UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO

Protótipo Arquitetônico utilizando Painéis com Inovação Tecnológica fabricados com
Partículas Homogêneas de Resíduos de Madeira

São Carlos
2014

SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO

Protótipo Arquitetônico utilizando Painéis com Inovação Tecnológica fabricados com
Partículas Homogêneas de Resíduos de Madeira.

Versão Corrigida
(original na unidade)

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia
de Materiais da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Ciências.

Área de concentração: Desenvolvimento,
Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimento
ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP.

P763p POLETO, Sabrina Fernanda Sartório
Protótipo Arquitetônico utilizando Painéis com
Inovação Tecnológica fabricados com Partículas
Homogêneas de Resíduos de Madeira. / Sabrina Fernanda
Sartório Poleto; orientador Francisco Antonio Rocco
Lahr . São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de
Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e
Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. Resíduos de Madeira. 2. Painéis de Partículas.
3. Inovação Tecnológica. 4. Revestimento. 5. Protótipo
Arquitetônico. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta e Urbanista **SABRINA FERNANDA SARTÓRIO POLETO.**

Título da dissertação: "Protótipo arquitetônico utilizando painéis com inovação tecnológica fabricados com partículas homogêneas de resíduos de madeira".

Data da defesa: 14/03/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Francisco Antônio Rocco Lahr (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Profa. Dra. **Rosane Aparecida Gomes Battistelle**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Bauru)

Aprovada

Prof. Dr. **Paulo Yassuhide Fujioka**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/IAU)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais:
Prof. Titular **Waldek Wladimir Bose Filho**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

Dedico essa Dissertação,

ao meu pai Vitório e minha mãe Célia que sempre apoiaram as minhas escolhas;
ao meu orientador e amigo Rocco, pela oportunidade e confiança;
à minha eterna amiga e orientadora Fatí, e àqueles que de alguma forma também
me orientaram.

Dedico a todos vocês que acreditaram no meu trabalho,
pois foi o que me levou a seguir sempre em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Vida, pela diversidade, pelas oportunidades, pelas experiências; pelo aprendizado, por ser intensa, única e linda;

Aos meus pais Vitório Poletto Neto e Célia Maria Sartório Poletto pela minha criação, educação e pelas palavras de incentivo ao longo de todas as etapas de minha formação acadêmica e profissional. Por me mostrarem a vida de um jeito mais fácil e simples do que ela realmente é. Por me darem a chance de escolher e por sempre estarem ao meu lado. Agradeço por eles serem mais do que meus pais, serem também meus amigos;

Ao meu irmão Breno Poletto e minha cunhada Sálua Kairuz por também me ajudarem e por me darem a alegria de ser tia do pequeno Miguel, que mesmo não compreendendo neste momento toda a sua importância neste meu trajeto, me fez sorrir e me deu energia pra continuar nos dias em que mais precisava;

Agradeço ao meu amigo João Lucas Marasca, pela compreensão, carinho, paciência, apoio, incentivo, conselhos, risadas, conversas, pela sua efetiva participação, por entender as minhas escolhas e o meu trabalho. Agradeço por respeitar quem eu sou, e mesmo longe, por estar sempre ao meu lado, meu namorado;

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, por mais esta oportunidade, pelo incentivo, amizade e pela orientação ao longo de todo o meu percurso da pesquisa científica. Também agradeço pelos ensinamentos que serviram não só para meu aprendizado acadêmico e profissional, mas também para meu crescimento pessoal;

À pesquisadora Maria de Fátima do Nascimento, por sempre acreditar em mim e no meu trabalho e por permitir que eu utilizasse de seus conhecimentos para o aprofundamento do meu. Pelo apoio e disponibilidade nas horas em que precisei, pela orientação e conselhos profissionais, pessoais e espirituais, e por toda a

energia positiva que tem;

Ao Prof. Dr. André Luis Christoforo, pela colaboração com seus conhecimentos, paciência, por sua dedicação e ajuda no momento final e essencial do meu trabalho;

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa;

Ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM, pertencente ao Departamento de Engenharia de Estruturas - SET, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – EESC/USP, pela concessão de uso de toda a infraestrutura para a realização deste projeto.

Agradecimentos aos amigos do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM, que de alguma forma também me ajudaram, em particular à doutoranda Marília da Silva Bertolini que contribuiu com seu trabalho para que eu pudesse realizar o meu.

Agradeço especialmente aos amigos Diego Henrique, Amós Magalhães e Luciano Varanda pelo companheirismo e ajuda no transcorrer de todo o meu trabalho, pelas conversas, risadas e pelos conselhos sinceros. Agradeço simplesmente por serem realmente meus amigos;

Aos professores e toda equipe técnica do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM, por tornar possível a realização dessa pesquisa, mas principalmente ao funcionário Aparecido Galindo, Cidão, pela amizade desde os trabalhos de Iniciação Científica e pela contribuição para colocar em prática o meu trabalho. Também agradeço ao Samuel que me ajudou a fazer com que o projeto se tornasse realidade;

Aos meus eternos amigos, pelo incentivo, pelo carinho e pelas palavras de apoio;

E por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Se planejamos para um ano,
Plantamos arroz.

Se planejamos para dez anos,
Plantamos árvores.

Se planejamos para cem anos,
Preparamos pessoas”.

(Antigo Provérbio Chinês)

RESUMO

POLETO, S. F. S.. **Protótipo Arquitetônico utilizando Painéis com Inovação Tecnológica fabricados com Partículas Homogêneas de Resíduos de Madeira.** 136 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

São vários os fatores que contribuem para o aumento dos resíduos de madeira no Brasil. Dentre eles, a exploração predatória dos recursos naturais, as técnicas rudimentares de desdobro da madeira, como também, a falta de uma política de gerenciamento em empresas que processam madeira em relação aos resíduos e seu destino final. Contudo, a crescente demanda industrial por recursos florestais pode ser de grande valia na construção civil e em indústrias moveleiras, se levados em consideração a otimização do uso dos resíduos do processamento da madeira para o desenvolvimento de produtos alternativos e com valor agregado. Dessa forma, diante do uso de Inovação Tecnológica e a viabilidade técnica constatada em pesquisas recentes para o reaproveitamento desses resíduos na forma de Painel de Partículas Homogêneas, PPH, este trabalho utilizou resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. tratados com CCB, para fabricação de Painéis usados na construção de um Protótipo Arquitetônico, em escala real, com o intuito de unir várias pesquisas num só espaço e confirmar os resultados dos trabalhos em que este se baseia visando avaliar a eficiência da aplicabilidade desses painéis como revestimento de pisos e paredes. Os Painéis foram fabricados, em escala de laboratório, a partir de resíduos de madeira provenientes de áreas de reflorestamento na região de São Carlos, SP, e obtidos em serrarias, marcenarias e indústrias locais. A avaliação de seu desempenho ocorreu de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810:2006 e normas internacionais (EUA e Canadá). A análise dos resultados e desempenho do Protótipo construído evidenciou a viabilidade e a eficiência do emprego destes painéis, possibilitando sua proposição ao mercado de revestimentos.

Palavras-chave: Resíduos de madeira. Painéis de partículas. Inovação tecnológica. Revestimento.

ABSTRACT

POLETO, S. F. S (2014). **Architectural Prototype using Technological Innovation Painels made of Homogenous Particles of Wood Waste**. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

There are several factors that contribute to the increase of wood waste in Brazil. Among them, the predatory exploitation of natural resources, the rudimentary techniques of wood processing, but also the absence of wood waste management policies. However, the increase of industrial demand for forest resources may be important for construction and furniture industries if considered the optimization of wastes from wood processing, for the development of alternative value-added products. Through the use of technological innovation and the technical feasibility found in researches to recycle these wastes in the form of homogeneous particleboard, HP, this study used *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp. wastes treated with Copper Chromium and Boron (CCB), for manufacturing panels used in the construction of an full-scale architectural prototype, that empirically test the efficiency of the applicability of these panels as floor coverings and walls. The panels were manufactured in laboratory using wood waste from reforestation areas in the region of São Carlos, São Paulo State, obtained from sawmills, joinery and local industries according to the Brazilian Standard ABNT NBR 14810:2006 and the international standard (USA and Canada). By monitoring the results and the excellent performance of the prototype built the work proved the feasibility and efficiency of the use of these panels in the coatings market.

Key words: Wood waste. Particleboard. Technological innovation. Coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de barrotes em forma de I com alma de OSB (a) e (b); e vigas estruturais (c).	38
Figura 2 – Exemplos de mobiliários e pequenos objetos.	39
Figura 3 – Paper log House: (a) conjunto de casas; (b) base da estrutura; e (c) interior da casa.....	39
Figura 4 – Mobiliários feitos com tubos de papelão.....	40
Figura 5 – Evolução da produção brasileira de painéis de madeira.	46
Figura 6 – Exemplo de montagem e espaçamento dos montantes.....	50
Figura 7 – Estudos de modulação feitos por Wright com blocos de concreto.	51
Figura 8 – Cavacos de <i>Pinus</i> sp. e <i>Eucalyptus</i> sp. tratados com CCB.	59
Figura 9 – (a) Picador, (b) Estufa, (c) Balança, (d) Encoladeira e (e) Prensa Hidráulica.	59
Figura 10 – Peneiras para análise granulométrica.	60
Figura 11 – Resíduos de <i>Pinus</i> sp. depois de picados e passados pela peneira de 2,8mm.	61
Figura 12 – (a) Mistura manual da resina com os resíduos; (b) resíduos sendo misturados na encoladeira; (c) prensa mecânica manual; (d) forma de madeira para formar o colchão; (e) pré – prensagem do colchão e (f) prensagem final do colchão na prensa hidráulica.....	62
Figura 13 – (a) Painéis em processo de cura, (b) processo de refilamento, (c e d) chapas finalizadas.....	63
Figura 14 – Corpos-de-prova para ensaios de flexão estática; densidade aparente; inchamento e absorção; adesão interna e abrasão, antes dos painéis ficarem expostos.....	64

Figura 15 – Máquina de ensaios universal AMSLER.	65
Figura 16 – (a) Preparando os corpos-de-prova para flexão; (b) ensaio de flexão dos corpos-de-prova dos painéis realizado na Máquina de Ensaio Universal, Amsler.....	69
Figura 17 – Ensaio de adesão interna.	70
Figura 18 – (a) Corpo-de-prova sendo pesado; (b) aparelho utilizado para fazer o teste; (c) teste sendo realizado; (d) corpos-de-prova antes de iniciar o teste; (e) corpos-de-prova após realizado o teste.....	71
Figura 19 – Localização do Protótipo.....	74
Figura 20 – Implantação do Protótipo (com e sem cobertura) em relação à orientação geográfica.	75
Figura 21 – Planta baixa do Protótipo de Revestimento – parede e piso	76
Figura 22 – Fachada do Protótipo de Revestimento – parede e piso	77
Figura 23 – Corte AA do Protótipo de Revestimento – parede e piso	78
Figura 24 – Detalhes dos encaixes dos painéis das paredes e do piso.....	79
Figura 25 – Maquete finalizada e com mobiliário.....	79
Figura 26 – Rodízios SHIOPPA.	80
Figura 27 – Peças metálicas.....	81
Figura 28 – Estrutura quase pronta, apenas sem os montantes.....	82
Figura 29 – Materiais usados para fazer a base: (a) ligação entre as vigas inferiores e as peças metálicas inferiores; (b) ligação entre vigas usando chapa de ferro dobrada no ponto onde não tem pilar; (c) base quadrada finalizada.....	85
Figura 30 – (a) Desbaste das toras, para serem usadas como montantes também; (b) base com pilares prontos e peças metálicas superiores com esperas para receber as vigas superiores.....	86
Figura 31 – Detalhes das ligações entre peça metálica e vigas superiores feito com cavilha de <i>Eucalipto</i> sp. ; e ligação das vigas superiores com a viga de travamento feita com pregos.	86

Figura 32 – Estrutura pronta e impermeabilizada.....	87
Figura 33 – Colocação dos rodízios	88
Figura 34 – Painéis de <i>Pinus</i> sp. prontas pra serem esquadrejadas.....	88
Figura 35 – Croquis dos painéis das paredes.	89
Figura 36 – Croqui de estudo de de revestimento sem encaixe	90
Figura 37 - Croqui de estudo de encaixes sobrepostos.	90
Figura 38 - Fresas para encaixes: (a) macho; (b) fêmea.....	91
Figura 39 – Dispositivo para encaixes: (a) fêmea; (b) macho.....	91
Figura 40 – (a) Confeccionando os frisos da frente utilizando serra e adaptações; (b) detalhe do friso da frente pronto.	91
Figura 41 – Encaixes e frisos finalizados.....	92
Figura 42 – (a) Recipiente contendo resina monocomponente à base de óleo de mamona; (b) aplicação.....	92
Figura 43 – (a) e (b) Início da colocação dos painéis impermeabilizados com Resina monocomponente a base de óleo de mamona (primeira parede e no lado interno).	93
Figura 44 – Detalhes de encaixe de uma chapa sobre a outra e como elas foram parafusadas.	93
Figura 45 – (a) Finalização da montagem da parede externa da primeira parede com resina; (b) Primeira parede acabada.....	94
Figura 46 – Paredes finalizadas.	94
Figura 47 – Croquis dos estudos de disposição do piso.	95
Figura 48 – (a) Passando cola de contato no tapete; (b) passando cola de contato no compensado; e (c) colagem das partes com cola.	96
Figura 49 – (a) Passando Osmocolor UV para pisos e decks nos painéis; (b) assentando os pisos por cima do tapete de borracha; (c) parafusando os painéis de pisos no tapete e compensado.	97

Figura 50 – (a) Acertando o encaixe entre as chapas dos pisos utilizando martelo (substituindo o bloco batedor); (b) desnivelamento e desalinhamento do piso.	97
Figura 51 – Protótipo exposto à chuva.....	98
Figura 52 – (a) Piso lixado; (b) aplicação da primeira demão; (c) piso finalizado. ...	98
Figura 53 – (a) Início montagem da estrutura da cobertura; (b) colocação da placa de policarbonato; e (c) finalização da cobertura.	99
Figura 54 – Protótipo finalizado e com mobiliário.	100
Figura 55 – Foto da Maquete eletrônica	100
Figura 56 – Disposição e flexibilidade do uso do mobiliário.....	100
Figura 57 – Painéis retirados das paredes internas e do piso para confecção dos corpos-de-prova.....	101
Figura 58 – Painéis retirados das paredes externas para confecção dos corpos-de-prova.....	102
Figura 59 – Gráficos de efeitos principais do fator envelhecimento natural sobre o MOR (a), MOE (b) e a RTP (c) dos fixados nas paredes do Protótipo.	111
Figura 60 – Gráficos de efeitos principais do fator envelhecimento natural sobre o MOR (a) e MOE (b) dos painéis fixados no piso do Protótipo.	113
Figura 61 – Parede interna e externa, respectivamente, impermeabilizadas com resina PU. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e foto (b) tirada em jan. de 2014.....	119
Figura 62 – Parede interna e externa, respectivamente, impermeabilizadas com resina PU. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e foto (b) jan. de 2014.....	119
Figura 63 – Corpos-de-prova: (a) dos painéis externos e (b) internos.....	120
Figura 64 – Paredes internas impermeabilizadas com Osmocolor UV. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e (b) jan. de 2014.....	120

Figura 65 – Paredes externas impermeabilizadas com Osmocolor UV. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e (b) jan. de 2014.	120
Figura 66 – Corpos-de-prova: (a) dos painéis externos e (b) internos	121
Figura 67 – Parede impermeabilizada com PU e com Osmocolor UV. Foto (a) de ago. 2013 e (b) de jan. de 2014.	122
Figura 68 – (a) Piso impermeabilizado com Osmocolor UV para deck em set. de 2013 e (b) foto do piso tirada em jan. de 2014.....	123
Figura 69 – Corpos-de-prova do piso após exposição à intempéries.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade para cada tratamento dos painéis ensaiados (BERTOLINI, 2011).	55
Tabela 2 – Variáveis dos tratamentos e resultados médios de ensaios de flexão dos painéis fabricados com <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB (NASCIMENTO, 2011).	57
Tabela 3 – Tratamento proposto para produção dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB de Bertolini (2011).	61
Tabela 4 – Tratamento proposto para produção dos painéis de <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB de Nascimento (2011).	61
Tabela 5 – Tratamentos estipulados para os painéis de fixação das paredes do Protótipo.	72
Tabela 6 – Valores médios do ensaio de Inchamento e Absorção - Painéis de <i>Pinus</i> sp. antes da exposição do Protótipo às intempéries.	105
Tabela 7 – Valores médios do ensaio de Inchamento e Absorção - Painéis de <i>Eucalyptus</i> sp. antes da exposição do Protótipo às intempéries.	105
Tabela 8 – Valores médios referentes à Absorção de Água em 2h e 24h.	105
Tabela 9 – Valores médios para Inchamento em Espessura em 2h e 24h.	106
Tabela 10 – Valores médios de Inchamento e Absorção do tratamento C – Painéis de <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB de Nascimento (2011).	106
Tabela 11 – Requisitos normativos	107
Tabela 12 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB para revestimento das paredes antes da exposição do Protótipo às intempéries.	108
Tabela 13 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB obtidos por Bertolini (2011).	108

Tabela 14 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB da parede interna impermeabilizada com PU após a exposição do Protótipo às intempéries.	108
Tabela 15 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB da parede externa impermeabilizada com PU após a exposição do Protótipo às intempéries.	109
Tabela 16 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB para revestimento das paredes antes da exposição do Protótipo às intempéries.	109
Tabela 17 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB da parede interna impermeabilizada com Osmocolor UV após a exposição do Protótipo às intempéries.	109
Tabela 18 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB da parede externa impermeabilizada com Osmocolor UV após a exposição do Protótipo às intempéries.	110
Tabela 19 – Resultados da ANOVA referente ao estudo dos painéis fixados nas paredes do protótipo.	110
Tabela 20 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB para revestimento do piso antes da exposição do Protótipo às intempéries.	112
Tabela 21 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Pinus</i> sp. com CCB obtidos por Nascimento (2011).	112
Tabela 22 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB do piso impermeabilizado com Osmocolor UV deck após a exposição do Protótipo às intempéries.	112
Tabela 23 – Resultados da ANOVA referente às propriedades mecânicas do fator envelhecimento natural dos painéis fixados no piso do Protótipo.	113
Tabela 24 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do <i>Pinus</i> sp. com CCB antes da exposição do Protótipo às intempéries.	114

Tabela 25 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB antes da exposição do Protótipo às intempéries.....	114
Tabela 26 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel interno de <i>Pinus</i> sp. com CCB revestido com PU após exposição do Protótipo às intempéries.....	115
Tabela 27 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel externo de <i>Pinus</i> sp. com CCB revestido com PU após exposição do Protótipo às intempéries.....	115
Tabela 28 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel interno de <i>Pinus</i> sp. com CCB revestido com Osmocolor UV após exposição do Protótipo às intempéries.....	115
Tabela 29 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel externo de <i>Pinus</i> sp. com CCB revestido com Osmocolor UV após exposição do Protótipo às intempéries.....	116
Tabela 30 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel do piso de <i>Eucalyptus</i> sp. com CCB revestido com Osmocolor UV deck após exposição do Protótipo às intempéries.....	116
Tabela 31 – Tabela de Desgaste dos painéis de resíduos de <i>Eucalyptus</i> sp. impermeabilizado com Osmocolor UV para deck.	117

LISTA DE SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de normas técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Florestas Plantadas
ANOVA	Análise de Variância
ANPM	Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira
ANSI	American National Standard Institute
AP	Arrancamento de Parafuso
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ArqTeMa	Arquitetura, Tecnologia e Materiais
ASTM	American Society for Testing Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado (óxido)
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPH	Chapas de Partículas Homogêneas
CS	Commercial Standard
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Inpa	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
IPi	Imposto sobre Produtos Industrializados
FAPESP	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
LaMEM	Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira
MDF	Medium Density Fiberboard

MDP	Medium Density Particleboard
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira
OSB	Oriented Strand Board
PB	Particleboard
PPH	Painel de Partículas Homogêneas
PVC	Cloreto de Polivinila
REMADE	Revista da Madeira
RTP	Resistência a Tração Perpendicular (Adesão Interna)
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
Suasa	Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
TP	Tração Perpendicular (Adesão interna)
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
USDA	United States Department of Agriculture
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS.....	29
2.1 OBJETIVO GERAL	29
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
3.1 PESQUISA CIENTÍFICA E SUA EXTENSÃO.....	31
3.2 RESÍDUOS: MADEIRA.....	32
<i>3.2.1 Reciclagem: madeira.....</i>	<i>34</i>
3.3 SUSTENTABILIDADE	35
<i>3.3.1 Construção e materiais alternativos</i>	<i>37</i>
3.4 REVESTIMENTOS: PAREDES E PISOS	40
<i>3.4.1 Mercado de Painéis e de Revestimento no Brasil.....</i>	<i>40</i>
3.5 ALGUMAS PESQUISAS CORRELATAS: MATERIAIS ALTERNATIVOS	42
3.6 PAINEL DE PARTÍCULAS.....	44
<i>3.6.1 Painéis de Partículas com resíduos de madeira tratada com CCB.....</i>	<i>47</i>
3.7 SISTEMAS ESTRUTURAIS E PRINCÍPIOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	49
3.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	52
4 MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1 COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS QUE REVESTEM AS PAREDES	54
4.2 COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS QUE REVESTEM O PISO	56
4.3 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS E PROPRIEDADES DAS PARTÍCULAS	58
4.3 ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS PARA VERIFICAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO ...	63
<i>4.3.1 Ensaios de caracterização física.....</i>	<i>65</i>
4.3.1.1 Obtenção da densidade dos painéis.....	65
4.3.1.2 Razão de compactação	66
4.3.1.3 Ensaios de Inchamento em espessura e de absorção de água	66
<i>4.3.2 Ensaios de caracterização mecânica.....</i>	<i>67</i>
4.3.2.1 Flexão estática - obtenção de MOR e MOE	67
4.3.2.2 Ensaio de Adesão interna.....	69

