UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FABIANE SALLES FERRO

Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção

São Carlos
2013

FABIANE SALLES FERRO

Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

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

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, 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.

F395p Ferro, Fabiane Salles
Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção / Fabiane Salles Ferro; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento Caracterização e Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São Carlos; Instituto de Física de São Carlos; Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Paricá. 2. Painéis tratados. 3. Produtos derivados. 4. OSB. I. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação ao original defendido em 14 de Fevereiro de 2013, segundo as orientações da comissão julgadora, sob a exclusiva responsabilidade do autor.

São Carlos, 12 de Abril de 2013.

Fabiane Salles Ferro

Aos meus pais Silvio e Vera, à minha querida irmã Flavia e ao meu namorado Felipe,
com todo meu amor.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por essa conquista.

Ao Prof. Francisco Antonio Rocco Lahr, por sua orientação, mas principalmente, pela amizade, ensinamentos, paciência e incentivos.

À pesquisadora Maria Fátima (Fati), pelo auxílio, atenção, ensinamentos, e pelas diversas contribuições para conclusão deste trabalho.

Ao Prof. André Luís Christoforo, pela paciência e grande auxílio nas análises estatísticas.

À doutoranda Marília, pela amizade, convivência, companheirismo, incentivo e incalculável auxílio durante este período de mestrado.

Ao doutorando Amós, pela amizade, companheirismo e pela indispensável ajuda na produção dos painéis.

À todos os amigos do LaMEM- Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeiras: Calil Neto, Júlio Molina, Diego, Laurenn, Luciano, Márcio, Raquel, Ricardo, Sabrina, Gloria e Lorena.

Ao meu amado e companheiro de sala Felipe, pelos momentos de lutas e vitórias, amizade, carinho e amor recíproco.

À todos os funcionários do LaMEM, Arnaldo, Jaime, Bragato, Tânia, Roberto e Samuel. Em especial o Aparecido (Cido), por sua paciência e grande dedicação na execução deste trabalho, e ao Silvio (querido pai), que foi fundamental com todo seu apoio, paciência, incentivo, amor, dedicação e carinho, para que eu conseguisse realizar este trabalho e vencer mais essa etapa na minha vida.

Ao CnPQ, pela bolsa concedida.

À todos que contribuíram de uma forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

FERRO, F. S. (2013). **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção.** 101f. 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, 2013.

O Paricá (*Schizolobium amazonicum*) é uma espécie nativa do Brasil com ampla distribuição geográfica. Sua plantação e utilização estão em constante crescimento, devido às características apresentadas pela espécie. A principal utilização da madeira de Paricá tem sido a fabricação de lâminas de compensados. Entretanto, esses painéis experimentam redução de oferta, devido sua substituição por OSB. O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica de produção de painéis OSB fabricados com partículas de madeira da espécie *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. Com a finalidade de proporcionar maior durabilidade e qualidade a estes painéis, também foi avaliada a influência do tratamento das partículas com preservante CCA e CCB e a variação de três teores de adesivo (8, 10 e 12%). O desempenho dos painéis para as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água após períodos de 2 e 24 horas de imersão, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para as direções paralela e perpendicular à orientação das partículas e adesão interna, foram avaliados segundo o documento normativo europeu EN 300 (2006). A resistência ao arrancamento de parafuso de face e de topo foi investigada de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810 - 2 (2006). Os resultados apontaram excelentes propriedades físico-mecânicas para os painéis OSB produzidos neste estudo, quando comparados com os valores mínimos recomendados pelas normas citadas e com os valores encontrados na literatura, para painéis desta natureza com finalidades comerciais. Desta maneira ficou comprovada a viabilidade da utilização da espécie Paricá, quando tratada com preservantes CCA e CCB, e quando utilizada “in natura”, juntamente com a resina poliuretana à base de óleo de mamona na fabricação de painéis OSB.

Palavras-chave: Paricá, painéis tratados, produtos derivados, OSB.

ABSTRACT

FERRO, F. S. (2013). **OSB wood panel of *Schizolobium amazonicum* with polyurethane resin based-castor oil: the technical feasibility of production.** 101 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, 2013.

Paricá (*Schizolobium amazonicum*) is a Brazilian native wood specie, with wide geographic distribution. Their plantation and utilization are constantly growing due to the features presented by the specie. Primary use of wood has been in manufacture of plywood sheets. However, these panels present a gradual offer reduction, being replaced by OSB. This study aimed to assess the technical feasibility of producing OSB, using Paricá particles and castor oil based polyurethane resin. With the purpose of improve durability and quality of these panels, effect of treating the particles with preservative CCA and CCB and the variation of three levels of adhesive (8%, 10% and 12%) were also evaluated. OSB performance in thickness swelling and water absorption after periods of 2 to 24 hours of immersion, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR), directions parallel and perpendicular to the particles orientation and internal bonding were evaluated according to the European normative document EN 300 (2006). Pullout strength of the screw (face and top) was investigated according to norm ABNT NBR 14 810 (2006). The results showed excellent physical and mechanical properties for the OSB produced in this study, when compared with the minimum recommended by the standards and the values cited in the literature, such panels for commercial purposes. Thus it was proved the feasibility of using Paricá specie when treated with preservatives CCA and CCB, and when used "in natura" with castor-oil based polyurethane resin in OSB production.

