standard test methods for structural panels in shear through-the-thickness. ASTM. Philadelphia – 1989 (reaprovada em 2007).

ANAB. **Produção de Empreendimentos Sustentáveis**. Disponível em: <www.anabbrasil.org/artigos>. Acesso em: 20 mar. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeira**. NBR 7190/97. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos de tratamento do bambu**. Campinas, SP: Unicamp, 2001.

BAMBU BRASILEIRO. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

BARBOZA, A. da S. R. B.; BARBIRATO, J. C. C.; SILVA, M. M. C. P. Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 115-129, jan./mar. 2008.

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba**: da Casa Tradicional à Contemporânea. Dissertação de Mestrado da UFSC/PosARQ. Florianópolis, 2007.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar, Flórida: Krieger Publishing Company, 1992.

BOHN, A. R. **Influência da espessura das lâminas e da cola na madeira laminada colada**. 68p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis, SC, 1995.

BRANDÃO, C. M. da R. **O uso do bambu como componente construtivo em arquitetura sustentável.** 92p. Dissertação da Universidade Gama Filho. Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, A. D. C. **Reciclagem na indústria do concreto:** uma possibilidade econômica e tecnicamente viável para a construção civil. Monografia de graduação da Universidade Federal de Santa Maria / Engenharia Civil. Santa Maria, RS, 2008.

CEOTTO, L. H. **A sustentabilidade como valor estratégico para a Tishman Spyer.** Encontro Internacional de Sustentabilidade na Construção, org CTE (Centro de Tecnologia de Edificações). São Paulo, 2008.

DIAS, G. L. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas a força horizontal no seu plano.** 165p. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis, SC, 2005.

DIAS, G. L.; SANTOS, A. C.; LIMA, A. L.; SZÜCS, C. A. **Determinação de propriedades mecânicas do OSB.** IX EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuiabá, jul. 2004.

GERALDO, F. C. Madeira é Vantajosa Técnica e Ambientalmente. **Revista Referência**, edição 61, out. 2006.

HIDALGO - LÓPEZ, O. **Bamboo:** the gift of the gods. 2003.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1 e 2.

JARAMILLO, J. C. La guadúa en los grandes proyectos de inversión. *In: Congresso Mundial de Bambu/Guadúa.* Colômbia: Pereira. Anais, 1992.

LIMA, G. da C. O discurso da sustentabilidade e suas implicações para a educação. **Ambiente & Sociedade**, v. VI, n. 2, jul./dez. 2003.

LÓPEZ, R. B. **Metodología para la construcción de vivienda utilizando como material principal el bambú.** CONAFOVI-2002-C01-7583 B-1 BAMBUVER, A.C.

MANSEAU, A. E.; SEADEN, G. **Innovation in Construction: An international review of public policies.** Spon Press: London, 2001.

MASCARO, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas.** 4. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2006.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo.** Dissertação de mestrado da UNESP / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, 2007.

MOM – **Morar de Outra Maneira.** Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/09_ida/idabanco4/imagens/197material.jpg>. Acesso em: 31 –ago. 2010 – 10:15.

MORÉ, T. N. M. **Estrutura treliçada em bambu para utilização em telhados residenciais.** 69p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC. Florianópolis, SC, 2003.

MORIKAWA, D. C. L. **Métodos construtivos para edificações utilizando componentes derivados da madeira de reflorestamento.** Dissertação de mestrado da UNICAMP / Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, 2006.

OHTAKE. Disponível em: <<http://www.ruyohtake.com.br/index.html>>. Acesso em: 03 out. 2010 – 11:00.

OLIVEIRA, C. N. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações.** Dissertação de mestrado da UFSC/PósARQ. Florianópolis, 2009.

OLIVEIRA, R. **Gestão do processo de projeto para construção sustentável.** Anais do VII Workshop Brasileiro da Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, R. **Qualidade do projeto**. Anais do VI Workshop Brasileiro da Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Curitiba, 2007.

OLIVEIRA, R.; WAGNER, F. S.; GROHMANN, S. Z. **A madeira como alternativa racional para habitação**. Artigo. I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, RS, 1997.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e Arquitetura**: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal 6, 2008. 240p.

POPPENS, R.; UBIDIA, J. A. M. **Manual de Construcción**: Vivir com la Guadúa. INBAR. Quito, Ecuador, 2005.

SAN FELIPE NERI. Disponível em: <<http://www.sfelipeneri.edu.ec/portal/imgs/jes/corvivi.jpg>>. Acesso em: 04 out. 2010 – 10:36.