4.3.2.3 Ensaio de Abrasão	70
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	71
4.6 PROTÓTIPO DE REVESTIMENTO.....	73
4.6.1 <i>Localização e implantação do Protótipo.....</i>	74
4.6.2 <i>Desenhos técnicos e maquete virtual do Protótipo de Revestimento</i>	75
4.6.3 <i>Relação dos materiais utilizados na montagem do Protótipo.....</i>	79
Rodas e Rodízios'	80
Compensados	81
Peças de madeira roliça.....	81
Peças metálicas de ligação.....	81
Peças de madeira com seção retangular	82
Verniz	83
Fundo anticorrosivo verde e esmalte para as peças metálicas.....	83
Painéis	83
Resina e impermeabilizantes	83
Rolos e trinchas	84
4.6.4 <i>Construção do Protótipo</i>	84
4.6.4.1 <i>Etapas de montagem do Protótipo</i>	85
.....	100
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	101
5.1 RESULTADOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS PARTÍCULAS	102
5.1.1 <i>Densidade antes da exposição do Protótipo às intempéries.....</i>	102
5.1.2 <i>Teor de umidade.....</i>	103
5.1.3 <i>Razão de compactação.....</i>	104
5.1.4 <i>Inchamento e Absorção antes da exposição do Protótipo às intempéries</i>	104
5.1.3.2 <i>Discussão dos resultados das análises físicas</i>	106
5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS	107
5.2.1 <i>Flexão – MOR e MOE antes e após exposição do Protótipo às intempéries</i>	107
5.2.3 <i>Adesão Interna antes e após exposição do Protótipo às intempéries.....</i>	114
5.2.4 <i>Abrasão antes da exposição do Protótipo às intempéries</i>	116
5.2.5 <i>Discussão dos resultados das análises mecânicas</i>	118
5.3 DEMAIS ANÁLISES SOBRE OS PAINÉIS.....	118
5.3.1 <i>Análise qualitativa</i>	118
- Paredes internas e externas de <i>Pinus</i> sp. com CCB e impermeabilizadas com resina poliuretana (PU) a base de mamona (Figura 61, 62 e 63).	119

- Paredes internas e externas de <i>Pinus</i> sp. com CCB e impermeabilizadas com Osmocolor UV (Figura 64, 65 e 66).	120
- Piso de <i>Eucaliptus</i> sp. impermeabilizado com Osmocolor para deck com UV.	122
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	125
REFERÊNCIAS.....	128

1 INTRODUÇÃO

Apesar de disponíveis grande diversidade de espécies tropicais, de recursos naturais e fontes de energia no Brasil parecer infindáveis, a exploração em sua grande maioria é feita de maneira predatória. Este fato juntamente com as técnicas precárias e rudimentares utilizadas para a extração florestal e para o processo de desdobro da madeira só contribui para a degradação ambiental e para o aumento dos resíduos.

Também contribuem para isso, o crescimento populacional e consequentemente o aumento das atividades humanas e de sua demanda por recursos florestais e industrializados.

As leis ambientais estabelecem o uso sustentável dos recursos e a participação de todos os níveis da sociedade para colaboração na redução dos resíduos gerados, assim como, o ato de reciclar visando a proteção ambiental.

Dessa maneira, arte, ciência, e tecnologia podem contribuir para solucionar os problemas relativos ao descarte final da madeira.

A madeira maciça pode ser reutilizada de várias maneiras, ganhando outras formas ou simplesmente outra utilidade. Na arquitetura, em alguns casos, busca-se a recuperação de peças ou móveis antigos para reintroduzi-lo na construção com mesma função ou não.

Contudo existe a possibilidade de reaproveitamento não só da madeira maciça, mas também, de seus resíduos na forma de subprodutos.

Madeiras de reflorestamento, em que o manejo e a extração são controlados e consequentemente seu aproveitamento é melhor, assim como, resíduos de marcenaria, serrarias e de indústrias, são ideais para criação de novas tecnologias da madeira.

Pesquisas anteriores mostraram a viabilidade do reaproveitamento de resíduos de madeira tratados com Borato de Cobre Cromatado (CCB), para fabricação de painéis, em escala de laboratório.

Portanto, este trabalho propõe a união entre as várias áreas para criar novas tecnologias para o reaproveitamento dos insumos de madeira, provenientes de áreas de reflorestamento de São Carlos, SP, e obtidos em serrarias e marcenarias locais, na forma de painel de partículas para aplicação como revestimento e

mobiliário na edificação.

Estes painéis tiveram suas propriedades físicas e mecânicas testadas por meio de métodos de ensaios pautados no documento normativo ABNT NBR 14810: 2006 – Chapas de Madeira Aglomerada; e pelas normas americanas ANSI A208.1-1999 – Particleboard Physical & Mechanical Properties Requirements e ASTM 1037 - 1999 e; canadense CS 236-66 -1968 - Commercial Standard.

E, para confirmar o potencial destes painéis, foi construído um Protótipo em escala real para testar sua aplicação e exposição às intempéries, possibilitando que o painel passasse pelas situações ensaiadas anteriormente em laboratório.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo teve por objetivo produzir painéis de partículas a partir de resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., tratados com CCB, e resina poliuretana à base de mamona, que serão utilizadas na construção de um Protótipo em escala real a fim de avaliar o desempenho físico-mecânico destes painéis aplicados como revestimento de piso e parede.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Reutilizar materiais sustentáveis: madeira de reflorestamento e resíduos de processamento de serraria e marcenaria, assim como, utilizar como adesivo um material parcialmente renovável oriundo de recursos naturais (resina poliuretana à base de óleo de mamona);
- Produzir, em escala laboratorial, Painéis de Partículas Homogêneas (PPH), utilizando resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., tratados com Borato de Cobre Cromatado (CCB);
- Criar novas tecnologias: utilizar os painéis produzidos como revestimento de pisos e paredes;
- Construir uma estrutura para o revestimento e vedação baseado nas estruturas pré-fabricadas existentes, porém fazendo as adequações necessárias às características e propriedades dos Painéis de Partículas. O sistema também teve que levar em consideração as pequenas dimensões dos painéis fabricados em laboratório.

- Realizar ensaios físicos e mecânicos dos painéis confeccionados e comparar os resultados com aqueles já obtidos em trabalhos anteriores: Bertolini (2011) e Nascimento (2011), para confirmação do procedimento da produção e dar prosseguimento à pesquisa;

- Avaliar de modo qualitativo os painéis produzidos para construção de um Protótipo, em escala real, mediante sua exposição às intempéries e por meio de registro fotográfico, fazendo uma análise sobre as modificações ocorridas ou não;

- Avaliar o desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos para revestimento do Protótipo através de ensaios físico-mecânicos com a finalidade de comparar com os realizados antes e depois da sua exposição no tempo;

- Concluir quais fatores influenciaram ou não no desempenho físico-mecânico dos painéis por meio da Análise de variância (ANOVA);

- Obter produtos sustentáveis e diferenciados devido à flexibilidade de aplicação e de moldagem do painel de partículas se comparados à madeira maciça.

- Gerar produtos através do processo criativo da Arquitetura e dos estudos de novas tecnologias pela Engenharia, com qualidade para sua inserção no mercado atual de revestimento dentre os outros segmentos da construção civil; assim como, aperfeiçoar o conhecimento do que envolve a produção e utilização de revestimentos de madeira a fim de colaborar com o setor produtivo madeireiro.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pesquisa científica e sua extensão

Cada vez mais o fenômeno da divulgação científica e da inserção dos temas da ciência e da tecnologia estão sendo difundidos no dia-a-dia de nossa sociedade.

Furtado (2005), em um de seus artigos para o jornal A Folha de São Paulo escreveu “Se a excelência de um cientista resulta do binômio imaginação e coragem, há momentos em que se amplia por sua atuação no plano político, pela responsabilidade de interferir no processo histórico.”.

Portanto, a extensão do conhecimento do pesquisador para além da Universidade é imprescindível para fazer com que os temas pesquisados não fiquem somente no campo teórico e restritos ao conhecimento de poucos. É neste âmbito que se pensou em dar continuidade de forma experimental a algumas pesquisas já desenvolvidas anteriormente e recentemente no LaMEM (Laboratório de Madeira e Estrutura de Madeira), da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, e que utilizaram resíduos de madeira tratados com CCB e resina poliuretana à base mamona como adesivo para fabricação de Painéis de Partículas Homogêneas. Considerando a aplicabilidade dos painéis como revestimento, optou-se por trabalhar com os painéis cujos resultados atenderam as exigências normativas utilizadas, mas que também se adequavam melhor a proposta de desenvolver e construir um Protótipo Arquitetônico em escala real (show room).

A proposta buscou conciliar num só projeto: ciência, inovação tecnológica, arte e criação e questões referentes à sustentabilidade. Pois:

Embora existam distinções teóricas e metodológicas fundamentais entre arte e ciência, há entre elas algo poderosamente comum. Trata-se da finalidade da criação e da geração de conhecimento por meio da formulação de conceitos abstratos e, ao mesmo tempo, por paradoxal que pareçam tangíveis e concretos. Na ciência essas características resultam da demonstração lógica e da experiência e, na arte, da metáfora e da vivência (VOGT, 2003).

Dessa maneira, esse trabalho se enquadra no que Vogt (2003) chama de

Cultura Científica, segundo o qual, é a expressão mais adequada dentre outras, para explicar a divulgação e inserção científica e tecnológica no cotidiano de nossa sociedade.

Portanto, é preciso entender os fatores que levaram a propor esse trabalho de Cultura Científica e o que motivou a escolha de reaproveitamento de resíduos de madeira para criação de um protótipo em escala real.

3.2 Resíduos: madeira

A Política Nacional de Resíduos Sólidos foi instituída pela lei nº 12.305, em 02 de Agosto de 2010. Segundo o inciso XVI do Art. 3º, resíduo é:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Segundo Alves (2012), em artigo para a Revista Arquitetura & Construção, nos grandes centros urbanos, o aumento da geração de resíduos tem sido maior do que o aumento da população. De 100% de resíduos sólidos recolhidos por dia na capital do estado de São Paulo, 35% seriam recicláveis, mas por negligência, ainda somente por volta de 1% desse lixo é efetivamente reciclado. Isso gera altos custos com limpeza que poderiam ser revertidos para melhoria de vida da população.

É por esse motivo que a lei referida acima institui como necessidade as ações conjuntas de pesquisadores, sociedade e indústrias, além da prática da Responsabilidade Compartilhada e da política da Logística Reversa.

A Responsabilidade Compartilhada prevê a desconcentração da responsabilidade única do Estado, que mesmo sendo ainda o principal responsável, tem o cidadão comum, produtor do lixo doméstico, as indústrias e aqueles que realizam atividades agropastoris, também como aliados para contribuição com a política nacional de resíduos sólidos. Já o conceito da Logística Reversa é priorizar a utilização de resíduos para reintroduzi-los no ciclo de vida produtiva, segundo inciso

XII do art. 3º da Lei nº 12.305/10.

É grande a quantidade de rejeitos devido à intensa exploração florestal no país, que ainda é feita de maneira impensada. Segundo artigo da Revista Referência (2003) estipula-se que cerca de 20% da massa de uma árvore seja deixada na área do corte. Cerca de 50% da tora é desperdiçada no final do processo de desdobro.

Contribui para esses números, as técnicas rudimentares ainda empregadas para o processamento de madeira no Brasil em diversos segmentos industriais, em particular de indústrias moveleiras e em serrarias e marcenarias. Contudo, esse cenário pode ser alterado e se tornar de grande valia para vários setores da construção civil e mobiliário, desde que feita de maneira racionalizada, equilibrada e utilizando os princípios já mencionados pela a lei 12.305/2010, que também introduziu um novo conceito: Ecoeficiência. Segundo inciso V da mesma lei, o termo Ecoeficiência, refere-se à inserção de produtos com qualidade e que sejam competitivos no mercado, respeitando ao mesmo tempo, o meio ambiente e os recursos nele disponíveis para que não haja um desequilíbrio na manutenção da biomassa.

Por meio de estudos realizados sobre o aproveitamento de resíduos do processamento florestal em Santiago de Compostela na Espanha, Rivela et al. (2004) concluiu que devido a questões ambientais, econômicas e sociais, o uso de resíduos do processamento de florestas para fabricação de painéis de partículas é mais viável que seu aproveitamento para produção de energia.

Segundo DaCosta (2004), o aproveitamento de resíduos para a produção de painéis aglomerados pode ser provindos de recursos florestais, de madeiras reflorestadas, e ainda de resíduos agroindustriais.

Portanto, considerando o esgotamento dos recursos naturais e as limitações em se trabalhar com a madeira maciça em determinadas situações, visando também seu maior aproveitamento, vê-se a realização dessa pesquisa como alternativa para solucionar os pontos levantados.

Também, pensando na viabilidade técnica já constatada em pesquisas anteriores para se produzir painéis com resíduos de madeira e na tecnologia existente para produção dos mesmos, busca-se minimizar ao máximo o problema ambiental quanto ao aumento da quantidade de resíduos gerados do processamento da madeira, reaproveitando-os na forma de painel, cujo valor agregado pode ainda

ser maior se o painel for direcionado para usos específicos e compatíveis para cada tipo de resultado obtido em ensaios.

3.2.1 Reciclagem: madeira

A lei 12.305/2010, também busca objetivar a proteção da saúde pública e a qualidade ambiental, através de práticas como a de não geração de resíduos sólidos, ou de sua redução, reutilização, reciclagem e devidos tratamento dos mesmos, bem como a disposição final dos rejeitos de maneira adequada, quando somente estes não apresentarem outra opção. Ressaltam-se os processos de reciclagem, compostagem, recuperação, tratamento, a reutilização, dentre outros considerados relevantes pelo Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente), SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e Suasa (Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária), como sendo os adequados para a destinação dos resíduos sólidos.

De acordo com os incisos XV, XVI, XVII e XVIII da mesma lei referida, a reciclagem é um processo de transformação das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas dos resíduos sólidos, que tem como produto final, insumos, rejeitos ou novos produtos. A recuperação do resíduo sólido consiste em seu tratamento utilizando processos tecnológicos disponíveis e a sua reutilização diz respeito ao processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos sem que estes passem por transformações das propriedades.

Segundo Almeida (2011), as empresas e indústrias deveriam considerar a ciência como uma grande aliada em se tratando de reaproveitamento de resíduos e redução de poluição do meio. Seus planos de gerenciamento já deveriam considerar soluções que visam à interação entre ciência e empresas, como uma parceria.

Entende-se, portanto, o ato de reciclagem de resíduos como uma série de processos e ações técnicas, científicas, sociais e culturais que só terão êxito e eficiência com a cooperação de todas e diferentes esferas do poder público, do setor empresarial e demais segmentos da sociedade. Dessa maneira, a lei 12.305/2010 incentiva a adoção de técnicas sustentáveis de produção, bem como o desenvolvimento de tecnologias limpas e seu aprimoramento. As indústrias de reciclagem se tornam importantes por fazer uso de matérias-primas de insumo e de

derivados de materiais recicláveis e reciclados, como forma de reduzir o volume de resíduos no meio ambiente com o objetivo de encontrar soluções e iniciativas viáveis e sustentáveis que minimizem o impacto negativo na natureza.

3.3 Sustentabilidade

Desenvolvimento sustentável é definido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD (1991), como sendo “um processo de transformação, no qual, a exploração de recursos, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades humanas.”.

É importante ressaltar que:

A preocupação com a educação ambiental nunca foi e não é uma preocupação de natureza romântica ou emocional. É algo muito mais sério, que se confunde com o exercício de cidadania. Por isso, nenhuma pessoa que seja chamada a falar sobre este tema irá enveredar pelo discurso em torno (...) das espécies em extinção, pura e simplesmente. Se o fizer, será porque precisou destacar que esses elementos fazem parte de um conjunto muito mais completo e mais substancial, que é a manutenção da vida na terra (COIMBRA, 1998).

Uma das principais questões debatidas desde o início do século XXI é a conscientização relativa à necessidade da preservação dos recursos naturais para possibilitar a manutenção sistemática das atividades humanas no planeta. O consumo predatório de madeiras de florestas plantadas no Brasil induz à reflexão para melhor aplicação dos resíduos gerados pelas indústrias do setor madeireiro, serraria e marcenaria.

Entre os recursos naturais mais relevantes, destacam-se os relacionados à biomassa. Nela, é fundamental a consideração dos resíduos provenientes da exploração florestal, seja das áreas de mata nativa, seja dos plantios em regiões de reflorestamento, ou dos resíduos provenientes do processamento nos diversos segmentos industriais, em particular de serraria e marcenaria.

O setor madeireiro no Brasil se depara com questões sobre a utilização de

madeira de áreas de reflorestamento direcionando a reflexão de melhor estruturação e melhor aplicação dos resíduos.

Em se tratando de construção civil, além dos aspectos físicos, econômicos, sociais e culturais, outra questão que tem sido bastante discutida é a ambiental. A preocupação agora não é só produzir com qualidade, mas com qualidade ambiental, destacando o ciclo de vida de todo o processo da cadeia produtiva. Há que se considerarem as necessidades das gerações futuras nas decisões tomadas no presente para um desenvolvimento sustentável.

Portanto, Sustentabilidade é: "Suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas." (BRUNDTLAND, 1987, p. 1).

A transformação estrutural de nossa sociedade para um modelo sustentável não depende de um maior interesse de pessoas pelo meio ambiente ou de mais adeptos a defesa do meio, "[...] é mais de uma releitura das nossas relações com o meio, pensando-as de forma holística, e também da nossa capacidade de agregar tecnologias e incorporar de fato conceitos ambientais à nossa conduta cotidiana." (SCURZIO).

No livro *Manual do Arquiteto Descalço*, de Lengen (2008), Lerner escreveu que a responsabilidade pela construção do futuro é da humanidade. Segundo ele, não podemos ignorar as devastações do meio em prol de um progresso acelerado, mesmo que isso signifique ter que diminuir o ritmo e buscar soluções desde as mais simples.

O sistema capitalista e a evolução tecnológica exigem rapidez na busca de soluções e surgimentos de novas ideias, porém nem sempre as resoluções complexas correspondem a ideias totalmente inovadoras e que atendem as necessidades da sociedade.

Lerner acredita que os "vendedores de complexidade", como ele denominou as pessoas que buscam resoluções pelos caminhos mais difíceis por achar que é mais glamoroso ou por terem mais benefícios materiais, não entendem que pode ser a partir de elementos mais simples que se cria um sistema mais avançado e para um futuro mais equilibrado.

Assim, o desenvolvimento sustentável busca o consumo de matérias-primas naturais não renováveis de maneira mais racional. O papel do pesquisador neste momento também é extrema importância quanto à necessidade de desenvolvimento

de novas tecnologias e processos construtivos que busquem alternativas ambientais que consumam menos energia, mas que resultem em produtos com desempenho técnico eficiente, seguro e que sejam economicamente competitivos no mercado.

3.3.1 Construção e materiais alternativos

A inacessibilidade de grande parte da população brasileira a habitação com o mínimo de qualidade tem impelido os pesquisadores a buscar alternativas aos materiais tradicionais, como por exemplo, o papelão ondulado aplicado como vedação avaliado por Ino (1984), em sua dissertação de mestrado.

Ino (1984) ainda afirma que os materiais derivados da madeira, como as chapas de fibras de madeira e as chapas de madeira aglomerada fabricadas a partir de madeira de reflorestamento, classificáveis como lenha, não atingiram, neste país, o nível de qualidade e de custo compatíveis com a sua utilização na construção de casas.

Em sua tese de doutorado, Ino (1992) expõe a precariedade das construções, a ausência de sistema de controle de qualidade (normas, especificações e critérios técnicos de avaliação), a ausência de mecanismos de fiscalização e leis e consequentemente um baixo nível de exigência. Ela também constata que as novas alternativas de construção no setor habitacional são introduzidas no mercado sem passar por uma prévia comprovação de desempenho. Como inexiste um acompanhamento das informações do desempenho estas são perdidas, não havendo a realimentação para melhoria das alternativas propostas.

Como solução aos problemas do meio ambiente e habitação, a autora acima citada propõe o sistema de reflorestamento e a utilização desta madeira na construção de habitações. Entretanto, ela aponta dois entraves para o desenvolvimento dessa proposta: a necessidade de desenvolver mais a tecnologia construtiva em madeira no país e a existência de preconceito de grande parcela da população em relação ao uso de madeira na construção de casas e edifícios.

A preocupação relativa aos preconceitos contra as casas de madeira tem a sua importância, porém devem ser ressaltadas as grandes vantagens inerentes ao material:

- facilidade de manuseio e grande trabalhabilidade;
- grande resistência mecânica;
- material proveniente de reserva renovável;
- material orgânico;
- grande flexibilidade ao ambiente construído;
- possibilidade de reaproveitamento;
- baixa quantidade de energia gasta para sua obtenção e

processamento.