Keywords: Paricá, treated particleboards, wood products, OSB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões de ocorrência natural do <i>Schizolobium amazonicum</i>	25
Figura 2: Formação dos painéis OSB. Painel com partículas internas com distribuição aleatória (a), painel com partículas internas dispostas de forma orientada (b).	32
Figura 3: Processo de produção de OSB.....	35
Figura 4: Partículas com e sem tratamento (a) e resina poliuretana à base de mamona (b). ..	48
Figura 5: Picador de disco (a) e estufa com circulação de ar forçada (b).	49
Figura 6: Encoladeira adaptada.	52
Figura 7: Distribuição e orientação das partículas das camadas externas (a) e (b), camada externa com partículas orientadas (c) e camada interna com partículas desorientadas (d).....	53
Figura 8: Pré-prensagem do colchão (a) e colchão após a pré-prensagem (b).....	53
Figura 9: Fechamento da prensa (a), abertura da prensa (b), painel após a prensagem (c) e painéis OSB produzidos neste estudo (d).....	54
Figura 10: Esquema de retirada dos corpos de prova de cada chapa.....	55
Figura 11: Pesagem do CP para ensaio de absorção de água (a) e medição da espessura do CP para ensaio de inchamento em espessura (b).....	57
Figura 12: Máquina universal de ensaios da AMSLER.....	58
Figura 13: Ensaio de flexão estática.	59
Figura 14: Ensaio de tração perpendicular às faces.....	59
Figura 15: Ensaio de arrancamento de parafuso: topo (a) e face (b).	60
Figura 16: Gráfico de interação dos fatores para teor de umidade.	68
Figura 17: Gráfico de interação dos fatores: IE 2h (a), AA 2h (b) e IE 24h(c).....	71
Figura 18: Gráfico de interação dos fatores: MOE perpendicular (a) e MOR perpendicular (b).....	77
Figura 19: Gráfico de interação dos fatores para adesão interna.....	79
Figura 20: Gráfico de interação dos fatores para arrancamento de parafuso: face (a) e topo (b).....	81

Figura 21: Normalidade dos resíduos para a propriedade inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água. 97

Figura 22: Normalidade dos resíduos para a propriedade adesão interna..... 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades mecânicas da madeira de Paricá.	27
Tabela 2: Composições do CCA (%).	30
Tabela 3: Composições do preservante CCB.	31
Tabela 4: Parâmetros adotados no estudo preliminar.	50
Tabela 5: Condições experimentais.	51
Tabela 6: Ensaio realizados, normas utilizadas e quantidade de corpos de prova (CPs) retirados de cada painel.	55
Tabela 7: Valores médios das propriedades obtidas no estudo preliminar.	63
Tabela 8: Densidade aparente da madeira de Paricá sem e com tratamento preservante.	64
Tabela 9: Valores médios da densidade e razão de compactação dos painéis OSB.	66
Tabela 10: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre o teor de umidade dos painéis.	67
Tabela 11: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade teor de umidade.	67
Tabela 12: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.	69
Tabela 13: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades IE 2 e 24h.	69
Tabela 14: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades AA 2 e 24h.	70
Tabela 15: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedade IE 2h.	71
Tabela 16: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades MOE e MOR para direção paralela.	73
Tabela 17: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade MOR para direção paralela.	74
Tabela 18: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades MOE e MOR para a direção perpendicular.	75
Tabela 19: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades MOE e MOR para direção perpendicular.	75
Tabela 20: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedades MOE e MOR para direção perpendicular.	75