SATTLER, M. A. **Edificações e comunidades sustentáveis**. IX ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, PR, 2002.

SILVA, D. N. A. C.; CARVALHO, R. F. **Construções ecológicas e sustentáveis**: análise comparativa de custos entre painéis em bambu e barro com alvenaria de bloco. Universidade Federal da Bahia-UFBA. 2007.

SOUZA, A. F. P. **A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil**. Dissertação de mestrado do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na habitação de interesse social no Brasil**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, v. 11, n. 12, p. 217-245, dez. 2004.

STACHERA JR, T.; CASAGRANDE JR, E. F. **Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil**: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. Artigo. IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, 2007.

STEELE, J. **Sustainable Architecture**: principles, paradigms and case studies. McGrawHill, 1997.

SZÜCS, C. A. **Usando as madeiras com tecnologia e consciência ambiental**. Palestra EcoMadeira, 2009.

SZÜCS, C. A. *et al.* **Desenvolvimento de protótipos em bambu**: painéis compósitos de madeira e bambu para o uso na construção civil e bambu laminado colado para a fabricação de móveis. Relatório técnico final, 2011.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. **CO₂ embutido em edificações residenciais brasileiras**. Artigo. XII Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construído. Fortaleza, CE, 2008.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas**: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. DF, 2006.

VON KRÜGUER, P. G. **Análise de Painéis de Vedação nos Edifícios em Estrutura Metálica**. Dissertação de mestrado do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. MG, 2000.

ANEXOS

ANEXO 1 - SOLUÇÕES COM O USO DE FIBRAS DE BAMBU

Embora inicialmente não tivesse sido previsto avaliar a possibilidade de utilizar fibras de bambu em painéis, a confecção desse tipo de painéis permitiu concluir que também as fibras de bambu podem ser utilizadas com eficácia na produção de painéis. Durante a pesquisa foi realizada a confecção de painel com fibra de bambu e adesivo epóxi Araldite ou Resorcina-Fenol-Formaldeído, Cascophen RS, misturada com 40% de água. Embora as colas utilizadas na colagem das fibras de bambu que compõem o painel não apresentem em sua fórmula elementos químicos com características sustentáveis, a utilização de um material mais sustentável como o bambu e a criação de uma nova forma de confeccionar painéis por meio de fibras de bambu são argumentos favoráveis à recomendação desse tipo de painel.

Para a confecção dos painéis, utilizou-se uma base lisa revestida com plástico para não ocorrer colagem do painel na superfície. Foi colocada uma camada de fibras de bambu no sentido vertical (Figura 83) e passada cola.



Figura 83 - Primeira camada de fibra de bambu.

Fonte: Autora, 2011.

Em seguida, foi colocada uma camada de fibra de bambu no sentido horizontal e passada cola novamente (Figura 84).



Figura 84 - Segunda camada de fibra de bambu.
Fonte: Autora, 2011.

Foi colocada, então, mais uma camada de fibra de bambu no sentido horizontal, formando uma camada dupla nesse sentido e, em seguida, foi passada cola novamente e colocada uma última camada de fibras de bambu no sentido vertical (Figura 85).



Figura 85 - Fibras de bambu prontas para serem prensadas.
Fonte: Autora, 2011

Após serem colocadas essas quatro (4) camadas de fibras de bambu, o painel estava pronto para ser prensado, permanecendo vinte e quatro (24) horas na prensa, para estar finalizado (Figura 86 e 87).



Figura 86 - Painel de fibras de bambu com adesivo epóxi Araldite finalizado.

Fonte: Autora, 2011.



Figura 87 - Painel de fibras de bambu com adesivo Resorcina-Fenol-Formaldeído finalizado.

Fonte: Autora, 2011.

Devido ao fato de não terem sido realizados ensaios laboratoriais com esses painéis, não se pode afirmar a sua eficiência quando aplicado em edificações, pois não é comprovada a sua eficácia quando submetido a esforços estruturais como nos painéis propostos nesta dissertação. Porém, seria de grande valia o estudo desses painéis confeccionados com fibras de bambu que podem ser reforçados e

possuir acabamento colando em suas superfícies lâminas de bambu. O emprego apenas do bambu como matéria-prima, na forma de fibras e lâminas possivelmente diminuiria ainda mais o peso dos painéis. Devem ser realizados ensaios mecânicos com esses painéis com a finalidade de verificar a viabilidade de seu emprego nas construções.

Além disso, esses painéis, por serem compostos de fibras de bambu, possuem grande flexibilidade, podendo ser prensados de diferentes maneiras, entre elas no formato curvo, assim podendo, também, ser empregado na confecção de móveis.