Os painéis, segundo Ino (1992), são considerados aqueles que apresentam maior facilidade de industrialização, diminuindo o trabalho no canteiro. A maioria das casas pré-fabricadas existentes no mercado é feita desta forma.

Seguem exemplos de aplicação de painéis particulados como alma de vigas e como barrotes, na Figura 1. Na Figura 1a os painéis são utilizados como barrotes para a instalação de pisos ou telhados. As Figuras 1b e 1c mostram exemplos de vigas estruturais em forma de I.

Figura 1 – Exemplos de barrotes em forma de I com alma de OSB (a) e (b); e vigas estruturais (c).
Fonte: APA

Na indústria de mobiliário, os painéis são utilizados tanto para fazer somente a estrutura do móvel, bem como, todo ele (mesas, estantes, prateleiras, bancos e outras correlatas). Pequenos objetos também podem ser produzidos (porta canetas, jogos com peças, incensários, pesos de mesas etc.), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Exemplos de mobiliários e pequenos objetos.
Fonte: LaMEM

O Arquiteto japonês Shigeru Ban, dedicou anos de sua vida fazendo projetos de boa qualidade e utilizando material barato para as pessoas menos favorecidas da sociedade. Estudou materiais alternativos e tornou-se ainda mais conhecido por projetar habitações provisórias utilizando tubos de papelão, como no caso da Paper Log House (Figura 3), para os desabrigados de Kobi após um terremoto em 1995. Faz estruturas desde as mais simples, até as mais complexas usando o papel. Além do uso deste material para construção, também faz projetos de mobiliários com ele (Figura 4). Desde então seus projetos muitas vezes criados para ser algo temporário acabam se tornando espaços permanentes (SHIGERU BAN ARCHITECTS, 2013).

Figura 3 – Paper log House: (a) conjunto de casas; (b) base da estrutura; e (c) interior da casa.

Fonte: Shigeru Ban Architects

Figura 4 – Mobiliários feitos com tubos de papelão.
Fonte: Shigeru Ban Architects

Ressalta-se a importância de dar continuidade e aprofundamento aos estudos para que os painéis sejam aplicados em quaisquer setores da construção civil: como revestimentos, estruturas, mobiliários e pequenos objetos.

3.4 Revestimentos: paredes e pisos

Segundo Apostila de Materiais de Construção II (2004), desenvolvida pelo grupo ArqTeMa (Arquitetura, Tecnologia e Materiais) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, vários materiais são usados como revestimento (vedação vertical) de paredes: alvenaria comum, tijolos cerâmicos, esquadrias de aço ou alumínio e vidro e painéis. A vantagem da parede vedada com painéis é sua rapidez na montagem, permite passagem de instalações elétrica, pode ser feita com menores densidades e espessuras se comparadas as paredes de alvenaria, 25 a 40 kg contra 300 a 500 kg, respectivamente.

Já piso é definido segundo Silva et al. (2002), como sendo “[...] uma superfície qualquer, contínua ou descontínua, construída com a finalidade de permitir o trânsito pesado ou leve.”

3.4.1 Mercado de Painéis e de Revestimento no Brasil

A madeira empregada na construção civil no Brasil pode ser classificada simplificada de duas formas: maciça ou industrializada (FAGUNDES, 2003).

No caso, a madeira industrializada corresponde à madeira processada:

reconstituída e serrada.

Mas a maior parte da madeira utilizada na construção civil no Brasil ainda não é para uso permanente. De acordo com Biazus et al. (2009) os painéis estão sendo inseridos no mercado para substituir a madeira maciça usada em mobiliários, portas, pisos e rodapés.

A concentração de indústrias de pisos está em sua maioria no norte e centro oeste do país e em seguida, sul e sudeste. As indústrias de pisos estão localizadas principalmente no Pará, Mato Grosso e Paraná. China, Indonésia, Malásia e Áustria são os principais exportadores de pisos (56,6%). Os principais importadores de pisos de madeira ainda são os EUA, Alemanha e Itália (41,9%) (ANPM, 2011).

Segundo Andrade, gerente executivo da Associação Nacional dos Produtores de Piso de Madeira (ANPM), após a crise econômica mundial, em 2007, o mercado de pisos teve uma retração, causando o fechamento de várias indústrias e forçando o Brasil a trabalhar com produtos semielaborados.

A construção civil e a indústria moveleira também foram afetadas nos anos seguintes e conseqüentemente o consumo de painéis de madeira reconstituída. Como foram mantidos os mesmos investimentos do período anterior da crise durante a fase crítica, o setor continuou a produzir a mesma quantidade de painéis do ano de 2008, cerca de 5,3 milhões de metros cúbicos. No final de 2009, ocorreu a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para os móveis de madeira, de 10% para 0%, com o intuito de impulsionar novamente os fabricantes de painéis de madeira e a indústria mobiliária. (ABRAF, 2010). Posteriormente e de forma gradativa, esse incentivo foi retirado em função da recuperação da economia brasileira.

Portanto, o uso de resíduos de madeira para fabricação de painéis para aplicação no setor de revestimento, tanto de piso como de parede, é uma alternativa interessante em meio a buscas de produtos que possuem valor agregado, mas diferenciado em relação aos pisos comuns existentes no mercado.

De acordo com informações da ANPM (2011), o mercado de painéis de madeira é voltado ao consumo interno para suprir demandas de setores específicos. Esse setor acaba contribuindo mais fortemente para a exportação e geração de empregos. O setor de pisos no Brasil ainda é pequeno em termos produtivos. E 68% do consumo de pisos são preferencialmente de apenas três espécies de madeira.

Segundo ABRAF (2012), a produção de madeira processada em 2012 aumentou em relação ao ano anterior, especificamente a de compensado, que teve um incremento da ordem de 17%. Já, o seu consumo foi 10% superior, atendendo principalmente os segmentos moveleiros e da construção civil.

Enfatiza-se que é necessário ampliar a oferta de espécies e a variedade de produtos para este mercado. Assim, os revestimentos feitos com resíduos de madeira é uma alternativa para diversificar essa produção e oferecer produtos e espécies diferenciadas.

3.5 Algumas pesquisas correlatas: materiais alternativos

Fagundes (2003) afirma que a falta de qualidade das madeiras disponíveis para a população é consequência de um mercado consumidor pouco exigente. Porém, mesmo com novos produtos industrializados e concorrentes (aço, alumínio e PVC) disponíveis no mercado, a madeira ainda é muito procurada para aplicação na construção civil, principalmente nos países industrializados, pela sua beleza, resistência, leveza, conforto visual e tátil, entre outros fatores.

Esse fato somado a escassez de madeiras nobres, “madeiras de lei”, braúna e jacarandá, estimulam a investigação sobre o tema e contribui para a formação de uma cultura relacionada à busca de soluções para os problemas ambientais e de novas alternativas para o setor da construção civil.

Dias (2005) apresenta, em sua tese, estudos de painéis de partículas de madeira aglomeradas, fabricadas com resina poliuretana a base de mamona. Os resultados de MOR apresentaram valores médios de 18 MPa e MOE 3034 MPa, superando os valores mínimos exigidos pelas Normas NBR 14810-2, ANSI A 208.1 (USDA) e CS 236-66.

Já Silva (2009) relata em seu trabalho de Pós Doutorado, a possibilidade de fabricação de CPH (Chapas de Partículas Homogêneas) de baixa e média densidade, com resíduos de madeiras tropicais apresentando resultados satisfatórios com valores médios de MOR acima da Norma NBR 14.810 – 2.

Em relatórios de Iniciação Científica, Poletto (2007) e Poletto (2009), apresenta resultados de estudos realizados com fabricação de CPH com resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. Concluiu-se que o processo de produção das mesmas é possível e

tem características positivas, haja vista o crescimento dos valores de MOR e MOE.

Dias, Lahr e Nascimento (2008), reforçam os estudos realizados, no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, no Departamento de Engenharia de Estruturas, apresentam resultados de MOR, MOE, TP e AP em igualdade de condições e superiores as Normas NBR 14810-2, ANSI A 208.1 (USDA) e CS 236-66, demonstrando condições de aplicabilidade na construção civil, arquitetura e indústria moveleira, tais como: vedação, revestimentos, móveis, design, pequenos objetos, etc.

Paes et al. (2011), testou a qualidade de painéis produzidos com resíduos de madeira de *Pinus elliottii* em diferentes combinações de temperatura e pressão. O autor concluiu que a temperatura foi a variável preponderante na qualidade das chapas produzidas. Chegou-se a essa constatação comparando chapas confeccionadas com temperatura de 50, 60 e 90 °C. As duas últimas apresentaram melhor resistência, rigidez e ligação interna nas mesmas condições de pressão de prensagem de 3,5 MPa, comparadas aquelas que foram prensadas a temperatura de 50 °C.

Segundo artigo na Revista Arquitetura & Construção (2012), Pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) juntamente com os do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), testaram nos laboratórios da Universidade um novo material produzido a partir da mistura das denominadas madeiras amazônicas de crescimento rápido (balsa, caroba e embaúba), com polímeros. Este material foi desenvolvido para ser aplicado em decks, paredes, mourões, portões, pontes e passarelas. Os testes comprovaram que o material pode ser usado de modo a substituir as madeiras nobres e o polímero cloreto de polivinila (PVC), pois apresenta maior leveza, igual durabilidade e ainda não necessita de manutenção.

Portanto, o Painel de Partículas Homogêneas, com o qual se pretende trabalhar, é mais uma alternativa frente a várias outras já existentes para construção: cimento reciclado, pedra, argila, bambu como estrutura e vedação, adobe e solo cimento. Também é uma alternativa aos materiais reciclados como pneus, sacos de fibras, papelão, tetra pak, embalagem de pet e garrafas de vidro.

3.6 Painel de partículas

“Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas.” (ZENID et al., 2004).

Os painéis são materiais compostos, ou seja, são formados pela união de dois ou mais materiais de naturezas diferentes e geralmente resultam em um material de desempenho superior para algumas propriedades comparadas ao de seus componentes tomados separadamente. Segundo Pereira (2007), o material resultante é um arranjo de fibras ou de partículas, contínuas ou não, de um material resistente (reforço) que são impregnados em uma matriz de resistência mecânica inferior as das fibras ou partículas.

O painel aglomerado pode apresentar uma ou várias camadas homogêneas. Neste trabalho pretende-se utilizar o painel de uma única camada homogênea. De acordo com o item 2.8 da norma NBR 14.810-1, chapa aglomerada é um produto em forma de painel, que pode variar de 3 mm a 50 mm de espessura.

A madeira é picada e transformada em partículas, as quais são submetidas à secagem. Aplica-se então a resina, e em seguida é prensada a certa temperatura e pressão, formando assim, o painel (TOMASELLI, 2000).

A quantidade de adesivo para a produção dos painéis aglomerados geralmente está entre 6 a 12%. E sua distribuição deve ser de maneira uniforme sobre a superfície das partículas para que as propriedades também fiquem distribuídas de maneira uniformes sobre todo o painel produzido (IWAKIRI, 2005).

Segundo Kollmann et al. (1975), a ideia de produzir chapas de partículas vem sendo desenvolvida ao longo da história. A origem das chapas de madeira aglomerada tem sua primeira patente em 1901, (USP Watson, sob o número 796545). Outras patentes foram se sucedendo a partir de 1929. Nos anos 40, a primeira produção de Painéis de Partículas de Madeira se efetivou na Alemanha, devido à escassez de madeira durante a 2ª Guerra. Durante o ano de 1941, foi criada a primeira plantação destinada à produção de chapas de partículas de madeira aglomerada que teve início em 1943 com pequenas duas empresas utilizando resíduo de serragem. Já em 1944, com a evolução tecnológica, desenvolveram-se as primeiras máquinas para a indústria de chapas de partículas.

Atualmente, a produção de Chapas de Partículas continua abrangendo a Europa, Alemanha, EUA, América do Sul, incluindo o Brasil, que teve sua primeira indústria de chapas de aglomerado instalada em Curitiba, em 1966.

Desde então, os painéis têm ganhado espaço no mercado mundial e principalmente os Painéis de Média Densidade – Medium Density Particleboard (MDP) pelas vantagens apresentadas. Dentre eles o de partículas, conhecido mais comercialmente como aglomerado e que vem ganhando destaque de acordo com Tomaselli (2000), ABNT (2006), Nascimento (2003), Iwakiri (2005), Dias (2005) entre outros, pelas seguintes características:

- Considerável redução dos efeitos da anisotropia;
- Redução de defeitos como, os nós, e consequente redução na resistência da madeira;
- As exigências quanto às características da matéria-prima a ser utilizada na fabricação dos painéis são menores.
- Possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas através das variáveis de processo de produção (resina, geometria de partículas, densidade do painel, tempo temperatura de prensagem etc), permitindo a adequação do painel para sua finalidade.
- Possibilidade de reaproveitamento dos resíduos gerados no ciclo do processamento da matéria-prima da madeira no momento de produção de painéis, para confeccionar outros painéis, visando a diminuição das perdas;
- Menor custo de produção e mão de obra, pela facilidade e rapidez de montagem.

Segundo Dias (2005), os compostos de madeiras (madeira-adesivo) podem apresentar propriedades melhores do que a madeira de origem, como é o caso dos painéis de madeira em que a matéria prima utilizada é de boa qualidade e com o menor número de defeitos.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2006), o Brasil apresenta um grande número de fábricas de última geração, estando entre os países mais avançados no mundo em relação a fabricação de Particleboards (PB), e de Medium Density Fiberboard (MDF), chapas de madeira aglomerada e chapas de fibras lignocelulósicas de média densidade, respectivamente. Em 2004 contribuiu com 3 % do consumo total no mercado

mundial, entretanto, esse percentual é muito baixo, considerando o potencial madeireiro do país e as tecnologias instaladas. Em 2005 a produção de chapas de madeira aglomerada foi de 2,8 milhões de metros cúbicos.

A produção brasileira de painéis MDP tem crescido significativamente desde 2000. Em 2010 a produção de painéis MDP foi de aproximadamente 4,5 milhões de metros cúbicos, em 2011 a produção foi de 4,8 milhões de metros cúbicos, espera-se manter essa capacidade de produção até 2014. O painel de MDF também merece destaque, pois sua produção vem apresentando crescimento constante e acentuado, com perspectivas de produção de 5,7 milhões de metros cúbicos até o final de 2014 (ABIPA, 2012).

No cenário atual, os painéis de partículas apresentam taxas de crescimento mais significativas dentre os painéis produzidos com madeira, como mostra a Figura 5, abaixo. Isto se deve ao fato de apresentar maior disponibilidade de variedade de produto e ao grande número de possibilidades de aplicação, para os mais variados fins:

Figura 5 – Evolução da produção brasileira de painéis de madeira.
Fonte: FAO

Faz-se necessário o aperfeiçoamento dos processos de produção de painéis de partículas para melhorar o aproveitamento e usos dos resíduos frutos da exploração florestal.

Por esse motivo e outros já citados anteriormente é que a construção do protótipo proposto é uma importante contribuição para confirmação e

aperfeiçoamentos necessários aos painéis dos estudos usados como base em questão. Através dele foi possível obter um produto de qualidade e que pode ser inserido no mercado atual da construção civil, empregado como componente de revestimento de pisos e de paredes da edificação.

Nesta pesquisa, optou-se por trabalhar com Painéis de Partículas Homogêneas (PPH), confeccionados com resíduos de madeira tratada com borato de cobre cromatado (CCB), que aumenta a durabilidade da madeira, porém é uma substância considerada de risco. Portanto, esse processo reduz o volume de madeira e resíduos tratados descartados, diminuindo as possibilidades de causar maiores problemas ambientais.

3.6.1 Painéis de Partículas com resíduos de madeira tratada com CCB

Existem variados tratamentos preservativos para madeira. “A estrutura e a formação química da madeira influencia na absorção do preservativo, como também, na eficácia de alguns tipos de preservativos” que “[...] será menor em madeiras duras do que em madeiras moles.” (BIGELOW et. al., 2007, p. 4, tradução nossa). “O tratamento preservativo cria uma barreira contra fungos e insetos” e a “[...] outros organismos sem representar riscos significativos às pessoas e ao ambiente. Preservativos também devem resistir às intempéries e outras formas de depreciação durante um longo tempo.” (BIGELOW et. al., 2007, p. 5 e p. 13, tradução nossa).

Calil Junior¹ (2002, *apud* BERTOLINI, 2011) afirma que os preservativos precisam apresentar boa toxidez, possuir alta permanência em relação a sua forma de modo a não se decompor facilmente e possuir durabilidade e não alterar suas características quando expostos às intempéries. Não podem apresentar ação corrosiva, também não podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas da madeira aplicada e além de tudo ser inofensivo ao ser humano e ao meio ambiente a ser inserido.

Por esse motivo, devem-se avaliar todas as etapas de processamento da

¹ CALIL JUNIOR, C. (2002). O potencial de uso de madeira de Pinus na construção civil. Revista Tèchne. São Paulo. n. 60. p. 44-48. 2002.

madeira tratada, desde o seu tratamento até o seu destino final (NASCIMENTO, 2011).

Segundo Bertolini (2011), os preservativos são classificados em oleosos e hidrossolúveis. Os preservantes hidrossolúveis são os mais utilizados no Brasil e dentre eles os principais são o arseniato de cobre cromatado (CCA) e o borato de cobre cromatado (CCB).

Entre os hidrossolúveis mais utilizados escolheu-se trabalhar com o CCB, apesar de o CCA ser o tratamento mais utilizado comercialmente.

Segundo Lebow² (2006), o CCA fora do Brasil é voltado a usos industriais, comerciais e para aplicação em estruturas como pontes de madeira, não sendo permitida a sua utilização em edifícios residenciais, pois é considerado de uso restrito.

CCA foi um dos mais utilizados entre todos os preservativos de madeira e até muito recentemente representava mais de 90 por cento das vendas de preservativos de madeira a base de água nos Estados Unidos. Até que foi retirado da maioria das aplicações residenciais (LEBOW, 2006, p. 61, tradução nossa).

Apesar de o produto sofrer restrições em outros países e existir no mercado brasileiro outras opções de preservativos, ainda o CCA é bastante utilizado devido a sua grande durabilidade e ao fato dos órgãos regulamentadores o considerarem como sendo seguro (FAGUNDES, 2003).

Segundo Nascimento (2011), um dos maiores problemas relacionados ao uso do CCA (preservativo à base de sais de cromo, cobre e arsênio) está na possível dispersão dos componentes do preservativo para o ambiente durante o processo de aplicação e total fixação dos ingredientes ativos na madeira. Como também, na sua incorreta aplicação fazendo com que essas substâncias sejam aos poucos lixiviadas, causando danos ao meio ambiente, principalmente na contaminação do solo e do lençol freático.

Pelos motivos expostos acima e ainda pelo fato do CCB, segundo Bertolini (2011), apresentar menor toxicidade, possuir reduzida lixiviação do ácido bórico que é responsável pela proteção da madeira contra fungos, apodrecedores, e insetos

² LEBOW, S. (2006). Preservative Treatments for Building Components. BARNES, H. M. (2006). Wood Protection 2006. Wisconsin: Forest Products Laboratory. Session I, p. 57 – 64. March 2006.

xilófagos, bom custo-benefício se comparados aos meios de tratamentos atuais, não ser corrosivo a metais além de não aumentar a condutibilidade elétrica da madeira e apresentar boas condições em meios de apodrecimento, optou-se por utilizar seus resíduos para a fabricação dos painéis deste trabalho.

Segundo artigo da Revista da Madeira³ (2007, *apud* NASCIMENTO, 2011), 800 mil metros cúbicos de madeira tratada são produzidos por ano no país, sendo que praticamente todo esse montante é proveniente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Levando em conta a perda que se tem no seu processamento, isto corresponde a geração de cerca de 15 a 20% de resíduos, ou seja, aproximadamente 150 mil metros cúbicos de madeira tratada e que poderiam ser reaproveitadas na produção de painéis de partículas.

O que torna interessante a proposta de se trabalhar com o reaproveitamento da madeira tratada reduzindo o volume descartado no meio ambiente.

3.7 Sistemas estruturais e princípios utilizados na construção do Protótipo

A finalidade principal da construção do Protótipo foi unir ciência, arte e sustentabilidade. Para sua criação buscou-se a integração entre todas as partes que o compõem. Para tanto, foi necessário o estudo do espaço a ser criado, do material utilizado e dos sistemas construtivos que se seguem.

O sistema de Plataforma ou Balão, como é conhecido, dispensa o uso de contraventamentos (UNIOESTE, 2012). Segundo Manual de Recomendações Práticas - MASISA (2010), os elementos básicos da estrutura das paredes são: os montantes verticais, a barra horizontal inferior e as barras horizontais superiores. Os montantes são peças de madeira maciça, espaçadas entre si de acordo com a espessura da chapa usada e suas dimensões (Figura 6). De acordo com sugestões de montagem da UNIOESTE (2012), não é adequado espaçar mais do que 60 cm, evitando assim que se use um contraventamento.

³ REVISTA DA MADEIRA. *Tecnologia amplia possibilidades de usos*. REMADE, 2007. 6p. Artigo técnico.

Figura 6 – Exemplo de montagem e espaçamento dos montantes.