Tabela 21: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre a propriedade de adesão interna.	78
Tabela 22: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade adesão interna.	78
Tabela 23: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedade adesão interna.	78
Tabela 24: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face e de topo.	80
Tabela 25: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face de topo.	80
Tabela 26: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face de topo.	81
Tabela 27: Valores médios referentes à propriedade teor de umidades dos painéis OSB.	95
Tabela 28: Valores médios referentes às propriedades inchamento em espessura e absorção após 2 e 24 horas de imersão em água.	95
Tabela 29: Valores médios referentes às propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a direção paralela à orientação das partículas.	95
Tabela 30: Valores médios referentes às propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a direção perpendicular à orientação das partículas.	96
Tabela 31: Valores médios referentes à propriedade de adesão interna.	96
Tabela 32: Valores médios referentes às propriedades de arrancamento de parafuso de face e de topo.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ACA	Arseniato de cobre amoniacal
ACC	Cromato de cobre ácido
ANSI	American National Standard Institute
CCA	Arseniato de cobre cromatado
CCB	Borato de cobre cromatado
CPP	Centro de Pesquisa do Paricá
CS	Commercial Standard
CSA	Canadian Standards Association
EN	European Norm
FF	Fenol formaldeído
LVL	Laminated Veneer Lumber
MDF	Medium Density Fiberboard
MDI	Isocianato
MDP	Medium Density Particleboard
MLC	Madeira Laminada Colada
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de ruptura
MUF	Melamina uréia formaldeído
NBR	Norma Brasileira Registrada
OSB	Oriented Strand Board
PCP	Pentaclorofenol
SBA	Structural board associatinon
WPIF	Wood Panel Industries Federation
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
FAO	Food and Agriculture Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivos.....	23
1.1.1 Objetivo geral.....	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 O Paricá	25
2.1.1 Considerações gerais sobre o Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i>).....	25
2.1.2 Características gerais da madeira de Paricá.....	26
2.1.3 Utilizações	27
2.2 Preservação da madeira	28
2.2.1 Arseniato de cobre cromatado (CCA)	29
2.2.2 Borato de cobre cromatado (CCB).....	30
2.3 Produtos derivados da madeira	31
2.3.1 OSB - Conceitos, características produtivas e utilizações dos painéis	32
2.3.2 OSB - Processo de fabricação.....	34
2.3.3 OSB - Fatores que afetam as propriedades dos painéis.....	36
2.3.3.1 Espécie.....	36
2.3.3.2 Densidade da madeira.....	37
2.3.3.3 Teor de umidade da madeira e das partículas	38
2.3.3.4 Densidade dos painéis	38
2.3.3.5 Razão de compactação.....	39
2.3.3.6 Composição dos painéis	40
2.3.3.7 Geometria e orientação das partículas	40
2.3.3.8 Tipos e teores de adesivo	41
2.3.3.9 Ciclo de prensagem	43

2.4 Painéis com tratamento preservante.....	44
2.5 Considerações a respeito da Revisão Bibliográfica	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 Materiais	47
3.2 Determinação da densidade aparente da madeira	48
3.3 Produção e secagem das partículas	49
3.4 Estudo preliminar	50
3.5 Produção dos painéis	50
3.5.1 Aplicação da resina	51
3.5.2 Orientação das partículas e formação do colchão	52
3.6 Obtenção dos corpos de prova	54
3.7 Caracterização físico-mecânicas dos painéis	56
3.7.1 Propriedades físicas	56
3.7.1.1 Densidade aparente.....	56
3.7.1.2 Teor de umidade.....	57
3.7.1.3 Absorção e inchamento em espessura após imersão em água	57
3.7.2 Propriedades mecânicas.....	58
3.7.2.1 Flexão estática.....	58
3.7.2.2 Tração perpendicular às faces	59
3.7.2.3 Arrancamento de parafuso	60
3.8 Razão de compactação	60
3.9 Análise estatística.....	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 Estudos preliminares	63
4.2 Ensaio principais	64
4.2.1 Densidade da madeira	64
4.2.2 Propriedades dos painéis	65

4.2.2.1 Propriedades físicas	66
4.2.2.1.1 Densidade e razão de compactação	66
4.2.2.1.2 Teor de umidade dos painéis.....	67
4.2.2.1.3 Inchamento em espessura e absorção após 2 e 24 horas de imersão em água.....	68
4.2.2.2 Propriedades mecânicas	72
4.2.2.2.1 Flexão estática	72
4.2.2.2.2 Adesão interna.....	77
4.2.2.2.3 Arrancamento de parafuso de face e topo.....	79
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS.....	87
APÊNDICE A - VALORES MÉDIOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS.....	95
APÊNDICE B - GRÁFICO DE NORMALIDADE DOS RESÍDUOS.....	97

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, espécies nativas são pouco cultivadas de forma comercial, sendo predominantes as florestas plantadas com os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. No entanto, o crescimento da demanda mundial por madeira para suprir as necessidades de matéria prima dos diferentes setores da indústria madeireira, implica a busca de novas espécies com potencial de utilização (VIDAURRE, 2010).

O *Schizolobium amazonicum*, conhecido também como Paricá, é uma espécie de madeira nativa, cuja plantação e utilização vêm despertando o interesse de muitos empresários. As principais causas desse interesse são: elevada cotação dessa madeira no mercado interno e externo, rápido crescimento da árvore, abundância e germinação da semente, entre outras (SIVIERO, 2006).

O Paricá vem sendo utilizado principalmente na confecção de lâminas para painéis compensados, devido às características como fuste reto e com pouca incidência de nó (SOUZA, 2005).

Apesar de todas as vantagens da espécie, sua durabilidade natural é baixa, com alta suscetibilidade ao ataque biológico, recomendando-se o tratamento preservativo antes do seu uso (SOUZA et al., 2003).

Os principais preservantes utilizados no tratamento de madeira no Brasil são o CCA (arseniato de cobre cromatado) e o CCB (borato de cobre cromatado), ambos impregnados na madeira por meio de vácuo/pressão (BERTOLINI, 2011).

Tratamentos preservantes também devem ser aplicados em painéis compósitos à base de madeira para prolongar sua vida útil, pois esses materiais são constituídos essencialmente de madeira, muitas vezes de baixa durabilidade natural, portanto, sendo bastante suscetíveis ao ataque de organismos deterioradores (ARNOULD, 2010).

O OSB (Oriented Strand Board) é um painel de partículas orientadas, aderidas com resina à prova de água e consolidadas pela prensagem a quente. É um produto com demanda ascendente no país, e também no mundo, pois sua utilização vem ocupando uma faixa de mercado antes exclusiva das chapas de madeira compensada, uma vez que o OSB pode ser produzido com custos mais baixos, com maior aproveitamento da tora de madeira e com propriedades semelhantes (SOUZA, 2012).

O Brasil em 2011 exportou mais de US\$ 15 milhões de painéis OSB. Em 2012 a empresa produtora de OSB no país, LP Brasil, estima que o crescimento nas exportações seja de aproximadamente 50% em relação ao ano anterior. Quanto ao comércio de painéis de partículas orientadas em 2011, merecem destaque países como Canadá e Rússia, com produção de 4,7 milhões de m³ (maior em 3 anos), e importações de 390 mil m³ (aumento de 31% em relação ao ano de 2010), respectivamente (FOREST PRODUCTS, 2012).

No Brasil, esses painéis são produzidos com madeira de *Pinus* sp. (LP BRASIL, 2013). Estudos sobre a influência das espécies de madeira nas propriedades físicas e mecânicas e na produção dos painéis OSB, foram realizados por autores como Vidaurre (2004) com madeiras nativas da Mata Atlântica como Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) e Mulungu (*Erytrina verna* Vell); Okino (2009) usando espécies de *Pinus* (*Pinus taeda*), de Seringueira (*Hevea brasiliensis*) e de Cipreste (*Cupressus* spp.); Surdi (2012) com híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* e com *Pinus taeda*; Nascimento e Morales (2008) com espécies da caatinga como Marmeleiro (*Croton* sp), Catanduva (*Acacia monoliformis*) e Jurema Branca (*Pithecoelobium dumosum*). Entretanto, não foi encontrado nenhum relato sobre a utilização do Paricá (*Schizolobium amazonicum*) na fabricação de OSB, seja com madeira “in natura” como tratada com CCA ou CCB.

Observando o crescimento do mercado de painéis OSB e do Paricá, e a indispensável procura por novas espécies de madeira para suprir as necessidades das indústrias madeireiras, este trabalho busca avaliar a influência da espécie *Schizolobium amazonicum* in natura e tratada com preservantes CCA e CCB, e da resina poliuretana à base de óleo de mamona na produção e no desempenho de painéis OSB, à luz dos requisitos da norma EN 300 (2006), devido à ausência de norma brasileira específica para o produto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de produção de painéis OSB com partículas de madeira da espécie *Schizolobium amazonicum*, aderidas com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliação da influência do teor de resina nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.
- Avaliação da influência do tratamento das partículas de madeira com preservantes CCA e CCB, sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção estão apresentadas informações relacionadas aos painéis OSB e aos principais fatores que influenciam no seu processo de fabricação, além de considerações sobre os insumos utilizados.

2.1 O Paricá

2.1.1 Considerações gerais sobre o Paricá (*Schizolobium amazonicum*)

A espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, conhecida na Região Amazônica como Paricá, Bandarra ou Guapuruvu-da-Amazônia, pertence à família Leguminosae. É natural de países como Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Equador, Honduras, México e Peru. No Brasil a espécie apresenta ampla distribuição geográfica, sendo encontrada nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, e também na região da Mata Atlântica (Bahia à Santa Catarina). Ocorre em altitudes de até 800 metros, em solos argilosos de matas primárias e secundárias, em terras firmes e também em várzea alta (CARVALHO, 2007; CORDEIRO, 2007; SOUZA et al., 2005). A Figura 1 mostra as regiões de ocorrência natural dessa espécie.

Figura 1: Regiões de ocorrência natural do *Schizolobium amazonicum*. Fonte: Melo (2012).

Cultivado no país com fins industriais desde a década de 1990, o Paricá desperta cada vez mais interesse aos produtores florestais devido ao seu rápido crescimento, madeira com elevada cotação no mercado interno e externo, além de abundância e rápida germinação das sementes (COLLI, 2007; SIVIERO, 2006; VIDAURRE, 2010). Em 2011, a área plantada com Paricá nos estados do Pará, Maranhão e Tocantins ultrapassou 85 mil hectares (ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2012).

O Paricá é uma árvore de grande porte, em geral com 15 a 40 m de altura e 50 a 100 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Possui características como tronco cilíndrico, com pouca tortuosidade e desprovido de ramificações. Seu ciclo de corte é de aproximadamente 7 anos, sendo as árvores com essa idade destinadas principalmente à fabricação de lâminas para produção de painéis compensado (SIVIERO, 2006; SOUZA et al., 2005; VIDAURRE, 2010).