Fonte: UNIOESTE, 2012

Segundo Molina et al. (2010), Wood Frame é um sistema de construção muito utilizado em países da Ásia e Europa, principalmente no Japão e Alemanha, também no Canadá e EUA. Foi desenvolvido pelos alemães e caracteriza-se por ser um sistema pré-fabricado industrialmente, por esse motivo os prazos de construção de casas são reduzidos, além disso, várias etapas da construção podem ser feitas ao mesmo tempo, reduzindo ainda mais os prazos. A estrutura é construída por montantes verticais onde são fixados os painéis, geralmente de OSB, através da utilização de pregos galvanizados, por possuírem maior tempo de duração. Contudo também é possível a utilização de grampos, como acontece no Chile. O contraventamento é feito pelos próprios painéis que são fixados pelos lados externos da parede.

O Steel Frame também é um sistema de construção pré-industrializado, assim como o Wood Frame. A estrutura é feita de aço leve galvanizado. É bastante utilizado nos EUA, Canadá, em países da Europa e da América do Sul, como no Chile e Argentina. É constituído por colunas verticais, horizontais e vigas, construídas como uma grade retangular onde são colocadas as paredes, pisos e tetos. A técnica de construção é usada numa simples casa térrea até em edifícios arranha-céus. Ambos os sistemas necessitam de um projeto arquitetônico e estrutural para serem executados com precisão e sem desperdícios (SERPE, 2013).

Segundo Associação Brasileira do Dry Wall (2013), este sistema apresenta soluções semelhantes aos sistemas já citados anteriormente, porém é aplicado somente em áreas internas da construção, pois as paredes geralmente revestidas de gesso não podem ter contato com água. Usa-se este sistema para fazer pequenas intervenções. É um sistema com base em montantes verticais de madeira

ou de aço e que podem ser colocados como divisórias em ambientes de rápido e fácil manuseio.

Outros sistemas construtivos podem ser conferidos em obras de arquitetos como: Frank Lloyd Wright, Walter Gropius, J. J. P. Oud, entre vários que também se destacaram pelos estudos de sistemas industrializados e pré-fabricados.

No fim do séc. XIX, a arquitetura passou a ter uma preocupação mais funcional, com base científica. Com a industrialização, o racionalismo e o funcionalismo do espaço passaram a ser mais explorados, além da tecnologia dos materiais e a engenharia.

Segundo Gelmini (2011), Frank Lloyd Wright, arquiteto norte americano que nasceu em 1867, também fez uso da modulação, da “grelha”, como base de unidade de medida e concepção formal. Usou a desconstrução do volume para proporcionar maior integração entre as partes do seu interior e sua relação com o exterior. Trabalhou com sistema de blocos de concreto texturizados (Figura 7), cuja composição também se baseava na modulação. Além disso, Wright foi adepto da arquitetura do Shingle Style, que se baseava no uso de materiais tradicionais, aparentes, evidenciando as características de sua natureza, fazendo uso de telhas de madeira como revestimento externo.

Figura 7 – Estudos de modulação feitos por Wright com blocos de concreto.
Fonte: Coleção Folha Grandes Arquitetos

Walter Gropius, arquiteto nascido em 1883, juntamente com outros arquitetos

alemães fundou a Bauhaus em 1919, e criou um novo método de ensino unindo arte e técnica. Os alunos tinham aulas práticas em laboratório de metais, de móveis e pinturas para que se familiarizassem com materiais inovadores e às técnicas de design e pintura. A arquitetura passou a ser pensada de modo a unir várias disciplinas, as experiências em projetar não são mais independentes entre si. Em relação à produção seriada industrial, a arquitetura é mediadora entre qualidade e quantidade. (BENEVOLO, 2009).

Dessa forma, Gropius (1997), entendia a padronização como resultado de uma união de todas as qualidades numa só forma. As proporções e a articulação dos volumes passaram a se basear em princípios científicos, da funcionalidade, e não mais nos princípios clássicos. Seguindo essas definições, Gropius propôs projetos de habitação mínima, padronizadas e pré-fabricadas.

Essas são as principais abordagens técnicas e relações teóricas que embasaram a concepção e construção do Protótipo estudado.

3.8 Considerações sobre a revisão bibliográfica

Como a proposta do trabalho foi unir áreas da ciência e da arte, pela revisão bibliográfica exposta constatou-se que as duas têm muito em comum. A Ciência busca experimentar o Universo para o conhecimento humano e a arte busca o conhecimento do Universo pela experiência humana. Uma é sistemática, a outra é perceptiva. Mas ambas têm a mesma finalidade: a da Criação.

As leis ambientais surgem com a preocupação de preservar o meio e monitorar o aumento dos resíduos gerados. Para isso, afirmam ser necessária uma ação conjunta de todos os níveis da sociedade, levando em consideração a prática da Responsabilidade Compartilhada e a política da Logística Reversa.

Vários sistemas de construções existem para se adequar aos mais variados materiais disponíveis no mercado, desde o mais tradicional, o barro, até sistemas pré-fabricados capazes de construir arranha-céus. Mesmo assim, o crescimento populacional e suas consequências em relação à habitação, consumo e de seus resíduos, exigem outras soluções a fim de resolver não apenas a questão do construir, mas a do construir com rapidez, qualidade e sustentabilidade. Portanto, novos produtos e técnicas construtivas se fazem necessários.

O trabalho teve como base a compatibilização entre a liberdade da criação, as limitações impostas pelas leis e normatizações e as características e propriedades intrínsecas ao novo material utilizado.

Devido ao ineditismo do trabalho desenvolvido, buscaram-se soluções baseadas em referências de montagem de sistemas análogos, fazendo as adaptações necessárias já que não existe um método para montagem de paredes e pisos feitos com painéis de partículas homogêneas e tampouco com as dimensões como estas produzidas em laboratório.

Pode-se concluir que a arquitetura e a integração que ela propõe entre as diferentes áreas foram de extrema importância para a criação desse novo produto para o mercado de revestimento.

Produto sustentável fabricado com materiais de fontes renováveis e que apresenta diferente desenho e excelente desempenho, características satisfatórias para sua inserção no segmento madeireiro.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão apresentados a metodologia e os materiais empregados para a produção dos painéis de partículas homogêneos (PPH). Também descritos o processo de concepção do projeto do Protótipo Arquitetônico e os equipamentos e materiais aplicados nas etapas de construção do mesmo. E, por fim, mencionados os ensaios de caracterização físico-mecânica dos painéis produzidos.

4.1 Composição dos painéis que revestem as paredes

Para o revestimento das paredes foram utilizados painéis com resíduos de madeira da espécie de *Pinus* sp. tratados com CCB. Pelo fato do revestimento da parede não ser estrutural e não serem necessárias altas resistências às propriedades físico-mecânicas optou-se pela utilização do gênero *Pinus*, por ser considerada de média densidade.

Os resíduos foram encolados com resina bicomponente poliuretana à base de óleo vegetal de mamona, cuja composição é o poliol, que é um componente derivado de óleo vegetal e pelo pré-polímero, que é o isocianato polifuncional. O fornecedor da resina foi a empresa Plural Química LTDA de São Carlos, São Paulo.

Os países europeus adotaram normas que só aceitam painéis de madeira com adesivo de baixa emissão de formaldeído, classificados como E-1. A Resina poliuretana à base de mamona é derivada de óleo vegetal, portanto não é tóxica. Outro fator da opção pelo uso da resina é seu ótimo desempenho em trabalhos anteriores, como o de Dias (2005), Bertolini (2011), Varanda (2012).

Bertolini (2011) estudou 8 tipos de tratamentos considerando variáveis de quantidade de partículas, porcentagem de adesivo e tempo de prensagem. Analisando os resultados dos painéis, e considerando a própria sugestão da autora e pesquisadora, será usado o que ela denominou de Tratamento B para produzir os painéis para revestimento das paredes. Bertolini (2011) utilizou 1300g de cavaco, 12% de resina (na proporção 1:1), 12 minutos de prensagem a 4,0 MPa a 100°C. E dimensão de chapas de 38 cm x 38 cm e 1 cm de espessura.

A Tabela 1, a seguir, mostra os valores médios dos resultados dos

tratamentos de Flexão Estática: Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) dos painéis produzidos por Bertolini (2011).

Tabela 1 – Valores médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade para cada tratamento dos painéis ensaiados (BERTOLINI, 2011).

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
A	25	10,37	2304	6,70
B	24	12,30	2537	8,39
C	26	18,36	2474	15,14
D	26	13,67	2553	11,05
E	28	9,21	2670	6,97
F	28	8,93	2654	7,13
G	29	18,66	2911	13,22
H	28	15,71	2764	9,45

Levando em consideração os requisitos mínimos em relação ao Módulo de ruptura (MOR) dos documentos normativos NBR 14810:2 (2006), ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968) é de 18 MPa, 16,5 MPa e 16,8 MPa, respectivamente, todos os tratamentos estudados atingiram e superaram as exigências.

Já para o Módulo de Elasticidade Estática (MOE), as normas ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968) apresentam valores de 2400 e 2450 MPa, respectivamente. No trabalho em questão, apenas o tratamento A não contempla as normas citadas.

Pela norma brasileira não especificar requisitos quanto ao MOE, Bertolini (2011), cita estudos de Iwakiri et al (2005) em que obtiveram valores de MOR e MOE de 18,8 MPa e 2250 MPa, respectivamente. Constataram que painéis de *Pinus spp* com densidade superior a 0,8 g/cm³ resultavam em maior Módulo de Resistência à Flexão. Analisando as considerações acima e os resultados alcançados por Bertolini, escolheu-se trabalhar com o tratamento **B** por ele atender as exigências das normas, mesmo sendo produzido com menor quantidade de adesivo, o que diminui o custo da produção.

Seguem os demais resultados de ensaios dos painéis classificados como **B** e apresentados pela autora da pesquisa, para os painéis fabricados com resíduos de madeira com tratamento com CCB:

- Resultados Médios dos Ensaio de Tração Perpendicular – Adesão Interna: 1,59 MPa;
- Resultados Médios dos Ensaio de Arrancamento de Parafusos – Topo e Superfície: APS= 1342 MPa e APT= 2437 MPa, sendo que APS = arrancamento de parafusos Superfície; APT = arrancamento de parafusos topo;
- Resultados de inchamento em espessura e absorção de água: para o tratamento B: IE (2h)% = 4,11 e IE (24h)% = 10,52. AA (2h)% = 6,24 e AA (24h)% = 19,64;

Para o presente trabalho foram confeccionados 120 painéis para a vedação das paredes. Essa quantidade de painéis produzidos foi fundamentada no cálculo feito com auxílio de programas de desenho (autoCAD 2013 e Sketch up Pro) utilizados para o Projeto do Protótipo. Cada painel apresenta dimensões de 32,5 cm x 50 cm x 1 cm (1625 cm³). Essas dimensões foram condicionadas pela prensa utilizada no laboratório e tamanho de forma já existente para confecção do painel. Considerando que Bertolini (2011) utilizou uma forma com 38 cm x 38 cm x 1 cm (1444 cm³) e que as quantidades de partículas e adesivo foram os mesmos das de Bertolini para a fabricação, pode-se concluir que a densidade do painel produzido é menor do que a do trabalho tido como base.

4.2 Composição dos painéis que revestem o piso

Foram utilizados resíduos de madeira do gênero *Eucalyptus* tratado com CCB também com adição de resina poliuretana a base de mamona, para o revestimento do piso.

Utilizou-se a madeira de *Eucalyptus* sp., considerada de média densidade, fácil de ser trabalhada em operações de usinagem. Apresenta grande resistência mecânica em relação ao peso, baixa condutibilidade térmica e, no desenvolvimento, as árvores apresentam relativa resistência a eventuais deficiências hídricas. O ritmo de crescimento e o rendimento volumétrico são, geralmente, superiores, quando comparados a outras espécies do gênero (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

Considerando o fato de o piso ter que apresentar maior resistência físico-mecânica e densidade mais alta, optou-se pela utilização do gênero *Eucalyptus*.

Nascimento (2011) estudou 8 tipos de tratamentos, sendo que 4 eram de painéis produzidos com resíduos de *Eucalyptus grandis* tratados com CCA e os outros 4 tratados com CCB. Considerando apenas aqueles tratados com CCB, as variáveis foram na quantidade de partículas, temperatura de prensagem e pressão de prensagem. Analisando os resultados dos painéis, e considerando também a sugestão da própria autora, será usado o que ela denominou de Tratamento C, como mostra a Tabela 2, para produzir os painéis para revestimento dos pisos.

Tabela 2 – Variáveis dos tratamentos e resultados médios de ensaios de flexão dos painéis fabricados com *Eucalyptus* sp. com CCB (NASCIMENTO, 2011).

P	R (g)	A	TP	T	CP	ρ	R	MOR	MOE
A	1200	12	10	100	3,5	0,9	1,41	21	3503
B	1300	12	10	100	3,5	1,0	1,56	13	2880
C	1300	12	12	100	4,7	1,0	1,56	32	5020
D	1400	12	12	100	4,7	0,8	1,25	32	4319

Sendo que:

P = painéis; R (g) = Resíduos em gramas; A = Adesivo (%); TP = Tempo de Prensagem em minutos; T = Temperatura em °C; CP= Carga de Pressão; MOR e MOE = MPa; ρ = g/cm³

De acordo com Nascimento, os valores superam os documentos normativos utilizados, NBR 14810:2 (2006), ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968) e sugerem economia e otimização no processo utilizando-se a modificação das variáveis para obter os melhores resultados.

A madeira utilizada foi o *Eucalyptus grandis* e apresenta densidade de 0,9 g/cm³. A autora utilizou 1300g de cavaco, 12% de resina (na proporção 1:1), 12 minutos de prensagem a 4,7 MPa a 100°C. E painéis com dimensões de 38 cm x 38 cm e 1cm de espessura.

Seguem os demais resultados de ensaios dos painéis classificados como C e apresentados pela autora da pesquisa, para os painéis fabricados com resíduos de madeira com tratamento com CCB:

- Resultados Médios dos Ensaios de Tração Perpendicular – Adesão Interna: 2,09 MPa;

- Resultados Médios dos Ensaios de Arrancamento de Parafusos – Topo e Superfície: APS= 1607 MPa e APT= 2925 MPa, sendo que APS = arrancamento de parafusos face; APT = arrancamento de parafusos topo;
- Resultados de inchamento em espessura e absorção de água: para o bloco C: IE (2h)% = 3,69 e IE (24h)% = 6,87. AA (2h)% = 3,84 e AA (24h)% = 13,25.

De acordo com as dimensões calculadas em área pelo Projeto do Protótipo, foram necessárias a fabricação de 25 painéis com dimensões nominais de 32,5 cm x 50 cm x 1 cm para aplicação no piso. A densidade do painel fabricada foi a mesma de Nascimento (2011), que utilizou uma forma de menor volume (38 cm x 38 cm x 1 cm). Portanto, como as dimensões dos painéis deste estudo são maiores do que as do trabalho de base e como os painéis foram utilizados para piso optou-se por utilizar mais cavaco na produção do painel para manter a mesma densidade do painel de Nascimento (2011).

Ressalta-se que antes de dar prosseguimento a confecção dos painéis foram ensaiados, preliminarmente, 5 painéis de revestimento da parede e mais 5 painéis de revestimento do piso para determinação de alguns parâmetros e fatores para fim de comparação com os resultados utilizados como estudos de base.

4.3 Confecção dos Painéis e propriedades das partículas

Cabe ressaltar que no processo de fabricação dos painéis foram utilizadas as mesmas matérias-primas e métodos, além da mesma cidade e local de fabricação dos trabalhos usados como base. Dessa forma a caracterização física das partículas, considerando os pontos já citados e as mesmas condições climáticas de produção, não foi testada a fim de mostrar os seus resultados. Considera-se, neste caso, que são as mesmas. Portanto, neste item serão apenas descritos os ensaios físicos, e no item 5 serão expostos o resultados e a discussão dos ensaios mecânicos realizados a fim de análise comparativa e de variância com aqueles obtidos por Bertolini (2011) e Nascimento (2011).

Assim, segue abaixo todos os procedimentos adotados na produção dos

painéis:

Os resíduos de madeira para a confecção dos painéis foram obtidos de madeira de reflorestamento, assim como de serrarias, marcenarias e de empresas da cidade e região de São Carlos, SP.

Figura 8 – Cavacos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. tratados com CCB.

A quantidade de madeira de *Pinus* sp. tratada com CCB utilizada para fabricação dos 120 painéis de revestimento da parede foi de aproximadamente 150 kg. E para produção das 25 painéis com *Eucalyptus* sp., foram utilizados aproximadamente 40 kg de cavaco tratado com CCB.

O processo de fabricação dos Painéis de Partículas Homogêneas envolve uma série de operações como: picagem, pesagem, encolagem (resina poliuretana a base de mamona), prensagem, acabamento. Para estas operações serão utilizados os seguintes equipamentos conforme Figura 9, dentre eles: (a) picador, (b) estufa, (c) balança, (d) encoladeira, fôrma para formar o colchão, (e) prensa hidráulica, serra circular e lixadeira.

Figura 9 – (a) Picador, (b) Estufa, (c) Balança, (d) Encoladeira e (e) Prensa Hidráulica.

Os resíduos foram preparados no moinho de facas da Figura 9a, modelo MA

680, tipo Willye da Marconi, utilizando a peneira de 2,8 mm de abertura colocada dentro dele para obtenção das partículas com esta dimensão, que foi adotada de acordo com os estudos tomados como base e outros estudos anteriores que também apresentaram ótimo desempenho dos painéis produzidos. (BERTOLINI, 2011; NASCIMENTO, 2011; VARANDA, 2012).

A definição de Painéis de Partículas Homogêneas depende do tipo de partículas e seu tamanho e homogeneidade, assim como o tipo de resina utilizada, equipamentos e metodologia empregada.

Depois de secos na estufa, Figura 9b acima, os resíduos foram peneirados apenas para certificar a homogeneidade da granulometria das partículas.

Para tal verificação é utilizado o equipamento SOLOTEST, o qual é constituído por 6 peneiras sobrepostas. O resíduo é colocado na peneira superior, que possui a maior granulometria segundo norma ASTM. O equipamento é vibrado (velocidade 5 durante 10 minutos) e parte dos resíduos vai sendo retido à medida que a abertura das peneiras vão diminuindo, até a peneira de inferior, 50 mesh. A Figura 10, mostra apenas as 4 peneiras utilizadas.

Figura 10 – Peneiras para análise granulométrica.

Na Figura 11, o resíduo já está picado, seco e peneirado para iniciar o processo de fabricação dos painéis.

Figura 11 – Resíduos de *Pinus* sp. depois de picados e passados pela peneira de 2,8mm.

Para isso, foi levada em consideração a composição dos tratamentos de Bertolini (2011) e de Nascimento (2011), mostrados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Tratamento proposto para produção dos painéis de *Pinus* sp. com CCB de Bertolini (2011).

Tratamento	Composição				Tempo de Prensagem (min)
	Partículas de Madeira (g)	Teor de adesivo (%) *	Componentes do adesivo		
			Pré-polímero (g)	Poliol (g)	
B	1300	12	97,5	97,5	12

Tabela 4 – Tratamento proposto para produção dos painéis de *Eucalyptus* sp. com CCB de Nascimento (2011).

Tratamento	Composição				Tempo de Prensagem (min)
	Partículas de Madeira (g)	Teor de adesivo (%) *	Componentes do adesivo		
			Pré-polímero (g)	Poliol (g)	
C	1300	12	97,5	97,5	12

Como já descrito no item 4.2, a composição dos painéis do piso é formada por 1463 g de cavaco e 219,5 g de resina ao invés de 1300 g de cavaco e 195 g de resina utilizadas por Nascimento (2011).

Optou-se por trabalhar com a Resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona na produção de Painéis de Partículas. A resina bi-componente possui cura a frio e foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos, da USP, portanto, uma tecnologia nacional. É uma alternativa aos adesivos tóxicos

geralmente utilizados e possui ótimo desempenho constatado em resultados de trabalhos anteriores como o de Nascimento (2003), Dias (2005), Dias (2008) e de Bertolini (2011).

O pré polímero e o polioliol são pesados (12% em relação ao peso dos resíduos e na proporção de 1:1). Em seguida a resina é misturada e distribuída nos resíduos onde há uma pré encolagem manual por aproximadamente 5 minutos (Figura 12a). A mistura é colocada na bateadeira (Figura 12b), onde os insumos são encolados por mais 5 minutos aproximadamente até que a superfície das partículas fique totalmente coberta com resina. Então o colchão é formado com ajuda de uma forma de madeira no tamanho do painel, no caso, 32,5 cm x 50 cm x 1 cm (Figura 12d).

Figura 12 – (a) Mistura manual da resina com os resíduos; (b) resíduos sendo misturados na encoladeira; (c) prensa mecânica manual; (d) forma de madeira para formar o colchão; (e) pré – prensagem do colchão e (f) prensagem final do colchão na prensa hidráulica.

O colchão ainda no molde de madeira é encaminhado a uma prensa mecânica manual (Figura 12c), de fabricação própria, onde recebe uma pressão de 0,013 MPa (Figura 12e), correspondente a uma força de 100 kgf. É retirado o molde e em seguida levado para ser compactado em prensa semi-automática Marconi Modelo MA 098/50, com capacidade de 800 KN e temperatura máxima de até 200°C (Figura 12f).