A espécie pode apresentar grande variação no incremento, tanto em altura como em diâmetro, dependendo das condições de preparo de área e de plantio (CORDEIRO, 1999). De acordo com Siviero (2006), o *Schizolobium amazonicum* possui produtividade média que varia de 25 a 30 m³/ha/ano.

Pouco foi feito em termos de melhoramento genético do Paricá, embora as técnicas de micropropagação já estejam dominadas. Com a intensificação de estudos, a produtividade média do Paricá tende a aumentar, da mesma forma que ocorreu com gêneros como *Eucalyptus* e *Pinus* (MELO, 2012; TEREZO, 2010). A produtividade média dos plantios dos gêneros *Eucalyptus* que, em 1990, era de aproximadamente 26 m³/ha/ano, atingiu em 2011 40,1 m³/ha/ano. Os plantios de *Pinus*, com produtividade média 25 m³/ha/ano, em 1990, atingiram aproximadamente 36 m³/ha/ano, em 2011 (ABRAF, 2006; ABRAF, 2012).

2.1.2 Características gerais da madeira de Paricá

A madeira de Paricá é considerada leve, com massa específica aparente média de 0,42 g/cm³, a 12% de umidade, e massa específica básica média de 0,36 g/cm³ (MATSUBARA e LOGSDON, 2004). O alburno é diferenciado do cerne, com uma zona de transição gradual. O alburno possui cor creme amarelado e, o cerne, marrom claro. Apresenta baixa durabilidade natural, sendo altamente suscetível ao ataque biológico, recomendando-se sua preservação antes do uso (SOUZA et al., 2003).

De acordo com Siviero (2006), a madeira da espécie *Schizolobium amazonicum* apresenta fácil trabalhabilidade, fácil secagem, boa colagem, recebe acabamento, aceita bem o tratamento preservativo, possui facilidade quanto à retirada de casca, laminação e prensagem e não possui nós, pois as ramificações dos galhos ficam em geral, a partir de 7 metros da base do fuste.

Com relação às propriedades mecânicas do Paricá, estas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas da madeira de Paricá.

Propriedade		Condições	
Flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (MOE)	Verde	5123,0
		Seca	5811,0
	Módulo de ruptura (MOR)	Verde	33,3
		Seca	42,2
Compressão (MPa)	Paralela às fibras	Verde	16,5
		Seca	22,7
	Perpendicular às fibras	Verde	4,3
		Seca	4,5
Tração (MPa)	Paralela às fibras	Verde	66,0
		Seca	72,0
	Perpendicular às fibras	Verde	1,7
		Seca	2,0
Cisalhamento (MPa)	---	Verde	5,3
		Seca	5,3
Fendilhamento (MPa)	---	Verde	3,4
		Seca	3,4
Dureza Janka (N)	Tangencial	Verde	1488,8
		Seca	1641,0
	Transversal	Verde	1742,0
		Seca	2067,0

Adaptado: Vidaurre (2010); Costa et al. (1998).

2.1.3 Utilizações

De acordo com Siviero (2006), a madeira de Paricá é utilizada principalmente na fabricação de lâminas de compensado, devido ao grande potencial de processamento em virtude da uniformidade da madeira. Além disso, devido sua baixa densidade, não necessita de aquecimento para ser laminada. Estudos realizados por Iwakiri et al. (2011) e Stella (2009), confirmam a viabilidade de produção de painéis compensados utilizando lâminas de Paricá.

A madeira apresenta também grande potencial de uso para produção de painéis MDP (Medium Density Particleboard) (COLLI, 2007) e MDF (Medium Density Fiberboard). Melo (2012) relata que o MDF produzido pela empresa Rio Concren®, localizada no Estado do Pará, já é composto em partes por fibras de Paricá, adicionadas às fibras de espécies de *Eucalyptus*.

Quando utilizada na fabricação de painéis e vigas estruturais, estudos mostram seu bom desempenho. Vigas de MLC (Madeira Laminada Colada) confeccionadas com essa espécie apresentam desempenho compatível aos de vigas serradas e devem ser empregadas de acordo com os critérios de cálculo para a classe de resistência C-20 da NBR 7190 (1997): Projetos de estruturas de madeiras (TEREZO e SZÜCS, 2010). Para painéis LVL (Laminated Venner Lumber), Iwakiri et al. (2010) encontraram resultados de MOE (Módulo de elasticidade) e MOR (Módulo de ruptura) similares aos de painéis produzidos com lâminas de *Pinus taeda* nas faces.

Terezo (2010) relata que o Paricá também é muito utilizado no sul do Brasil na produção de forros, portas, lâminas decorativas, móveis, utensílios e estruturas.

2.2 Preservação da madeira

A durabilidade natural da madeira é interpretada por sua capacidade de resistência à ação de agentes deterioradores, tanto biológicos como físico-químicos (GOMES e FERREIRA, 2002). A vida útil de uma madeira está determinada, de uma parte, por aspectos inerentes a madeira e, por outra, pelas condições especiais de serviço (MANUAL... 1998).

Para madeiras de baixa durabilidade natural, a preservação adquire grande importância, pois prolonga sua vida útil. A maioria destas espécies pode ser tratada com sucesso, obtendo desse modo, uma proteção adequada contra organismos xilófagos (MANUAL... 1998).

Para uma proteção satisfatória da madeira, é extremamente importante a escolha correta do método de aplicação do preservante, pois nenhum produto irá conferir devida proteção se não for corretamente aplicado (LELIS, 2001).

A aplicação dos produtos preservativos pode ser realizada de duas maneiras, através do método industrial e do método não industrial, os quais se diferenciam devido ao primeiro utilizar de pressões externas para forçar a penetração do preservante na madeira. A escolha

desses métodos depende da classe de risco à qual o componente de madeira será submetido na edificação (LELIS et al., 2001).

De acordo com Lelis et al. (2001) e Moreschi (2011) os preservantes de madeira podem ser agrupados em 3 categorias:

a) Preservativos oleosos - produtos cuja natureza é oleosa; são essencialmente representados pelos derivados do alcatrão e hulha. Como exemplo pode-se citar o creosoto, naftenatos e quinolinolato de Cobre - 8.

b) Preservativos oleossolúveis - produtos que são dissolvidos em algum tipo de solvente orgânico; são à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica. Como exemplo mais comum pode-se citar o pentaclorofenol (PCP).

c) Preservativos hidrossolúveis - produtos cujo solvente é a água. Exemplo desses preservantes são o arseniato de cobre cromatado (CCA), borato de cobre cromatado (CCB), cromato de cobre ácido (ACC) e o arseniato de cobre amoniacal (ACA).

Os preservantes hidrossolúveis são os mais eficientes no tratamento de madeira contra agentes deterioradores e, dentre os apresentados anteriormente, Bertolini (2011) relata que o CCA e o CCB são os de maior aplicação no Brasil. Esses preservantes são descritos a seguir.

2.2.1 Arseniato de cobre cromatado (CCA)

Preservativo hidrossolúvel à base de cobre, arsênio e cromo, o CCA é o mais utilizado em todo o mundo. Confere à madeira grande proteção contra o ataque de organismos xilófagos e é indicado no tratamento de dormentes, postes, mourões, construções residenciais e comerciais, estacas e outros locais em que há contato direto da madeira com o solo e com umidade (APPEL et al., 2007; EVANGELISTA, 2011).

O CCA é uma mistura de sais ou óxidos, disponível em três formulações diferentes (A, B e C), diferindo-se principalmente em relação aos teores de cromo e arsênio, como pode ser visualizado na Tabela 2. O tipo C é o mais utilizado por apresentar melhor resistência à lixiviação e melhor desempenho no campo (GALVÃO et al., 2004; MORESCHI, 2011).

Tabela 2: Composições do CCA (%).

Componentes	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Cromo como CrO_3	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênio como As_2O_5	16,4	45,1	34,0

Fonte: Moreschi (2011).

O cobre tem ação fungicida, o arsênio tem ação inseticida e o cromo age como fixador desses elementos na parede celular da madeira (EVANGELISTA, 2011; GALVÃO et al., 2004).

De acordo com Jesus (1987) a madeira após o tratamento com CCA adquire coloração esverdeada, entretanto pode receber acabamento superficial como tintas e vernizes.

Do ponto de vista comercial, a associação de sais presentes no CCA é excelente alternativa para aumentar a durabilidade da madeira. No que diz respeito ao meio ambiente e à saúde pública seu uso é polêmico, devido ao alto índice de toxicidade apresentada, principalmente pelos componentes arsênio e cromo. Como é possível a lixiviação e a volatilização dos componentes do CCA ao longo do tempo de utilização da madeira, os riscos de contaminação do ser humano e do meio ambiente provocaram a restrição do seu uso em vários países (FERRARINI et al., 2012; MORESCHI et al., 2002).

No Brasil não há registro de restrição e/ ou proibição do uso do CCA, no entanto, os resíduos originados no processo de preservação da madeira são classificados como perigosos por suas propriedades tóxicas. A ABNT NBR 10004 (2004) classifica os resíduos com compostos de arsênio e cromo como tóxicos (APPEL et al., 2007).

2.2.2 Borato de cobre cromatado (CCB)

Preservativo hidrossolúvel à base de cobre, cromo e boro. Surgiu como alternativa ao CCA, devido à toxidade apresentada pelo composto arsênio, o qual foi substituído pelo elemento boro (MORESCHI, 2011).

De acordo com a ABNT NBR 9480 (1986), os ingredientes ativos do CCB devem ter a seguinte composição (Tabela 3):

Tabela 3: Composições do preservante CCB.

Compostos	Composição (%)
CuO	26,0
B	10,5
CrO ₃	63,5

Fonte: ABNT (1986).