Na prensa, o colchão que forma o painel para revestimento da parede permaneceu por 12 minutos, sob uma pressão de 4 MPa, a 100°C (para a resina poliuretana), de acordo com o que foi especificado no tratamento **B** de Bertolini (2011). Já o painel para revestimento de piso permanecerá por 12 minutos, sob pressão de 4,7 MPa, a 100°C, de acordo com o tratamento **C** de Nascimento (2011). Como já descrito anteriormente, as dimensões dos painéis são de 32,5 cm x 50 cm e possuem espessura nominal é de 1 cm. Segundo especificado por Nascimento (2003), essa espessura é uma das mais usuais no comércio deste produto. Tais parâmetros, bem como as dimensões dos resíduos, foram avaliados por Nascimento (2003) e Dias (2008).

Após a prensagem, os painéis permaneceram em processo de cura e estabilização de 48 a 72 horas (Figura 13a). Em seguida, foram esquadrejadas (Figura 13b). Dos painéis finalizados (Figura 13c e 13d), foram retirados os corpos-de-prova para os ensaios.

Figura 13 – (a) Painéis em processo de cura, (b) processo de refilamento, (c e d) painéis finalizados.

Ressalta-se que para o esquadrejamento dos painéis foi utilizada uma serra circular esquadrejadeira, enquanto que para efetuar seccionamentos nos painéis para obtenção dos corpos-de-prova foi utilizada uma serra circular Marajó.

4.3 Ensaios físicos e mecânicos para verificação do processo de produção

Como este trabalho teve como base metodologias de trabalhos anteriores, não foram realizados todos os ensaios de caracterização para verificar os resultados em laboratório.

Foram feitos ensaios mecânicos dos painéis produzidos para verificação do processo de produção. Para os painéis de revestimento de parede escolheu-se fazer os seguintes ensaios: densidade aparente, de flexão, adesão interna e absorção e inchamento. Foram produzidas 5 painéis e retirados 5 corpos-de-prova nas dimensões nominais específicas para cada teste, totalizando 15 corpos-de-prova.

Já para o piso optou-se pelos ensaios de densidade aparente, flexão estática, adesão interna, abrasão e inchamento e absorção cujos resultados foram satisfatórios comparados aos de Nascimento (2011) para a continuação do processo de fabricação.

Na Figura 14, encontram-se os corpos-de-prova retirados dos painéis da parede e do piso para cada ensaio citado acima.

Figura 14 – Corpos-de-prova para ensaios de flexão estática; densidade aparente; inchamento e absorção; adesão interna e abrasão, antes dos painéis ficarem expostos.

A seguir, são apresentadas as metodologias utilizadas para a determinação das propriedades físicas e mecânicas avaliadas.

Todos os ensaios para caracterização mecânica dos painéis foram realizados em máquina universal de ensaios da AMSLER, com capacidade de 250 KN, como apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Máquina de ensaios universal AMSLER.

4.3.1 Ensaio de caracterização física

Como já descrito anteriormente, alguns ensaios físicos não foram realizados para fins demonstrativos, pois sendo estes painéis fruto de trabalhos já realizados, considerou-se que as características físicas são as mesmas dos painéis dos trabalhos de base, já que os painéis foram produzidos com o mesmo material e no mesmo local.

Dessa forma o método para produção dos painéis foi seguido conforme o recomendado por Bertolini (2011) e Nascimento (2011).

4.3.1.1 Obtenção da densidade dos painéis

A densidade dos painéis foi determinada pela relação massa/volume. Os corpos-de-prova para os ensaios de densidade apresentam dimensões nominais de 50 mm x 50 mm de acordo com a normatização. A densidade determinada dos painéis foi a aparente considerando que a umidade nos painéis está em equilíbrio com o ambiente local.

Para determinação da massa e do volume dos corpos de prova foram

utilizados os seguintes equipamentos: uma balança eletrônica digital da Acatec, com sensibilidade de 0,01 gramas e um paquímetro digital, com sensibilidade de 0,01 mm.

4.3.1.2 Razão de compactação

A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel de partículas e a densidade da madeira que foi posteriormente transformada em partículas, ou seja, densidade do painel de *Pinus* sp. pela densidade da madeira de *Pinus* sp. e conseqüentemente, a densidade do painel de *Eucalyptus* sp. pela densidade da madeira de *Eucalyptus* sp..

A razão de compactação adequada para produção de aglomerado é na faixa de 1,3 a 1,6 e, portanto, espécies de baixa massa específica são as mais recomendadas (SILVA et al., 2004).

Para a determinação da razão de compactação, a densidade adotada para a madeira de *Pinus* sp., tratada com CCB, foi de 0,70 g/cm³ (BERTOLINI, 2011). Enquanto que para a razão de compactação do *Eucalyptus* sp. tratado com CCB, foi usada a densidade de 0,73 g/cm³, de acordo com Dias (2005).

4.3.1.3 Ensaio de Inchamento em espessura e de absorção de água

Foram retirados corpos-de-prova com dimensões nominais de 50 x 50 mm segundo a norma ASTM 1037 -1999 para a realização do ensaio de inchamento em espessura e de absorção de água.

Foram determinadas as propriedades de inchamento em espessura, através da medição de sua espessura e a propriedade de absorção de água através da pesagem de sua massa, antes e após imersão em água, por período de duas horas e ao completar 24 horas, já que se trata de um protótipo com painéis expostos a intempéries.

Para determinar a espessura e a massa dos corpos-de-prova foram utilizados paquímetro digital, com sensibilidade de 0,01 mm, e a balança eletrônica digital, com

sensibilidade de 0,01 gramas, respectivamente.

Para o cálculo do inchamento em espessura foi utilizada a Equação 1:

$$I = \frac{(E1-E0)}{100E0} \quad (1)$$

onde:

I é o inchamento em espessura do corpo-de-prova (%);

E1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão, medido em mm;

EO é a espessura do corpo de prova antes da imersão, medido em mm.

Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a Equação 2:

$$A = \frac{(M1-M0)}{100M0} \quad (2)$$

onde:

A é a absorção de água (%);

M1 é a massa do corpo de prova após imersão, em gramas (g);

MO é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas (g).

4.3.2 Ensaio de caracterização mecânica

Neste item estão apresentados os métodos para a realização dos ensaios de caracterização mecânica: Flexão Estática (MOR e MOE), Adesão Interna (Tração Perpendicular), Abrasão e Análise Estatística.

4.3.2.1 Flexão Estática - obtenção de MOR e MOE

Para verificação do processo de produção e para caracterização dos painéis que serão produzidos, foram determinadas primeiramente as propriedades de flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura). Os ensaios seguintes foram os de: adesão interna, absorção de água e inchamento em espessura, de acordo com o estabelecido pelas normas ABNT NBR 14810:2006 e ASTM 1037 - 1999. Para o piso especificamente, foi realizado o ensaio de abrasão, segundo norma ABNT NBR 14833-1: 2008.

Os resultados dos testes de flexão estática, Figura 12b, estão apresentados em itens mais a frente. Através deste ensaio obtêm-se o Módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) do painel.

De acordo com a NBR 14810-3: 2006, os cálculos de MOR são feitos da seguinte maneira:

$$MOR = \frac{3PD}{2B(E^3)} \quad (3)$$

onde:

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas em N;

D é a distância entre os apoios do aparelho, e é de 20 mm, estabelecido em norma;

B é a largura do corpo de prova, em milímetros, também estabelecido em norma e corresponde a 50 mm, com pequena variação pra mais ou pra menos no momento de preparação do mesmo;

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros.

Já os cálculos de MOE são feitos de acordo com a Fórmula 4, a seguir:

$$MOE = \frac{P1D^3}{4dB(E^3)} \quad (4)$$

onde:

P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em N;

D é a distância entre os apoios do aparelho, 20 mm;

d é a deflexão correspondente a força P, em milímetros;

B é a largura do corpo-de-prova, em milímetros;

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros.

Primeiramente foram retirados corpos-de-prova de cada painel (Figura 16a). Foram 5 dos painéis de *Pinus* sp. e mais 5 dos Painéis de *Eucalyptus* sp., totalizando 10 corpos-de-prova nas dimensões de 50 mm x 250 mm.

Foram tiradas suas dimensões com a utilização do paquímetro e calculadas as suas densidades utilizando também uma balança com resolução de 0,1 g.

Os ensaios de caracterização mecânica dos painéis para obtenção da Resistência à Flexão (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio AMSLER, de capacidade de 250 KN, Figura 16b.

Figura 16 – (a) Preparando os corpos-de-prova para flexão; (b) ensaio de flexão dos corpos-de-prova dos painéis, realizado na Máquina de Ensaio Universal, Amsler.

4.3.2.2 Ensaio de Adesão interna

Foram retirados novamente, 10 corpos-de-prova para o ensaio de tração perpendicular ou adesão interna com dimensões nominais de 50 mm x 50 mm. A tração perpendicular dos corpos-de-prova foi determinada de acordo com a Equação 5.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (5)$$

onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, em MPa;

P é a carga na ruptura, em Newton (N);

S é a área da superfície do corpo-de-prova, em milímetros mm^2 .

Os ensaios foram realizados por um dispositivo montado na máquina universal de ensaios AMSLER, como mostram as Figuras 17a e 17b.

Figura 17 – Ensaio de adesão interna.

4.3.2.3 Ensaio de Abrasão

Os ensaios de abrasão foram feitos com o objetivo de atingir o mínimo que a normatização estabelece para que o painel de partículas homogêneas (PPH) seja utilizado como revestimento de interiores. Também foram feitas comparações visuais com os resultados obtidos após exposição e utilização do Protótipo.

Foram retirados 5 corpos-de-prova, um de cada chapa confeccionada no início do processo de produção. Cada um com dimensões nominais de 100 mm x 100 mm, obedecendo a normatização NBR 14833-1:2008. Foram aplicadas 3 demãos do impermeabilizante Osmocolor UV para deck, em cada um dos corpos-de-prova, assim como será feito no piso do Protótipo.

Em seguida os corpos de prova foram pesados e medidos com micrômetro em desgaste em espessura a cada 100 ciclos. Ao todo, foram realizadas 125 medições.

Para isso foram utilizados os seguintes equipamentos: micrômetro, balança

de precisão 0,01g (Figura 18a) e aparelho Taber Rotary Platform Abrasion Tester Model 5135/5155, Taber Abraser Vacuum Unit (Figura 18b e 18c). Foram calculadas a perda de massa e diferenças em espessura em relação às iniciais para obter o quanto desgastou efetivamente.

Abaixo, nas Figuras 18d e 18e, estão os corpos de prova preparados antes de iniciar o teste e após os 25 ciclos realizados em cada corpo de prova, respectivamente.

Figura 18 – (a) Corpo-de-prova sendo pesado; (b) aparelho utilizado para fazer o teste; (c) teste sendo realizado; (d) corpos-de-prova antes de iniciar o teste; (e) corpos-de-prova após realizado o teste.

4.4 Análise estatística

Dois estudos foram realizados. No primeiro, os painéis elaborados com partículas de madeira de Pinus tratadas com CCB foram impermeabilizados com resina poliuretana à base de mamona (PU) e com o Osmocolor (OC), sendo parte dos compostos fabricados fixados nas paredes da estrutura base, posicionados interna e externamente e com a exposição dos mesmos às intempéries naturais no período de 05/08/2013 a 15/01/2014. Dessa forma, os fatores investigados neste estudo foram o tipo de impermeabilizante [Imp] (PU; OC), a posição de fixação [Po] dos painéis no protótipo (Int; Ext) e a exposição dos materiais ao intemperismo

natural [Env] (Antes [A]; Depois [D]), conduzindo a um planejamento fatorial completo do tipo 2^3 , com oito tratamentos (Tr) distintos, explicitados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tratamentos estipulados para os painéis de fixação das paredes do Protótipo.

Tr	Imp	Po	Env
1	PU	Int.	A
2	PU	Int.	D
3	PU	Ext.	A
4	PU	Ext.	D
5	OC	Int.	A
6	OC	Int.	D
7	OC	Ext.	A
8	OC	Ext.	D

Dos materiais utilizados no piso do protótipo (2º estudo), que foram fabricados com partículas de madeira de Eucalipto tratadas com CCB, o fator investigado consistiu na exposição ou não dos compostos às intempéries [Env] (Antes [A]; Depois [D]). Em ambos os estudos, as variáveis resposta investigadas foram o módulo de elasticidade na flexão (MOE), resistência na flexão (MOR) e resistência na tração perpendicular (RTP).

Do primeiro planejamento, de cada tratamento delineado foram extraídos 5 corpos-de-prova para os ensaios de flexão (MOE; MOR) e 5 corpos-de-prova para a realização dos ensaios de adesão interna (RTP). Para o segundo estudo, dos painéis confeccionados também foram retirados 5 corpos-de-prova para obtenção do MOE e MOR e 5 corpos-de-prova para a obtenção da RTP.

Para investigar a influência dos fatores e das interações entre ambos nas propriedades mecânicas de interesse foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), com o auxílio do software Minitab® versão 14, avaliada ao nível de 5% de significância (α), tendo a equivalência de médias entre os tratamentos como hipótese nula (H_0) e a não equivalência como hipótese alternativa (H_1). P-valor da ANOVA inferior ao nível de significância implica em rejeitar H_0 , aceitando-a em caso contrário.

Para validação da ANOVA foram avaliadas a normalidade das distribuições

por resposta (teste de Anderson-Darling [AD]) e a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos (teste F [F]), ambos considerados ao nível de 5% de significância. Pelas formulações dos testes, P-valor superior a 0,05 implica que a distribuição por resposta é normal e que as variâncias entre os tratamentos são homogêneas, o que valida o modelo da ANOVA. Acusada significância do fator e da interação entre os fatores pela ANOVA, foram utilizados gráficos de efeitos principais e de interação entre os fatores como forma de auxiliar na interpretação dos dados.

4.6 Protótipo de revestimento

O conceito principal do Protótipo proposto como já descrito anteriormente, é unir ciência, arte e sustentabilidade.

A ideia consiste na elaboração de um espaço em escala real, construído com Painéis de Partículas Homogêneas de madeira, com a principal finalidade de testar a aplicabilidade dos mesmos como revestimentos de pisos e paredes e em pequenos mobiliários. A composição dos painéis que constituem a parede e o piso são frutos de estudos recentes, como já foi dito anteriormente. Portanto, o Protótipo é a possibilidade de avaliar empiricamente o comportamento físico e mecânico desses Painéis mediante seu uso em um determinado período de tempo, podendo assim comparar com os resultados dos trabalhos tidos como base e de ensaios feitos em laboratório.

Para isso foi necessário projetar um espaço que não se comportasse apenas como um show room, mas que também fosse um ambiente com que as pessoas pudessem se apropriar: para descanso, troca de ideias, discussões sobre temas que envolvem a madeira etc.

Somando-se a isso, o Protótipo foi projetado também para ser um ambiente móvel, através do uso de rodízios, facilitando seu deslocamento e mudança de local, permitindo também sua rotação e possibilitando, portanto a sua interação com outros ambientes e até mesmo sua anexação a outros ambientes ou edifícios construídos.

O Protótipo foi posicionado de forma a deixar exposta a parede externa às intempéries ao mesmo tempo em que a parede interna fica protegida a fim de

A Figura 20 mostra como o Protótipo está implantado em relação à orientação do Norte. O projeto do Protótipo levou em consideração que todas as paredes externas e que o piso deveriam receber insolação pelo menos em um período do dia e estarem expostos também à chuva. Portanto, as paredes externas estão voltadas para leste e para norte. O piso recebe insolação do oeste, e para estar parcialmente também exposto às chuvas, o Protótipo não poderia ser projetado totalmente fechado. Por esse motivo, parte das paredes internas também recebeu insolação direta e indiretamente no período da tarde.

Figura 20 – Implantação do Protótipo (com e sem cobertura) em relação à orientação geográfica.

4.6.2 Desenhos técnicos e maquete virtual do Protótipo de Revestimento

Neste item estão demonstrados os desenhos técnicos de forma a esclarecer a concepção do Projeto e de seu dimensionamento. Dessa forma, foram feitos estudos de pequenos detalhes de encaixes dos painéis para que o Protótipo contemplasse as considerações feitas em itens anteriores.

A maquete 3D torna possível a compreensão espacial do Protótipo e da proporção entre as partes que o constituem, já que os desenhos são feitos considerando as dimensões reais do projeto e sua relação com a escala humana.

Portanto, através dos detalhes técnicos, croquis e da elaboração da maquete tem-se uma melhor compreensão visual do conjunto, devido à modelagem de todos os detalhamentos de montagem, uso de cores diferentes, texturas e sombreamento que se aproximam muito da situação real e construída.

A Figura 21 corresponde à planta baixa do Protótipo:

Figura 21 – Planta baixa do Protótipo de Revestimento – parede e piso.

Legenda:

1. Pilares;
2. Parede externa revestida com painéis de madeira de *Pinus* sp.;
3. Parede interna revestida com painéis de madeira de *Pinus* sp.;
4. Piso – painéis de madeira;
5. Viga de travamento.

Abaixo, na Figura 22, está o desenho da Fachada do Protótipo, vista do **ângulo** especificado na Planta baixa da Figura 21 acima.

Figura 22 – Fachada do Protótipo de Revestimento – parede e piso.

O corte **AA** do Protótipo está demonstrado na Figura 23.

Figura 23 – Corte AA do Protótipo de Revestimento – parede e piso.

A seguir estão fotos da maquete eletrônica, representadas pelas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Detalhes dos encaixes dos painéis das paredes e do piso.

Figura 25 – Maquete finalizada e com mobiliário.

4.6.3 Relação dos materiais utilizados na montagem do Protótipo

Neste item estão especificados os principais materiais usados na montagem do Protótipo. Alguns materiais recomendados tiveram que ser adaptados ou substituídos por outros que possuem funções semelhantes devido aos recursos financeiros restritos para a total construção do Protótipo.

Detalhes referentes às dimensões de projeto do Protótipo podem ser

conferidos nos desenhos técnicos no item **4.6.2**, acima.

Foi priorizada a utilização de materiais com qualidade, mais utilizados no mercado, a fim de atingir um padrão de construção competitivo e compatível com os encontrados no setor da construção civil, podendo assim, avaliar a qualidade, eficiência e duração do Protótipo.

Rodas e Rodízios

Segundo Guia Prático Schioppa (2010), dois fatores são importantes na escolha de rodas e rodízios para melhorar e facilitar o manuseio: a dureza do material da sua banda de rodagem e o seu diâmetro. Quanto mais duro for o material que constitui a banda de rodagem mais fácil será o seu giro e quanto maior o diâmetro da roda mais fácil ela gira, assim como também, supera os obstáculos.

Portanto, além dos rodízios evitarem o contato do Protótipo com a umidade diretamente do solo ele pode ser facilmente deslocado permitindo a sua exposição em locais diferentes, interações com outros ambientes ou edifícios construídos.

Foram usadas 4 rodas SCHIOPPA R 614 PE e 2 garfos GGL (garfo giratório) 614 sem freios e 2 com garfos GGL 614 G (com freio): fixados na base do protótipo (Figura 26), e parafusos sextavados de 10 mm de diâmetro, arruela lisa e porca travantema para prender os rodízios a uma base de madeira. Esta foi fixada às vigas por meio de parafusos franceses de 20 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro;

Figura 26 – Rodízios SHIOPPA.

Compensados

Foram adquiridos dois compensados medindo 2,20 m x 1,60 m x 0,018 m que foram utilizados como base para assentar o piso. Em se tratando de piso de madeira, o ideal segundo recomendações MBS do Brasil (2012) e Eucafloor (2013) é aplicá-lo sobre o compensado para que não fique em contato direto com o contrapiso, evitando a umidade. Os compensados também foram utilizados para acabamentos gerais do Protótipo.

Peças de madeira roliça

As três peças possuem 15 cm de diâmetro, são tratadas com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e foram usadas como pilares da estrutura do Protótipo.

Peças metálicas de ligação

Foram utilizadas seis peças metálicas feitas com tubos de ferro colocadas na parte de baixo e no topo de cada pilar. Nos tubos foram soldados duas esperas formando o ângulo de 90° entre elas e onde estão fixadas as vigas que servem como estrutura do Protótipo e como travamento do mesmo.

Figura 27 – Peças metálicas.

Peças de madeira com seção retangular

A base quadrada do Protótipo é formada por quatro vigas tratadas com CCA de seção retangular de 15 cm (altura) x 6 cm (largura). A base ainda é travada por mais duas peças de mesma seção colocadas paralelamente a uma das faces. Sobre essa base foram fixados os compensados.

Lona preta e grampos de 10 mm galvanizados foram usados para revestir o compensado na parte voltada para baixo evitando que a umidade vinda do solo possa comprometer a aderência e eficiência dos painéis de piso de madeira que serão fixados por cima dessa estrutura de base.

Mais oito peças tratadas com seção de 10 cm x 10 cm foram usadas como montantes e é onde serão fixados os painéis das paredes.

A estrutura das duas paredes foi travada por cima com uma viga de mesma seção das vigas da base (15 cm x 6 cm). E as duas vigas das paredes foram travadas na diagonal por outra viga de mesma seção, formando um triângulo, como mostra a Figura 28. Seus comprimentos variam de acordo com os desenhos técnicos.

Figura 28 – Estrutura quase pronta, apenas sem os montantes.

Foram utilizadas Barras Roscadas de 15 mm de diâmetro, arruelas lisas e porcas correspondentes para fixar as vigas inferiores às peças metálicas. Já nas

vigas superiores foram usadas cavilha de 16 mm feitas com madeira de *Eucalyptus* sp..

Verniz

Depois da estrutura pronta, todas as peças foram impermeabilizadas com Verniz Marítimo da SuviniL. Apesar de ser tratada com preservantes, o intuito é evitar que a estrutura fique exposta a umidade e que esta passe para os painéis em contato.

Fundo anticorrosivo verde e esmalte para as peças metálicas

Como se trata de peças metálicas feitas com metal ferroso, segundo Manual do Profissional ABRAFITI (2003), antes de receber qualquer pintura é necessário aplicar esse fundo para proteção, para evitar que oxide. Depois de bem seco, foi aplicado esmalte branco acetinado à base de água.

Painéis

Os painéis das paredes e do piso foram fixados aos montantes e no compensado, respectivamente, usando-se parafusos de aço auto-atarraxante (A/A) bicromatizado com cabeça chata 3 mm x 30 mm e fenda PHS e rosca inteira, ideal para uso em mobiliários principalmente em aglomerados e MDF.

Resina e impermeabilizantes

Uma solução monocomponente de resina poliuretana à base de óleo de

mamona foi usada para impermeabilizar todos os painéis de revestimento de uma das paredes, tanto internamente quanto externamente. Enquanto a outra parede recebeu verniz da Osmocolor, fosco e com proteção UV para revestimentos que ficam expostos ao sol. O fato de ter escolhido o impermeabilizante fosco é de influenciar o menos possível nas características do próprio material a fim de facilitar sua análise qualitativa após exposição às intempéries. Já no piso foi aplicado, a princípio, o Synteco com catalisador, e posteriormente foram aplicadas 3 demãos de Osmocolor UV para deck.

Rolos e trinchas

Rolos e trinchas da marca ATLAS PC foram usados para aplicação do verniz na estrutura, do fundo anti-corrosivo, do esmalte nas peças metálicas, da resina e impermeabilizante nas paredes, além do Synteco e Osmocolor no piso.

4.6.4 Construção do Protótipo

Neste item, busca-se explicar o modo e para qual fim cada material descrito no item anterior **4.5.1** foi utilizado na construção do Protótipo. Todas as etapas e materiais foram fotografados e suas imagens serão expostas abaixo, respeitando a cronologia de montagem, a fim de facilitar o entendimento do processo.

O material testado tem que apresentar um bom desempenho para ser inserido e para ser competitivo no mercado atual de revestimentos. Para tanto, a construção do Protótipo em escala real é essencial para buscar aperfeiçoamentos nas escolhas e métodos empregados. Escolheu-se testar o método de montagem e de encaixe entre os painéis que melhor se adequou ao projeto concebido, para que quando solicitados, os painéis apresentassem resultados satisfatórios.

As Figuras seguintes mostram o processo de montagem do Protótipo de revestimento desde a construção de sua base estrutural até a colocação da cobertura projetada.

4.6.4.1 Etapas de montagem do Protótipo

O Sistema balão ou de Plataforma foi utilizado na construção da estrutura do Protótipo para evitar o uso de contraventamentos, como recomendações de UNIOSTE (2012) e Masisa (2010). Também foram seguidas as recomendações técnicas da ANPM (2011) e de sistemas análogos, Steel Frame e Wood frame, segundo SERPE (2013) e Molina et al. (2010). Porém, adaptadas para este sistema de construção de painéis com menores dimensões.

Assim, a primeira etapa foi a construção da base quadrada, que teve as peças unidas em três pontos pelas peças metálicas, como na Figura 29, e o último ponto de encontro das vigas recebeu apenas uma chapa metálica dobrada em 90° e fixada com barras roscadas, (Figura 29b), na parte voltada pra dentro do quadrado. Assim quando for colocado o compensado, esta barra não ficou aparente. Neste ponto não existe pilar sendo, portanto, dispensável o uso da peça roliça metálica de ligação.

Figura 29 – Materiais usados para fazer a base: (a) ligação entre as vigas inferiores e as peças metálicas inferiores; (b) ligação entre vigas usando chapa de ferro dobrada no ponto onde não tem pilar; (c) base quadrada finalizada.

Após a base quadrada ter sido finalizada (Figura 29c, acima), os pilares foram desbastados na largura dos montantes, Figura 30a, pois além de pilares também serviram de montantes de fechamento e acabamento, onde as chapas das extremidades foram fixadas. Colocados os pilares, foram posicionadas as peças metálicas superiores, Figura 30b.

Figura 30 – (a) Desbaste das toras, para serem usadas como montantes também; (b) base com pilares prontos e peças metálicas superiores com esperas para receber as vigas superiores.

A base foi travada com outras duas peças posicionadas paralelamente as vigas da base.

Em seguida, foram colocadas as vigas superiores e a viga de travamento, formando um triângulo (Figura 31). Logo em seguida colocados os montantes.

Figura 31 – Detalhes das ligações entre peça metálica e vigas superiores feito com cavilha de *Eucalipto* sp. ; e ligação das vigas superiores com a viga de travamento feita com pregos.

Os montantes (Figura 32) são peças de madeira maciça, espaçadas entre si de acordo com a espessura do painel usada e suas dimensões. E de acordo com sugestões de montagem da Masisa (2010), não é adequado espaçar mais do que 60 cm, evitando assim que se use um contraventamento. Neste caso, os montantes terão seção retangular de aproximadamente 6 cm x 10 cm e espaçamento de acordo com o tamanho das chapas.

Figura 32 – Estrutura pronta e impermeabilizada.

Como os painéis possuem 45 cm de comprimento, como pode ser conferido nos desenhos técnicos, os montantes foram dispostos também nessa distância um do outro e foram fixados pelos topos às vigas utilizando-se de cavilhas de *Eucalyptus* sp., que atravessam as peças horizontais.

A fixação da barra de amarração superior às peças horizontais superiores da estrutura foi feita com pregos GERDAU com cabeça Ardox de aproximadamente de 80 mm de comprimento.

Depois da estrutura de madeira totalmente finalizada, como mostra a Figura 32, ela foi impermeabilizada utilizando Verniz Marítimo.

Em resumo, para a construção da estrutura foram utilizadas 20 peças de madeira tratadas com CCA: 4 vigas que fecham a base quadrada do protótipo, 2 que travam em cima das paredes e outra que trava essas duas, cada qual medindo 15 cm em altura e aproximadamente 6 cm de largura. Também foram utilizados 3 elementos roliços de 15 cm de diâmetro tratados com CCA, colocados como pilares, e 8 peças também tratadas e usadas como montantes, como se pode verificar nas fotos abaixo.

Finalizada esta etapa, foram colocados quatro rodízios, como na Figura 33, para elevar a construção evitando o contato direto com o chão e, conseqüentemente, com a umidade, o que também facilita seu deslocamento e

interação do Protótipo com outros espaços e edifícios.

Figura 33 – Colocação dos rodízios

O passo seguinte foi preparar os painéis para vedação das paredes.

Ao mesmo tempo em que a estrutura estava sendo construída, os painéis para o revestimento da parede estavam sendo preparados. Depois de finalizados, Figura 34, eles foram esquadrejados, com serra esquadrejadeira, cortados nas dimensões 29,3 cm x 45 cm e, em seguida, executados os encaixes macho-fêmea. Posteriormente foram feitos os frisos da frente que possuem 3 cm e os friso de trás que possuem 1 cm. Como eles se sobrepõem o friso da frente ficará com a dimensão total de 2 cm de largura. Pode-se entender melhor o que foi descrito acima conferindo os desenhos técnicos e os croquis da Figura 35.

Figura 34 – Painéis de *Pinus* sp. prontas pra serem esquadrejadas.

A seguir (Figura 35), estão apresentados alguns croquis dos encaixes e frisos pensados.

Figura 35 – Croquis dos painéis das paredes.

Baseado nas abordagens teóricas e nos estudos de desenhos realizados chegou-se nos encaixes para os painéis das paredes mostrados nas Figuras 36 e 37. Como o Protótipo fica exposto a intempéries, os painéis se sobrepõem um ao outro de forma a minimizar o acúmulo de água entre eles e facilitar o seu escoamento evitando que ocorra absorção pelas bordas.

Nas laterais os encaixes serão macho e fêmea. Para evitar as consequências da expansão dimensional provocada pela absorção de umidade nas bordas dos painéis, recomenda-se também deixar um espaço de 3,0 mm nas bordas laterais e nas extremidades das chapas. Alguns fabricantes têm recomendações especiais, incluindo a proteção das bordas com produto selante, para evitar absorção de umidade. Todos esses cuidados foram pensados para conferir maior estabilidade ao conjunto todo.

Em elementos estruturais de madeira normalmente são usados pregos de cabeça de 2,9 mm por 50 mm de comprimento. Os pregos são espaçados de 15 mm nas bordas e 30 mm nos montantes intermediários. Podem também ser usados grampos, desde que em dimensões apropriadas.

Figura 36 – Croqui de estudo de revestimento sem encaixe.

Figura 37 – Croqui de estudo de encaixes sobrepostos.

O dispositivo usado para fazer os encaixes macho-fêmea foi montado com as Fresas Widea da INDFEMA. Figuras a seguir:

Figura 38 – Fresas para encaixes: (a) macho; (b) fêmea.

Figura 39 – Dispositivo para encaixes: (a) fêmea; (b) macho.

Para fazer os frisos foi utilizado uma serra circular Marajó e adaptações no dispositivo, como mostram as figura 40a e 40b, para que o painel permanecesse firme e reto ao passar pela serra.

Figura 40 – (a) Confeccionando os frisos da frente utilizando serra e adaptações; (b) detalhe do friso da frente pronto.

Figura 41 – Encaixes e frisos finalizados.

Com toda a estrutura do Protótipo finalizada e os painéis já preparados (Figura 41), o passo seguinte foi a impermeabilização dos painéis para revestir as duas paredes, interna e externamente. Em uma delas, os painéis foram impermeabilizados com Resina poliuretana à base de óleo de mamona e seu solvente, como mostrado nas Figuras 42a e 42b. Para a outra parede, os painéis foram impermeabilizados com o verniz Osmocolor com proteção UV, o mais comercializado no mercado.

Figura 42 – (a) Recipiente contendo resina monocomponente à base de óleo de mamona; (b) aplicação.

Primeiramente foram passados os impermeabilizantes nos encaixes e frisos do painel utilizando pincel de cerdas macias, para que estes estivessem selados no momento de montar a parede. Depois, no restante dos painéis, que foram colocados

para secagem. Apenas após a montagem foram aplicadas mais duas demãos de impermeabilizantes

Completada a secagem dos painéis, que de acordo com o fabricante e fornecedor da resina (empresa Plural Química LDTA), acontece em torno de 24 horas, e pelas instruções contidas no galão da Osmocolor, iniciou-se o processo de fixação das mesmas aos montantes, como pode ser verificado nas próximas fotos.

A primeira parede a ser montada foi a dos painéis com Resina monocomponente à base de óleo de mamona.

As chapas para vedação foram dispostas com suas maiores dimensões transversalmente e parafusadas nos montantes na face de menor dimensão, como se pode notar nas Figuras 43. 44 e 45 a seguir.

Figura 43 – (a) e (b) Início da colocação dos painéis impermeabilizados com Resina monocomponente a base de óleo de mamona (primeira parede e no lado interno).

Figura 44 – Detalhes de encaixe de uma chapa sobre a outra e como elas foram parafusadas.

Figura 45 – (a) Finalização da montagem da parede externa da primeira parede com resina; (b) Primeira parede acabada.

A segunda parede (painéis impermeabilizados com Osmocolor UV) foi montada da mesma maneira e as duas paredes finalizadas estão mostradas na Figura 46a. Montadas as paredes, os impermeabilizantes foram passados nas extremidades das bordas, além das duas outras demãos em cada uma das paredes, Figura 46b. Também foi feito um acabamento com peças de compensado, passados verniz marítimo e silicone para ajudar a selar, evitando, assim, a infiltração de água.

Figura 46 – Paredes finalizadas.

Uma das paredes foi finalizada no final de julho de 2013 e a segunda no começo de agosto de 2013. Logo em seguida foi iniciada a preparação dos painéis e da base para a montagem do piso. A seguir croquis de estudos de disposição do

piso:

Figura 47 – Croquis dos estudos de disposição do piso.

A montagem do piso foi baseado em recomendações da Masisa (2010), M.B.S do Brasil (2012) e Eucafloor (2013).

De acordo com o Manual de Recomendações - Masisa (2010), o piso foi formado por uma camada de painéis de partículas aplicadas por cima do compensado colocado sobre a base, no caso, este está fazendo o papel de contrapiso.

De acordo com M.B.S. do Brasil (2012), sobre o contrapiso coloca-se uma lona plástica preta para evitar que a umidade passe do solo para o compensado. Somente então o assoalho de madeira será assentado com cola branca e fixado com pinos pneumáticos ao compensado.

Já segundo recomendações da Eucafloor (2013), sobre o contrapiso é colocado a manta impermeabilizadora da Eucafloor de 2 mm e o piso é instalado sobre ela e espaçado da parede de 8 a 10 mm permitindo que trabalhe. Também é utilizado cola branca, porém é chamada de PVA D3 da Eucafloor. Os pisos começam a ser colocados das extremidades e alternadamente. Para um encaixar melhor ao outro se deve utilizar o bloco batedor para não ferir as peças.

Levando em consideração as recomendações acima, o compensado da base, foi revestido por baixo com lona preta fixada com grampos a fim de evitar contato com umidade e teve sua superfície superior impermeabilizada com verniz marítimo pelos mesmos motivos. Além disso, por motivos dos recursos serem restritos para realização deste trabalho, ao invés da manta impermeabilizadora, foi utilizado um tapete preto de borracha vendido também por metro linear, que foi fixado no compensado com cola de contato para acertar o nível da base, diminuir o impacto causado pelo trânsito ou peso sobre o piso, evitando que os encaixes entre as chapas se rompam e também para evitar a umidade vinda do solo.

Foi distribuída cola de contato no tapete e logo em seguida no compensado por cima do verniz e esperado alguns minutos, como nas instruções até que a cola começasse a reagir, para então colocar as partes com cola em contato, como na figura 48a, 48b e 48c.

Figura 48 – (a) Passando cola de contato no tapete; (b) passando cola de contato no compensado; e (c) colagem das partes com cola.

A princípio foi aplicado Synteco nos encaixes, Figura 49a, e uma demão na parte de baixo do piso. Depois de totalmente seco, iniciou-se o processo de assentamento do mesmo.

O piso foi espaçado 8 mm de cada parede, para permitir trabalhabilidade dos painéis como recomendado por Eucafloor (2013).

Para unir um piso ao outro é melhor que seja pelo utilizado o encaixe macho-fêmea, Figura 49b, característica que confere melhor desempenho ao piso, por

evitar rangidos e deformações indesejáveis oriundas de cargas concentradas (MASISA, 2010). Para fixar o piso no tapete e compensado, foram utilizados os mesmos parafusos usados para fixar os painéis das paredes, Figura 49c.

Figura 49 – (a) Passando Osmocolor UV para pisos e decks nos painéis; (b) assentando os pisos por cima do tapete de borracha; (c) parafusando os painéis do piso no tapete e compensado.

Na Figura 50a, outra fileira de painel de pisos foi preparada antes de sua fixação com parafusos. Foi utilizado para ajuste dos encaixes um martelo e pedaço de madeira para amenizar o impacto ao bater no painel, substituindo o bloco batetor, geralmente utilizado nestes casos.

Figura 50 – (a) Acertando o encaixe entre as chapas dos pisos utilizando martelo (substituindo o bloco batetor); (b) desnivelamento e desalinhamento do piso.

Como se pode notar no detalhe da Figura 50b, o piso não ficou perfeitamente alinhado e nivelado, fazendo surgir pequenas frestas entre seus encaixes, que mesmo calafetados, são espaços por onde a umidade ou a água pode se infiltrar.

Depois de finalizada a colocação dos pisos, eles foram lixados e aplicadas 3 demãos de Synteco. Porém, o impermeabilizante aplicado foi lixiviado após uma forte chuva no local onde foi construído o Protótipo (Figura 51).

Figura 51 – Protótipo exposto à chuva.
Autor: Diego Henrique de Almeida

Depois do piso seco, foi novamente lixado (Figura 52a) e decidiu-se utilizar outro impermeabilizante, Osmocolor UV para deck. Também foram aplicadas três demãos do novo impermeabilizante (Figura 52b). O piso pronto pode ser conferido na Figura 52c abaixo.

Figura 52 – (a) Piso lixado; (b) aplicação da primeira demão; (c) piso finalizado.

O piso foi finalizado no mês de setembro. Após isso, a etapa seguinte foi a colocação da cobertura

Foram utilizadas 5 peças de seção retangular de 6 cm x 15 cm. Foi disposta a primeira peça na diagonal (Figura 53a) na cobertura e as outras foram sendo colocadas paralelamente a esta guia. As medidas ultrapassam o alinhamento do piso em 30 cm pra cada lado do quadrado da base, criando um beiral (Figura 53b).

Figura 53 – (a) Início montagem da estrutura da cobertura; (b) colocação da placa de policarbonato; e (c) finalização da cobertura.

Pela cobertura ser de placas leitosas de policarbonato, extremamente leve, a estrutura utilizada para comportá-la foi simples, não necessitando de pilares extras como já previsto e ainda permitindo que ficasse em balanço, deixando toda a área do piso livre para uso, como na Figura 53c.

Após o término destas etapas, a construção do Protótipo foi finalizada.

Apesar da cobertura ter sido finalizada apenas no mês de setembro, o Protótipo esteve exposto desde o começo de agosto (quando as duas paredes foram terminadas) com uma cobertura improvisada com lona preta e placas de cobertura, como mostra a Figura 52c acima.

Seguem demais fotos do Protótipo finalizado e com mobiliário.

Figura 54 – Protótipo finalizado e com mobiliário.

Figura 55 – Foto da Maquete eletrônica

Figura 56 – Disposição e flexibilidade do uso do mobiliário.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item estão apresentados os resultados de caracterização das partículas e dos painéis de partículas aplicados como revestimento do Protótipo. Os painéis tiveram seu desempenho avaliado atendendo os requisitos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 14810:2006, ANSI A 208.1:1999 Particleboard (EUA), e CS 236-66:1968 Standard (Canadá), antes e após a exposição do Protótipo aos intemperismos. Além de comparados também com os dos trabalhos de base de Bertolini (2011) e Nascimento (2011).

Após exposição do Protótipo às intempéries (05/08/2013 a 15/01/2014), foram retirados os painéis das paredes internas, como na Figura 57, para realização dos ensaios físicos mecânicos e consequentemente sua análise e discussão.

Figura 57 – Painéis retirados das paredes internas e do piso para confecção dos corpos-de-prova.

Os painéis das paredes externas foram retirados do Protótipo conforme demonstrado na Figura 58a e 58b. Optou-se por retirar das extremidades por ter ficado mais expostos às intempéries, inclusive suas bordas.

Figura 58 – Painéis retirados das paredes externas para confecção dos corpos-de-prova.

5.1 Resultados das Propriedades físicas das partículas

A caracterização físico-mecânica dos painéis produzidos foi realizada de acordo com os preceitos da norma ABNT NBR 14810:2006, ASTM 1037 – 1999 e ANSI A208.1-1999 e CS 236 – 66 – 1968. As dimensões dos corpos-de-prova foram as especificadas na norma brasileira com exceção dos corpos-de-prova para o ensaio de Inchamento e Absorção que tiveram suas dimensões de acordo com o que a ASTM 1037 - 1999 estabelece.

Seguem os resultados dos ensaios físicos realizados nos painéis fabricados antes de sua utilização para construção do Protótipo.

5.1.1 Densidade antes da exposição do Protótipo às intempéries

A média das densidades dos painéis de *Pinus* sp. e de *Eucalyptus* sp. tratados com CCB, produzidos neste trabalho, foram 0,85 e 1,0 g/cm³, respectivamente. Bertolini (2011) obteve painéis de *Pinus* sp. tratados com CCB com densidade 0,9 g/cm³ e Nascimento (2011), produziu painéis de *Eucalyptus* sp. com densidade igual a 1,0 g/cm³.

Os resultados são semelhantes aos dos trabalhos de base, apesar dos painéis de *Pinus* sp (0,85 g/cm³) terem ficado com densidade menor do que os de

Bertolini (2011), que trabalhou com painéis da mesma espécie, porém com densidade de $0,9 \text{ g/cm}^3$. Isto se deve ao fato das áreas das formas utilizadas serem diferentes. Bertolini (2011) utilizou uma forma de 1444 cm^2 , menor que área de 1465 cm^2 utilizada para a produção dos painéis para a mesma quantidade de cavaco (1300 g).

Considerando que os painéis foram fabricados com o intuito de serem usados como revestimento de parede, realmente é melhor que sua densidade seja menor possibilitando assim, diminuir o peso da parede e, conseqüentemente, alcançar economia tanto da estrutura utilizada quanto uma economia de resíduos na produção dos painéis.

Embora os resultados de densidade apresentem valores acima daqueles recomendados por Empresas de MDP (Medium Density Particleboard) esse aspecto não interferiu nos resultados físico-mecânicos.

5.1.2 Teor de umidade

Segundo Bertolini (2011), o teor de umidade das partículas na fabricação dos painéis deve situar-se entre 8 a 10% quando confeccionadas com a resina poliuretana à base de mamona.