Além de menos tóxico, o ácido bórico migra mais profundamente na madeira após o tratamento e permite a preservação de madeiras menos permeáveis (FREITAS, 2002; LEBOW, 2007).

O CCB, quando comparado com o CCA, apresenta menor resistência à lixiviação, devido a maior solubilidade do boro, portanto, há uma perda da eficiência de proteção da madeira contra insetos, especialmente para madeiras com longos períodos de utilização (FREITAS, 2002; MORESCHI, 2011).

Uma nova maneira de formular o CCB com a existência do oxigênio como ânion comum aos três componentes (o elemento boro entra na composição do produto como B₂O₃) confere ao preservante maior resistência à lixiviação até que as reações de fixação nos constituintes de madeira sejam completadas. Esses preservativos são balanceados para que os elementos responsáveis pela sua ação fungicida (cobre) e inseticida (boro) se fixem nas fibras da madeira, resistindo ao processo de lixiviação (LEPAGE, 2010).

Apesar de o CCB constituir-se como alternativa em relação ao CCA, devido a menores impactos ambientais (substituição do arsênio pelo boro), a eliminação inadequada pode também caracteriza-lo como poluidor (BERTOLINI, 2011).

2.3 Produtos derivados da madeira

Os painéis à base de madeira são produtos fabricados com lâminas ou partículas em diferentes estágios de desagregação, aglutinadas pela ação de resina, pressão e temperatura. Sua principal vantagem é a aplicação como substituto da madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis, portas, pisos e rodapés (BIAZUS et al., 2010).

Integram os produtos derivados da madeira os laminados (Compensado e LVL (Laminated Veneer Lumber)), as chapas de partículas, OSB (Oriented Strand Board) e MDP (Medium Density Particleboard), as chapas de fibras, MDF (Medium Density Fiberboard), a

MLC (Madeira Laminada Colada) e o OSL (Oriented Strand Lumber) (NASCIMENTO e MORALES, 2008).

O Brasil está entre os países mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração (ABIPA- Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira, 2011). De acordo com a ABRAF (2012), no período de 2000 a 2011, a produção anual de painéis de madeira industrializada cresceu 3,8 milhões de toneladas, um crescimento médio de 8,3% ao ano, enquanto que o consumo anual de painéis de madeira cresceu 3,9 milhões de toneladas, com um incremento médio de 8,7% ao ano.

2.3.1 OSB - Conceitos, características produtivas e utilizações dos painéis

Segundo a norma europeia EN 300 (2006), o OSB é um painel de múltiplas camadas formadas com partículas de madeira do tipo “strand”, unidas através de um aglutinante (adesivo). As partículas das camadas externas estão alinhadas e dispostas no sentido paralelo ao comprimento ou à largura do painel, enquanto que as partículas das camadas internas podem ser orientadas aleatoriamente ou alinhadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas das camadas externas. A Figura 2 mostra os dois tipos de orientação das partículas internas dos painéis OSB.

Figura 2: Formação dos painéis OSB. Painel com partículas internas com distribuição aleatória (a), painel com partículas internas dispostas de forma orientada (b). Fonte: Structural Board Association - SBA (2005).

As partículas do tipo “strand” são produzidas com dimensões aproximadas de 25 mm de largura, 90 a 150 mm de comprimento e 0,50 a 0,75 mm de espessura. Sua geometria, orientação e formação em camadas (geralmente três: face/miolo/face) conferem ao OSB

maior resistência na flexão estática e melhor estabilidade dimensional, quando comparadas, por exemplo, com painéis waferboards (CLOUTIER, 1998; IWAKIRI, 2005).

A produção de painéis OSB no Brasil é recente. A primeira fábrica, Masisa do Brasil, iniciou sua produção em 2002. Atualmente sua planta produtiva pertence à empresa Louisiana - Pacific Corporation, com capacidade produtiva de aproximadamente 350 mil/m³/ano (LP BRASIL, 2012).

A principal aplicação do OSB é na indústria de construção civil, pois suas características físicas e mecânicas permitem seu uso para fins estruturais. Podem ser empregados em pisos, forros, tetos, paredes, vigas, fôrmas de concreto, batentes de portas, etc (PIVA, 2006; TOMASELLI, 1998). Piva (2006) ainda destaca a utilização do OSB como barras de camas, tampos de mesa, assentos de cadeiras, estruturas de estofados e painéis decorativos, além de displays, gabinetes para máquina de costura, tábuas de passar roupa, parte interna de carrocerias de furgões e embalagens industriais.

Segundo a EN 300 (2006) os painéis OSB podem ser classificados em:

OSB/1: Painéis para uso geral sem capacidade de carga e painéis de componentes interiores utilizados em ambientes secos.

OSB/2: Painéis para fins estruturais para uso em ambientes secos.

OSB/3: Painéis para fins estruturais para uso em ambientes úmidos.

OSB/4: Painéis especiais para fins estruturais utilizados em ambientes úmidos.