Considerando o teor de umidade acima, Bertolini (2011) e Nascimento (2011), concluíram que a resina poliuretana à base de mamona apresentou boa trabalhabilidade na temperatura de prensagem na faixa dos 100° C . Segundo Dias (2005) a resina poliuretana começa a se decompor em temperaturas acima de 150° C .

Dias (2005) constatou que os painéis fabricados com resina poliuretana na temperatura de prensagem de 90° C tiveram melhor desempenho físico-mecânico do que aqueles produzidos na temperatura de 60° C .

O tamanho das partículas empregado neste trabalho também foi baseado nos trabalhos citados anteriormente e se apresenta similar ao de Dias (2005).

Portanto, considerando que a metodologia para a fabricação dos painéis do trabalho foi a mesma de Bertolini (2011) e de Nascimento (2011), o fato do painel não ter apresentado bolhas durante a prensagem, que são causadas pelo acúmulo

de vapor devido ao alto valor de teor de umidade, nem mesmo apresentar descolamentos pelo baixo teor de umidade, conclui-se que o teor de umidade dos painéis estavam na faixa ideal sugeridas pelos estudos de base.

5.1.3 Razão de compactação

Segundo Bertolini (2011), a madeira de *Pinus* sp. tratado com CCB apresenta densidade de 0,7 g/cm³, superior a madeira de *Pinus* sp., que apresenta densidade até 0,55 g/cm³.

A razão de compactação obtida por Bertolini (2011) para o tratamento B utilizado neste trabalho como base foi de 1,3.

A razão de compactação dos painéis aqui produzidos também foi 1,3, equivalente ao de Bertolini (2011).

Considerando 0,73 g/cm³ a densidade dos *Eucalyptus* usualmente utilizados na produção de painéis, de acordo com o que menciona Dias (2005), a razão de compactação dos painéis confeccionados com tal espécie alcançou 1,4.

Reafirma-se, deste modo, que as razões de compactação dos painéis produzidos neste trabalho se encontram na faixa ideal, de acordo com o que assinalam Silva et al (2004).

Isso mostra que o procedimento utilizado para a confecção dos painéis está condizente com os tratamentos utilizados como base para sua fabricação.

5.1.4 Inchamento e Absorção antes da exposição do Protótipo às intempéries

Seguem as tabelas com valores médios dos ensaios de Inchamento e Absorção antes da exposição dos painéis do Protótipo às intempéries. Estão demonstrados seus valores após 2 horas e 24 horas de imersão na água.

Tabela 6 – Valores médios do ensaio de Inchamento e Absorção - Painéis de *Pinus sp.* antes da exposição do Protótipo às intempéries.

P	IE 2h (%)	IE 24 (%)	AM 2h (%)	AM 24 (%)
1	2,71	8,91	6,26	19,28
2	1,20	12,19	3,48	14,18
3	1,81	10,85	4,88	17,50
4	3,79	16,10	5,80	17,29
5	0,88	10,20	4,30	17,30
Média	2,08	11,65	4,94	17,11

sendo:

P= Painei; IE = Inchamento em espessura em porcentagem; AA = Absorção de água (%);

Tabela 7 – Valores médios do ensaio de Inchamento e Absorção - Painéis de *Eucalyptus sp.* antes da exposição do Protótipo às intempéries.

P	IE 2h (%)	IE 24 (%)	AM 2h (%)	AM 24 (%)
1	1,57	5,65	4,58	12,82
2	0,42	6,36	3,79	13,85
3	0,33	4,01	2,20	9,04
4	0,65	4,13	1,67	6,12
5	0,21	6,45	1,86	6,77
Média	0,64	5,32	2,82	9,72

Abaixo estão apresentados os resultados dos valores médios de Absorção e inchamento obtidos por Bertolini (2011), no tratamento utilizado como base neste trabalho.

Tabela 8 – Valores médios referentes à Absorção de Água em 2h e 24h.

Tratamento	AA - 2h (%)		AA - 24h (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
B	6,24	14,16	19,64	12,15

Tabela 9 – Valores médios para Inchamento em Espessura em 2h e 24h.

Tratamento	IE - 2h (%)		IE - 24h (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
B	4,11	14,45	10,52	14,61

Na Tabela 10 a seguir está apresentada a média do resultado de inchamento e absorção de Nascimento (2011), no tratamento utilizado como base para a fabricação dos painéis de *Eucalyptus* sp. deste trabalho.

Tabela 10 – Valores médios de Inchamento e Absorção do tratamento C - Painéis de *Eucalyptus* sp.com CCB de Nascimento (2011).

Blocos	IE 2h (%)	IE 24 (%)	AA 2h (%)	AA 24 (%)
C	3,69	6,87	3,84	13,25

Os valores obtidos por Nascimento (2011) foram superiores aos adotados nos Documentos Normativos e Boletins das Empresas Produtoras de MDP, e aos valores mínimos dos Documentos Normativos:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14810 – 2006;
- ANSI A208.1-1999 – Particleboard Physical & Mechanical Properties Requirements;
- CS 236 – 66 – 1968 – Commercial Standard.

Assim, conclui-se que os painéis fabricados para este trabalho apresentaram valores próximos aos de Bertolini (2011) e de Nascimento (2011) e atingiram os valores mínimos estabelecidos por normas.

5.1.3.2 Discussão dos resultados das análises físicas

Pelo fato do trabalho utilizar o melhor tratamento de Bertolini (2011) e de Nascimento (2011) para a fabricação dos painéis de *Pinus* sp. tratados com CCB e de *Eucalyptus* sp. tratados com CCB, respectivamente, os resultados positivos e similares aos obtidos nos trabalhos em que este se baseia, confirmaram que o

processo de produção estava coerente e que a produção dos restantes dos painéis podia ser prosseguida. Finalizada esta etapa, os painéis foram impermeabilizados e utilizados para a construção do Protótipo a fim de testar a aplicação destes como revestimento de piso e de parede.

5.2 Propriedades mecânicas dos painéis

Seguem os resultados dos ensaios mecânicos realizados nos painéis fabricados antes e após a sua utilização para construção do Protótipo.

5.2.1 Flexão – MOR e MOE antes e após exposição do Protótipo às intempéries

A seguir, na Tabela 11, estão descritos os valores mínimos para a caracterização mecânica dos painéis para cada documento normativo. São eles:

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14810 – 2006;
- ANSI A208.1-1999 – Particleboard Physical & Mechanical Properties Requirements;
- CS 236 – 66 – 1968 – Commercial Standard.

Tabela 11 – Requisitos normativos

DN	e	ρ	MOR	MOE	TP
NBR 14810-2 (2006)	8 - 13	-	18	-	0,35
ANSI A 208.1 (1999)	-	> 0,8	16,5	2400	0,90
CS 236:66 (1968)	-	> 0,8	16,8	2450	0,45

Sendo:

E = espessura (mm);

MOR e MOE = MPa; ρ = g/cm³;

DN = Documentos Normativos.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas avaliadas para as paredes, antes e após o envelhecimento natural dos painéis do Protótipo devido a sua exposição às intempéries.

As tabelas e os resultados obtidos para as paredes revestidas com resina

Tabela 18 – Resultados médios de ensaios de flexão estática dos painéis de *Pinus* sp. com CCB da parede externa impermeabilizada com Osmocolor UV **após** a exposição do Protótipo às intempéries.

P	Resíduo	A	T P	T	CP	ρ	MOR	MOE
1	1300	12	12	100	4,0	0,76	16,1	1701
2	1300	12	12	100	4,0	0,75	13,3	1631
3	1300	12	12	100	4,0	0,73	13,4	1373
4	1300	12	12	100	4,0	0,74	12,9	1560
5	1300	12	12	100	4,0	0,72	13,3	1396
Valor médio							1532	13,8
DP							144,0	1,3
CV (%)							9,4	9,4

Os resultados obtidos estão coerentes com os obtidos por Nascimento (2011) e Bertolini (2011), no que se refere às médias e da dispersão dos resultados das propriedades estudadas.

A Tabela 19 apresenta os resultados dos testes de validação da ANOVA (AD; F) e os resultados da ANOVA por propriedade mecânica investigada, estando sublinhados os P-valores considerados significativos ($P\text{-valor} < 0,05$). Da Tabela 19, ImpxPo, ImpxEnv, Po x Env e ImpxPo x Env são as interações entre os fatores investigados.

Tabela 19 – Resultados da ANOVA referente ao estudo dos painéis fixados nas paredes do Protótipo.

Resp	Validação		ANOVA						
	AD	F	Imp	Po	Env	ImpxPo	ImpxEnv	Po x Env	ImpxPo x Env
MOR	0,127	0,246	0,239	0,376	<u>0,000</u>	0,723	0,374	0,186	0,262
MOE	0,260	0,329	0,153	0,668	<u>0,000</u>	0,748	0,180	0,314	0,255
RTP	0,172	0,114	0,730	0,276	<u>0,000</u>	0,141	0,352	0,230	0,101

Da Tabela 19, o único fator considerado significativo pela ANOVA foi o envelhecimento natural, afetando o MOR, MOE e a RTP dos materiais fabricados. Os fatores tipo de impermeabilizante e posição dos painéis não foram significativos nas propriedades avaliadas, e com relação à interação entre dois fatores e entre os

três, os resultados da ANOVA acusaram a não significância. Isto implica que o tipo de adesivo e que a posição de exposição dos materiais forneceram resultados equivalentes.

Possivelmente, a posição dos painéis não influenciou de modo significativo a ANOVA, pois o ambiente não era totalmente fechado e, portanto, mesmo não ficando exposta à chuva, parte do revestimento interno acabou recebendo um pouco de insolação no fim de tarde, devido à forma como o Protótipo foi implantado.

A Figura 59 apresenta os gráficos de efeitos principais da ANOVA do fator envelhecimento natural sobre o MOR, MOE e RTP dos painéis fabricados.

Figura 59 – Gráficos de efeitos principais do fator envelhecimento natural sobre o MOR (a), MOE (b) e a RTP (c) dos fixados nas paredes do Protótipo.

Como esperado, a exposição ao envelhecimento natural foi responsável por minorar as propriedades mecânicas dos painéis fabricados, reduzindo em 21%, 45%

A Tabela 23 apresenta os resultados dos testes de validação da ANOVA (AD; F) e os resultados da ANOVA por propriedade mecânica investigada do fator envelhecimento natural dos painéis fabricados e fixados no piso do protótipo, estando sublinhados os P-valores considerados significativos pela ANOVA.

Tabela 23 – Resultados da ANOVA referente às propriedades mecânicas do fator envelhecimento natural dos painéis fixados no piso do Protótipo.

Resp.	Validação da ANOVA		ANOVA
	AD	F	
<i>MOR</i>	0,843	0,405	<u>0,040</u>
<i>MOE</i>	0,088	0,074	<u>0,000</u>
<i>RTP</i>	0,121	0,283	0,455

Da Tabela 23, o fator envelhecimento natural foi significativo no MOR e MOE dos painéis fabricados e fixados no piso do protótipo, fornecendo resultados equivalentes para a RTP. A Figura 60 apresenta os gráficos de efeitos principais para o MOR e MOR em função do envelhecimento natural.

Figura 60 – Gráficos de efeitos principais do fator envelhecimento natural sobre o MOR (a) e MOE (b) dos painéis fixados no piso do Protótipo.

Como esperado, o envelhecimento natural foi responsável por minorar os

valores de MOR (39%) e MOE (67%) dos painéis fixados no piso.

Dadas as componentes de originalidade do presente trabalho, não há resultados disponíveis na bibliografia sobre o assunto que permitam a comparação com os aqui obtidos.

5.2.3 Adesão Interna antes e após exposição do Protótipo às intempéries

Para os ensaios de adesão interna, os corpos de prova foram colados nos suportes de aço utilizando Cola Epóxi Araldite 24 horas, bicomponente, na proporção 1:1 entre resina e endurecedor. Após 48 horas, foram realizados os ensaios.

As tabelas que se seguem mostram os resultados do ensaio realizado com os 5 painéis escolhidos para ensaios antes da construção do Protótipo.

Tabela 24 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do *Pinus* sp. com CCB **antes** da exposição do Protótipo às intempéries.

P	R	TP
1	1300	2,91
2	1300	2,91
3	1300	2,54
4	1300	2,40
5	1300	1,79
Média		2,51

Sendo:

P= Painei; R (g) = Resíduos em gramas; TP = tração perpendicular em MPa.

Tabela 25 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do *Eucalyptus* sp. com CCB **antes** da exposição do Protótipo às intempéries.

P	R	TP
1	1463	1,38
2	1463	2,17
3	1463	2,13
4	1463	1,86
5	1463	1,80
Média		1,87

Após a sua exposição às intempéries, foram retirados 5 corpos-de-prova nas

dimensões nominais de 50 mm x 50 mm de cada um dos 5 painéis: 5 corpos-de-prova do Pannel interno e mais 5 do externo impermeabilizados com a resina poliuretana a base de mamona; 5 corpos-de-prova do Pannel interno e mais 5 do externo impermeabilizados com Osmocolor com proteção UV; e mais 5 corpos-de-prova do piso impermeabilizados com Osmocolor para deck com proteção UV.

Os valores obtidos nos ensaios foram os seguintes abaixo:

Tabela 26 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do pannel interno de *Pinus* sp. com CCB revestido com PU **após** exposição do Protótipo às intempéries.

CP	R	TP PINUS CCB
1	1300	1,79
2	1300	1,78
3	1300	2,23
4	1300	1,92
5	1300	2,75
Média		2,09

Onde: CP= Corpo de prova; R (g) = Resíduos em gramas; TP = tração perpendicular em MPa.

Tabela 27 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do pannel externo de *Pinus* sp. com CCB revestido com PU **após** exposição do Protótipo às intempéries.

CP	R	TP
1	1300	0,81
2	1300	1,41
3	1300	2,00
4	1300	1,74
5	1300	1,48
Média		1,49

Tabela 28 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do pannel interno de *Pinus* sp. com CCB revestido com Osmocolor UV **após** exposição do Protótipo às intempéries.

CP	R	TP PINUS CCB
1	1300	0,94
2	1300	0,94
3	1300	1,46
4	1300	1,93
5	1300	0,50
Média		1,15

Tabela 29 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel externo de *Pinus* sp. com CCB revestido com Osmocolor UV **após** exposição do Protótipo às intempéries.

CP	R	TP PINUS CCB
1	1300	1,90
2	1300	2,61
3	1300	2,52
4	1300	2,54
5	1300	2,29
Média		2,37

Tabela 30 – Tabela de Tração Perpendicular – Adesão Interna do painel do piso de *Eucalyptus* sp. com CCB revestido com Osmocolor UV deck **após** exposição do Protótipo às intempéries.

CP	R	TP PINUS CCB
1	1463	1,84
2	1463	3,80
3	1463	3,82
4	1463	2,35
5	1463	2,98
Média		2,96

Os valores conseguidos para resistência da tração perpendicular média dos painéis fabricados com CCB por Nascimento (2011) foi de 2,0 MPa com variação de 2,15 a 1,81 MPa, dependendo do tratamento adotado. No caso somente da média dos corpos de prova do tratamento utilizado como base (C), a média foi de 2,09 MPa.

5.2.4 Abrasão antes da exposição do Protótipo às intempéries

A seguir estão dispostas as tabelas com os resultados do ensaio de Abrasão, realizado conforme a norma ABNT NBR 14833-1 e as discussões relevantes ao tema.

Tabela 31 – Tabela de Desgaste dos painéis de resíduos de *Eucalyptus* sp. impermeabilizado com Osmocolor UV para deck.

CP	$m_o - m_n$ (g)	$m_o - m_n * 100 / m_o$ (%)	$e_o - e_m$	$e_o - e_n * 100 / e_o$ (%)
1	0,0100 g	0,0094%	0,061 mm	0,6470%
2	0,0200 g	0,0223%	0,051 mm	0,5804%
3	0,0300 g	0,0279%	0,066 mm	0,6762%
4	0,0300 g	0,0307%	0,044 mm	0,4680%
5	0,0300 g	0,0295%	0,028 mm	0,2948%

Sendo:

CP – Corpos-de-prova;

m_o = massa inicial;

m_n = massa final progressiva;

e_o = espessura inicial;

e_n = espessura final progressiva.

Como um dos objetivos deste trabalho era aplicar os painéis como revestimento, este ensaio sugere a possibilidade de sua utilização como pisos no interior de construções. Como já descrito anteriormente, os corpos-de-prova foram pesados com balança de precisão 0,01g e medidos com micrômetro em desgaste de espessura a cada 100 ciclos. Foram testados cinco corpos-de-prova, totalizando 125 leituras, que corresponde ao mínimo que o corpo-de-prova tem que suportar para que seja utilizado internamente nas construções.

Neste caso foi realizado o ensaio utilizando corpos-de-prova impermeabilizados com o mesmo material que foi aplicado no piso do Protótipo construído.

Martins (2008) encontra valores médios de desgaste em espessura no ensaio de abrasão para diferentes espécies de Eucaliptos, entre 0,055 mm e 0,076 mm, e concluindo que as espécies estudadas podem ser usadas como piso. Os resultados deste trabalho apresenta valores muito semelhantes aos de Martins (2008). Portanto, também se pode afirmar que os painéis de partículas de *Eucalyptus* sp. podem ser utilizados como piso.

Os valores encontrados também são similares aos de Nascimento (2011). Assim, não foram realizados os testes com os corpos-de-prova sem impermeabilizante, pois todas as condições para a confecção dos painéis foram as mesmas. Conclui-se que os resultados seriam similares e este foi o motivo de fazê-lo utilizando corpos de prova impermeabilizados.

Assim como Nascimento (2011), foram alcançados os valores mínimos conforme documento normativo NBR 14833 – 1, para resistência em número de ciclos permitindo que os painéis sejam aplicados para uso como piso interno em edificações.

5.2.5 Discussão dos resultados das análises mecânicas

Como já descrito, a exposição ao envelhecimento natural foi responsável por minorar as propriedades mecânicas dos painéis fabricados tanto do revestimento das paredes quanto do revestimento do piso.

Dado o ineditismo do trabalho, não há como comparar os resultados obtidos com assuntos disponíveis na bibliografia sobre o assunto.

Ressalta-se que mesmo os painéis que ficaram sob a cobertura, acabaram recebendo insolação devido à sua implantação e um pouco de umidade por não estarem em um ambiente totalmente fechado.

Dessa forma, como as paredes e o piso apresentaram resultados físico mecânicos, antes de sua exposição às intempéries, acima dos valores mínimos exigidos pelas normas utilizadas; e levando em consideração que a sua exposição foi o fator que acarretou na minoração de suas propriedades, pode-se concluir que os revestimentos podem ser repensados para a aplicação no interior da edificação.

Portanto, entende-se que os resultados foram positivos e sugerem futuros aperfeiçoamentos da composição do painel para que estes possam ser aplicados externamente também.

5.3 Demais análises sobre os painéis

5.3.1 Análise qualitativa

Nesta seção foram expostas as análises qualitativas feitas comparativamente das paredes externas e suas respectivas internas, assim como entre as duas paredes que receberam aplicação de diferentes impermeabilizantes.

As Figuras 61 a 68 apresentam as condições dos revestimentos antes e após sua exposição. As paredes do Protótipo ficaram expostas desde o dia 08 de agosto de 2013 a 15 de janeiro de 2014. Para o piso foram feitas as mesmas análises, porém este foi finalizado e ficou exposto desde início de setembro a 15 de janeiro de 2014.

Também foi apresentada a análise visual interna do painel, mediante o que foi constatado após seccionamento dos corpos-de-prova antes dos ensaios finais.

- Paredes internas e externas de *Pinus* sp. com CCB e impermeabilizadas com resina poliuretana (PU) a base de mamona (Figura 61, 62 e 63)

Figura 61 – Parede interna e externa, respectivamente, impermeabilizadas com resina PU. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e foto (b) tirada em jan. de 2014.

Figura 62 – Parede interna e externa, respectivamente, impermeabilizadas com resina PU. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e foto (b) jan. de 2014.

Figura 63 – Corpos-de-prova: (a) dos painéis externos e (b) internos.

- Paredes internas e externas de *Pinus* sp. com CCB e impermeabilizadas com Osmocolor UV (Figura 64, 65 e 66)

Figura 64 – Paredes internas impermeabilizadas com Osmocolor UV. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e (b) jan. de 2014.

Figura 65 – Paredes externas impermeabilizadas com Osmocolor UV. Foto (a) tirada em ago. de 2013 e (b) jan. de 2014.

Figura 66 – Corpos-de-prova: (a) dos painéis externos e (b) internos.

Após análise qualitativa do Protótipo antes e após a retirada dos painéis que foram seccionados para as análises físico mecânicas, tanto os painéis utilizados nas paredes impermeabilizadas com PU quanto nas impermeabilizadas com Osmocolor UV, apresentaram as seguintes características:

- Aspecto geral – muito bom em relação ao aspecto inicial;
- Resistência ao tato – muito bom, ressaltando para o fato de que os painéis que ficaram na parte externa apresentaram-se levemente mais ásperos comparados aos seus respectivos painéis internos;
- Cor – ocorreu um leve escurecimento de todos os painéis como se pode notar nas Figuras expostas anteriormente;
- Brilho – não houve alteração;
- Ondulação – não houve alteração;
- Inchamento e absorção de umidade – nota-se um leve aumento das espessuras anteriores.

Mesmo com esse leve aumento nas espessuras, cabe ressaltar que as recomendações de distância mínimas entre os encaixes para a aplicação dos painéis foram respeitadas. Portanto, os painéis puderam trabalhar sem afetar o outro;

- Manchas e descoloração – não foram detectadas descoloração nas duas paredes, porém foram notadas pequenas manchas nos painéis impermeabilizados com PU que ficaram mais nas extremidades do Protótipo;
- Fissuras – não houve fissuras;
- Desprendimentos das partículas externas e internas – não houve desprendimento.

A Figura 65 mostra o encontro entre as paredes de *Pinus* sp. com CCB internas. A esquerda da foto foi impermeabilizada com PU e à direita, a parede foi impermeabilizada com Osmocolor UV.

Figura 67 – Parede impermeabilizada com PU e com Osmocolor UV. Foto (a) de ago. 2013 e (b) de jan. de 2014.

Pela Figura acima, verificou-se que a aplicação de diferentes impermeabilizantes praticamente não influenciou no aspecto visual dos painéis entre as paredes com diferentes impermeabilizantes. A parede com Osmocolor aparece nas fotos levemente amarelada, características do próprio impermeabilizante.

A parede impermeabilizada com PU apresenta um pouco mais de brilho em relação à parede com Osmocolor, pois este (incolor) foi escolhido justamente para não influenciar visualmente no material testado.

Pode-se notar, novamente, que as paredes da Figura 65b aparentam estar levemente escurecidas em relação às suas respectivas da Figura 65a. E o brilho praticamente não se alterou.

- Piso de *Eucalyptus* sp. impermeabilizado com Osmocolor para deck com UV.

Como já exposto anteriormente, o piso não ficou totalmente alinhado. Pelo fato da marcenaria do Laboratório de Madeiras efetuar vários projetos ao mesmo tempo não foi possível deixar o equipamento regulado apenas para fazer os encaixes macho – fêmea dos piso. Portanto, ocorreram diferenças de níveis entre os encaixes dos painéis feitos em diferentes dias.

Desta forma, foi necessário calafetar as junções para evitar frestas entre seus

encaixes, diminuindo a possibilidade de infiltração de água e acúmulo de sujeira.

O Synteco não resistiu às chuvas constantes e foi necessária uma nova impermeabilização com Osmocolor para deck com UV.

Pelas análises visualmente feitas antes da retirada do piso, a exposição do Protótipo a novas intempéries e consequente desbotamento ocorrido, permitiu que fosse identificada a infiltração pela diferença de cor das bordas do piso em relação ao restante do painel (Figura 68b). Essa infiltração provavelmente ocorreu antes de aplicado o segundo impermeabilizante, que é indicado especificamente para decks de áreas molhadas.

Seguem abaixo uma síntese do que foi analisado.

Figura 68 – (a) Piso impermeabilizado com Osmocolor UV em set. de 2013 e (b) foto de piso tirada em jan. de 2014.

Figura 69 – Corpos-de-prova do piso após exposição à intempéries.

Analisando em aspectos gerais e qualitativos, os painéis utilizados no piso do protótipo apresentaram as seguintes características:

- Aspecto geral – bom;
- Resistência ao tato – bom;
- Cor – desbotada devido à ação das intempéries;

- Brilho – abaixo do esperado;

- Ondulação – média;

- Inchamento e absorção de umidade – nas bordas, razoavelmente alto devido à penetração de água nos encaixes macho-fêmea;

- Manchas e descoloração – foram detectadas manchas e descoloração devidas à reação do Synteco, água da chuva com o produto final Osmocolor UV para deck;

Segue as análises visuais feitas após a retirada do piso e seu seccionamento:

- Fissuras – não houve fissuras;

- Desprendimentos das partículas externas e internas – não houve desprendimento.

- Nas áreas dos painéis onde não houve infiltração de água, os corpos-de-prova permaneceram intactos, sem nenhuma alteração interna.

- As bordas cortadas voltaram à espessura normal alguns dias depois de ficarem expostas às condições normais de temperatura e umidade do local.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

O presente trabalho mostrou que a utilização de painéis de partículas homogêneas fabricados com resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. tratados com CCB, para produção de componentes para edificações (pisos e paredes) é tecnicamente viável, tendo em vista os procedimentos empregados no desenvolvimento do presente trabalho para a construção de um Protótipo de revestimento, em escala real;

A viabilidade em questão também está relacionada às disponibilidades dos insumos empregados na produção dos painéis, na existência de pequenas empresas voltadas à citada produção e na facilidade construtiva que requer equipamentos usualmente utilizados no mercado da construção civil;

O Protótipo ficou exposto do dia 05 de agosto de 2013 a 15 de janeiro de 2014 (aproximadamente cinco meses). As paredes foram concluídas em agosto de 2013 e o piso em setembro de 2013 e ambos permaneceram expostos até janeiro de 2014 quando foram retirados os painéis de cada revestimento para serem feitos os ensaios e análises.

Os resultados obtidos nos ensaios e na análise qualitativa positiva dos revestimentos antes e após exposição do Protótipo ao intemperismo natural mostram a possibilidade de sua aplicação em revestimentos internos e externos;

Os valores obtidos em todos os ensaios físico-mecânicos dos painéis antes da sua aplicação apresentaram valores próximos e similares aos dois trabalhos tomados como base, o de Bertolini (2011) e de Nascimento (2011), e também atingiram e ultrapassaram os valores mínimos estabelecidos em normas, confirmando a possibilidade de sua utilização no interior de edifícios;

Pela Análise estatística o único fator que influenciou nas propriedades avaliadas (MOR, MOE e RTP) após a sua exposição às intempéries foi o envelhecimento natural. O tipo de impermeabilizante e a posição dos painéis não foram significativos, possivelmente devido a sua implantação que permitiu que uma parte dos revestimentos internos recebessem um pouco de insolação direta e indireta no final da tarde, motivo este que pode ter influenciado nos resultados

minorados constatados pela ANOVA. Levando esses fatores em consideração também se mostra possível a aplicação dos painéis como revestimento interno;

O revestimento da parede foi utilizado somente para vedação, não tendo, portanto, que apresentar função estrutural, assim seus resultados de MOR e MOE não precisam ser tão elevados. Mesmo assim, os resultados dos ensaios antes da exposição do Protótipo às intempéries, mostraram-se positivos e acima dos valores estabelecidos pelas normas utilizadas e equivalentes aos resultados dos dois trabalhos de base. Isso mostra que os revestimentos podem ser aplicados em interiores;

Os ótimos resultados obtidos nos ensaios de abrasão para os painéis de piso de *Eucalyptos* sp. antes da sua exposição reforçaram a viabilidade de sua aplicação como revestimento interno e externo;

Os revestimentos externos apresentaram todas as propriedades físico mecânicas ensaiadas antes da sua exposição às intempéries, acima dos valores mínimos exigidos pelas normas utilizadas. Soma-se a isso que sua exposição foi o fator que acarretou na minoração de suas propriedades, portanto, isso reforça a viabilidade de aplicação dos revestimentos no interior da edificação e futuros aperfeiçoamentos na composição dos painéis para que possam ser aplicados externamente também;

É necessário redimensionar os parâmetros da produção dos mesmos de modo que suas propriedades não sejam significativamente alteradas depois de sua exposição às intempéries. Entre os parâmetros cabe citar: ajustes na porcentagem de adesivos, na temperatura e pressão de prensagem e na espessura dos painéis. Em se tratando de um novo produto e com propriedades específicas e diferentes dos revestimentos comercializados, torna-se necessário avaliar outros tipos de impermeabilizantes e repensar as quantidades de demãos utilizadas neste trabalho, que foi baseada nas recomendações dos fornecedores, para melhorar o desempenho dos painéis submetidos às intempéries;

É importante que outros estudos de detalhes construtivos sejam estudados, levando em conta a proteção física da edificação para evitar a exposição de determinados pontos dos painéis que venham a facilitar ou acelerar o aparecimento de patologias.

Para a continuidade das ações de pesquisas, são sugeridos trabalhos que gerem subsídios para atender o que foi mencionado nos dois últimos parágrafos. Além disso, outros tópicos precisam ser abordados:

- avaliação da condutividade térmica dos painéis;
- avaliação da absorção sonora dos painéis;
- avaliação relacionadas à segurança da edificação em relação a resistência ao fogo;
- avaliação de novos adesivos, preferencialmente oriundos de insumos renováveis, como alternativa ao aqui estudado;
- utilização de técnicas que levem ao envelhecimento acelerado dos painéis de modo a reduzir o tempo necessário para avaliar o declínio do desempenho dos painéis e, assim, permitir a sugestão de situações para o enfrentamento e a separação das decorrências de ação das intempéries.

REFERÊNCIAS

APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Políticas de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.apambiente.pt/>>. Acesso em: 10 maio 2012.

AGÊNCIA SEBRAE DE NOTÍCIAS. **Arranjo de Madeira e Móveis é Tema de Palestra no Madeira 2006**. Disponível em: <<http://www.agenciasebrae.com.br/noticia.kmf?noticia=4554561&canal=40>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

ALMEIDA, E. **Lei 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.egov.ufsc.br/portal/conteudo/lei-12305-pol%C3%ADtica-nacional-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

ALVES, L. A. Para Onde Vai o Lixo. **Revista Arquitetura & Construção: CASA SUSTENTÁVEL**, São Paulo, 2. ed. p. 76 – 77, 2012.

ANSI. AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (1999). **A 208.1: Particleboards Physical & Mechanical Properties Requirements**. Gaithersburg.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1982). **ASTM D – 1037**. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia.

ANDRADE, A. (coord.). **Análise Tecnológica e Econômica do Setor Brasileiro de Pisos de Madeira**. Piracicaba: ANPM, 2011. 69p.

ABIPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Números do Setor**. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/Panorama_do_mercado_de_paineis_de_madeira.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2012.

_____. **Indústria Brasileira de Painéis**. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/loracruz/industria-de-painis-madeira-slida-e-mveis-por-roberto-szachnowicz-vice-presidente-da-satipel-minas>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

ABIMCI. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2007**. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/dmdocuments/ABIMCI_Estudo_Setorial_2007.pdf>.

Acesso: 03 jan. 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1:** Chapas de Madeira Aglomerada. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14810-2:** Chapas de Madeira Aglomerada. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14810-3:** Chapas de Madeira Aglomerada. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

ABRAF. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico ABRAF 2010 ano base 2009.** Brasília, 2010.

_____. **Anuário Estatístico ABRAF 2013 ano base 2012.** Brasília, 2013.

ANPM. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA. **Pisos de Madeira. Beleza – Qualidade – Sustentabilidade. Panorama Setorial.** Piracicaba: ANPM, 2011.

BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna.** 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2009.

BERTOLINI, M. S. (2011). **Emprego de Resíduos de *Pinus sp.* Tratado com Preservante CCB na Produção de Chapas de Partículas Homogêneas Utilizando Resina Poliuretana a Base de Mamona.** 128 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BIAZUS et. al. **Panorama de Mercado: Painéis de Madeira.** BNDES Setorial 32, p. 49-90, 2009.

BIDONE, F. R. A. **Metodologia e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos.** Rio de Janeiro: ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). 1999. 65p.

BORTOLETTO JUNIOR, G. (1993). **Indicações para a Utilização da Madeira de Seis Espécies e Variedades de *Pinus* Aplicada na Construção Civil**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 13 dez. 2012.

BRUNDTLAND, G. **Nosso Futuro Comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente – ONU, 1987.

CAMPOS, C. I. (2005). **Produção e Caracterização de MDF a Partir de Fibras de Madeira de Reflorestamento e Adesivos Alternativos em Diferentes Teores**. 113 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CAMPOS, C. I et al. (2004). **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de *Pinus* e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído**. Matéria, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p. 32-34

_____. *Pinus e Eucalipto para Produção de Painéis*. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 21, p. 229 – 232, 2007.

CATÁLOGO GERAL DE PRODUTOS CISER. **Parafusos e Porcas**. Disponível em: <<http://www.ciser.com.br/produtos/tipos>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

CATÁLOGO SCHIOPPA. **Como Selecionar Rodas e Rodízios (2010)**. Disponível em: <<http://www.schioppa.com.br/pt/guia-pratico>>. Acesso em: 28 maio 2013.

COIMBRA, J. A. et al. (1998). In: Marli Alves Santos (Autor), Ricardo Scurzio (Coord.). **Do Alicerce ao Teto**. Reflexão Holística para a Edificação de Assentamentos Habitacionais Sustentável. Editora Texto novo. São Paulo, SP.

COMMERCIAL STANDARD - CS. **Mat formed wood particleboard**: CS 236-66, 1968.

CMMAD. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Relatório Brundtland – Nosso Futuro Comum**. 2ª ed., Tradução de Our Common Future. 1ª ed., 1988. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DACOSTA, L. P. E. (2004). **Utilização de Resíduos do Processamento Mecânico da Madeira para Fabricação de Chapas de Partículas Aglomeradas**. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DACOSTA, L. P. E. et al. Qualidades das Chapas de Partículas Aglomeradas Fabricadas com Resíduos de Processamento Mecânico da Madeira de *Pinus elliotti* (Engelm.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.

DIAS, F. M. et al. (2005). Relation Between the Compaction Rate and Physical and Mechanical Properties of Particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 8, n. 3, p. 329-333, 2005.

DIAS, F. M. (2005). **Aplicação de Resina Poliuretana à Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Aglomerada**. 158 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

_____. (2008). **Aplicação de Resina Poliuretana à Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Aglomerada**. Produtos Derivados da Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no LaMEM-SET-EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 73-92, 2008.

DRYWALL. Associação Brasileira do Dry Wall. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/index3.php>>. Acesso em: 22 maio 2013.

EUCAFLOOR. **Instalação de Piso Laminado**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=K0mvokUsHWs>>. Acesso em: 3 abr. 2013.

EUCATEX. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.eucatex.com.br/pt/Default.aspx>>. Acesso em: 19 dez. 2012.

FAGUNDES, H. A. V. (2003). **Diagnóstico da Produção de Madeira Serrada e da Geração de Resíduos de Processamento de Madeira de Florestas Plantadas no Rio Grande do Sul**. 167 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <http://www.fao.org/index_en.htm> . Acesso: 03 nov. 2012.

FREITAS, A. S. A. F. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Responsabilidade Ambiental**. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=8617>. Acesso em: 13 jan. 2013.

FURTADO, C. A Responsabilidade dos Cientistas. São Paulo. **Jornal Folha de São Paulo**, São Paulo, 2005.

GELMINI, G. **Frank Lloyd Wright**. São Paulo: Folha de São Paulo, 2011. (Coleção Folha Grandes Arquitetos, Vol. 1).

GROPIUS, W. **Bauhaus: Novarquitectura**. Tradução J. Guinsburg e Ingrid Dormien. 5. ed. São Paulo: Perspectiva. 1997.

INO, A. (1984). **Papelão Ondulado**: Viabilidade de Utilização na Construção. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

_____. (1992). **Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Rolço para Habitação**. 212 f. Tese (Doutorado). Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira**. 1. ed. Curitiba: FUPEF, 1998.

IWAKIRI, S. et al. (2005). Painéis de Madeira Aglomerada. In: IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 123 - 166.

JOMARCA. **Especificações dos Produtos**. Disponível em: <<http://www.jomarca.com.br/produtos>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology: wood based materials**. New York: Springer-Verlag, 1975.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. São Paulo: Empório do Livro, 2008. 707 p.

MARTINS, M. (2008). **Ensaio de Simulação de Uso em Pisos de *Eucalyptus Cloeziana* F. Muell, *Eucalyptus microcorys* F. Muell E *Corymbia Maculata* Hook**. 48 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MASISA. **Recomendações Práticas - OSB**. Disponível em: <http://www.masisa.com/bra/produto/recomendacoes-praticas/>. Acesso em: 17 abr. 2012.

_____. **Recomendações Práticas - MDP**. Disponível em: http://www.masisa.com/medios/descargables/Manual_MDP.pdf >. Acesso em: 17 abr. 2012.

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO II (O AÇO NA ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO CIVIL). Apostila do Curso de Arquitetura e Urbanismo Elaborada pelo Grupo de Pesquisa ArqTeMa – Arquitetura, Tecnologia e Materiais. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

M.B.S. DO BRASIL – MADEIREIRA BASE SÓLIDA. **Assoalho de Madeira Maciça**. Disponível em: http://www.youtube.com/watch?v=wMYTP_ENM6Y>. Acesso em: 3 abr. 2013.

MENDENS, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A.. A indústria Brasileira de Painéis de Madeira. **Revista da Madeira**, n.71, p. 12-20, 2003.

MONTANA QUÍMICA. **Proteção e Acabamento de Madeira**. Disponível em: <http://www.montana.com.br>>. Acesso em: 06 jun. 2012.

_____. **Deck de Madeira**. Disponível em: <http://www.montana.com.br>>. Acesso em: 07 jun. 2012.

MOLINA, J. C. et al. Sistema Construtivo em "Wood Frame" para Casas de Madeira. **Semina**, v. 31, n. 2, p. 143 – 156, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/4017/6906>>. Acesso em: 22 maio 2013.

MURARA Jr. et al. Rendimento em Madeira Serrada de *Pinus* para Desdobro. **Revista da Madeira**, Curitiba, edição especial, p. 86-92, 2006.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CPH – Chapas de Partículas Homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil**. 134 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

_____. Viabilidade do Emprego de Resíduos de Madeira Tratada com CCA e CCB

na Produção de Painéis Particulados de Alta Densidade. **Relatório de Projeto de Pesquisa de Pós Doutorado**. 25p., 2011.

PAES, J. B. et al. Qualidade de Chapas de Partículas de *Pinus Elliottii* Coladas com Resina Poliuretana Sob Diferentes Combinações de Pressão e Temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PEREIRA, J. C. **Curso de Projeto Estrutural com Materiais Compostos**. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. 99p.

POLETO, S. F. S. et al. Produção de Chapas de Partículas Homogêneas (CPH) utilizando Resíduos de Espécies de Reflorestamento. In: Eduardo Chahud. (Org.). **Reciclagem de Resíduos para Construção Civil**. Belo Horizonte: FUMEC/FEA, v. 1, 2007. p. 271-292.

PROJETO FÊNIX. Cenário – Tecnologia. Material de Fibra. **Revista Arquitetura & Construção**, São Paulo, Edição nº 300, p. 40, 2012.

REMADE (2007). **Tecnologia Amplia Possibilidades de Usos**. Revista da Madeira, Curitiba, 6p. Artigo técnico. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/index.php>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

RIVELA, B. et al (2004). Life cycle assessment as a tool for the environmental improvement of the tannery industry in developing countries. **Environmental Science and Technology**, 38(6), p. 1901-1909.

ROCCO LAHR, F. A. (Org.). **Produtos Derivados da Madeira: Síntese dos Trabalhos Desenvolvidos no LaMEM-SET-EESC-USP**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. 160 p.

ROCHA, J. C., JOHN, V. M..**Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: FINEP, 2003. (Coletânea Habitare, Vol. 4).

SANTOS, M. P.; AGUILAR, M. T. P. 2007. **Painéis de Madeira como Vedação Vertical em Construções**. Monografia apresentada ao curso de Especialização em Construção Civil – ênfase: Tecnologia e Produtividade das Construções. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2007.
SERPE. Divisórias. Construção a Seco. Disponível em: <<http://steelframing.com.br>>. Acesso em: 22 maio 2013.

SHIGERU BAN ARCHITECTS. **Disaster Relief Projects. Paper Log Houses - Kobe, Japan, 1995.** Disponível em:

http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html.

Acesso em: 15 jan. 2013.

SHIMIZU, J. Y. *Pinus* na Silvicultura Brasileira. **Revista da Madeira**, Curitiba, edição especial, p. 04 -14, 2006.

SILVA, J.C. et al. Influencia da Idade e da Posição Radial na Massa Específica da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. MAIDEN. **Floresta**, Curitiba, v.34, n.1, p.13-22, 2004.

SILVA, S.A.M. (2007). **Aproveitamento de Resíduos de Madeiras Tropicais de Baixa e Média Densidade para a Produção de Chapas de Partículas Homogêneas, Empregando-se Resina Poliuretana Derivada de Óleo de Mamona.** Pós Doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, F. D. et al. M. Estudo do Desgaste à Abrasão do Eucalipto, Madeira Laminada e Bambu Gigante Laminado Utilizados como elementos de Piso. In: VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (EBRAMEM), 2002, Uberlândia. **Anais.** Uberlândia: EBRAMEM, 2002.

SISTEMA CONSTRUTIVO EM WOOD FRAME NO MVCV E NORMA DE DESEMPENHO. Disponível em:

<<http://www.robertoferreira.com.br/site/content/produtos/wood-frame.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2013.

TOMASELLI, I. Tendências de Mudanças na Indústria de Painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, p. 36-40, 2000.

UNIOESTE. **Manual Básico para a Construção de Casas de Madeira pelo Sistema Plataforma.** Curso de Engenharia Civil, Cascavel, 2012. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAQQAAG/manual-basico-a-construcao-casas-madeira-pelo-sistema-plataforma>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

VANHONI, F. F.. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/2010.** Disponível em:<<http://www.crea-sc.org.br>>. Acesso em: 05 dez. 2012.

VARANDA, L. D. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia.** 155 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto

de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VOGT, C. A Espiral da Cultura Científica. **Jornal Folha de São Paulo**, São Paulo, 24 jul. 2003.p. A2.

ZENID, G. J. et al. Mercado Estimula Produtos de Madeira com Valor Agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.84, p.34-46, 2004.