A demanda por painéis OSB vem aumentando, visto que sua resistência na flexão estática, em alguns casos, pode ser análoga à dos compensados estruturais, aos quais pode substituir. Enquanto a indústria de compensado vem encontrando cada vez mais dificuldades em obter toras de madeira de alta qualidade com dimensões e diâmetros necessários para extrair as lâminas, a indústria de OSB pode utilizar apenas madeiras de menor qualidade, de crescimento rápido e sem restrições de comprimento e diâmetro (EINSFELD et al., 1998; SILVA, 2007). Além disso, há a possibilidade de se utilizar o rolo resto, resíduo gerado da laminação de toras, como matéria - prima para produção de painéis OSB.

O avanço na produção e aplicação dos painéis OSB se deve principalmente a quatro fatores (REMADE, 2006):

- Melhor aproveitamento das toras de madeira, que otimiza o custo e proporciona um produto ecologicamente mais eficiente;
- Possibilita a utilização de toras de menores diâmetros e de menor valor comercial;
- Às características do produto, tecnicamente similar às do compensado, mas com custo menor, que permitem uma ampla variedade de usos e aplicações.

Hoffmann (2009) avaliou o rendimento da madeira de Paricá na laminação. O autor obteve rendimentos que variaram com as idades (5, 6 e 7 anos) de corte da árvore, sendo o melhor rendimento obtido para a idade de 7 anos, com 55,74%. A média do rendimento encontrado para as três idades foi de 50,31%, evidenciando que a espécie pode obter rendimentos de laminação muito semelhantes e até superiores, dependendo da idade, de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Melo (2012) também encontrou alto rendimento de laminação para o Paricá (59,92%) com idades variando entre 5 e 7 anos, características essas positivas para a fabricação dos painéis OSB.

Bortoletto Jr e Garcia (2004) relatam que a substituição direta do compensado por OSB nem sempre é recomendável, pois, embora esses painéis possam apresentar propriedades físicas similares, eles exibem algumas propriedades mecânicas diferentes, indicando que a substituição entre esses dois tipos de material deve ser precedida de estudos aprofundados que levem em consideração a magnitude das propriedades requeridas pelos produtos em uso.

2.3.2 OSB - Processo de fabricação

De acordo com Iwakiri (1999) o processo de produção de painéis OSB passa pelas seguintes etapas: conversão e condicionamento das toras; descascamento de toras; geração de partículas “strands”; armazenamento das partículas úmidas; secagem das partículas; classificação das partículas; aplicação do adesivo e de aditivos químicos; formação do colchão; pré-prensagem e prensagem a quente; acabamento e acondicionamento. A Figura 3 ilustra esses processos.

Figura 3: Processo de produção de OSB. Fonte: Mendes (2001).

Primeiramente as toras são acondicionadas em tanques com água quente por um período de 3 a 15 horas, com temperatura entre 30 e 70° C. Este procedimento visa amolecer a madeira e, conseqüentemente, reduzir o consumo de energia e geração de finos no processo de operação dos picadores. As toras são descascadas, em descascadores principalmente do tipo tambor e anel, e seguem para o processo de geração das partículas, no qual os equipamentos mais utilizados são os picadores de disco ou cilindro. As partículas são secas em tambores giratórios até atingirem teor de umidade final adequado com o tipo de resina empregada na fabricação dos painéis. Antes de serem coladas, as partículas passam por uma classificação realizada por peneiras, para remoção de pequenos materiais. No processo de colagem, as partículas são borrifadas com resina e posteriormente seguem para encoladeira para a mistura do adesivo. Finalmente, as partículas são transportadas para a formação do colchão, com lascas cruzadas perpendicularmente (ALBUQUERQUE e MENDES, 2000; IWAKIRI, 2005; NASCIMENTO e MORALES, 2008).

Depois de formado o colchão, este entra na prensa contínua de alta temperatura e pressão, onde será formado o painel. A prensagem consolida o colchão de partículas em um painel de densidade e espessura desejada, cura a resina para unir as partículas e, por último, estabiliza o painel, através do calor, para manter a espessura e a densidade alcançada. Na saída da prensa os painéis são cortados nas dimensões comerciais (IWAKIRI, 2005; LP BRASIL, 2012).

2.3.3 OSB - Fatores que afetam as propriedades dos painéis

A produção de painéis particulados à base de madeira encontra-se em contínua evolução tecnológica, portanto são de grande importância os estudos dos fatores que possam afetar sua produção e sua qualidade final (SURDI, 2012).

2.3.3.1 Espécie

Diversas espécies e misturas destas já foram utilizadas em pesquisa para análise da viabilidade de produção de painéis OSB.

De acordo com Mendes (2001), as características botânicas da espécie é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis, pois interage com todas as outras variáveis no processo e determina a massa específica do painel.

Okino et al. (2009) analisaram o efeito das espécies *Pinus* (*Pinus taeda*) e Cipreste (*Cupressus* spp.) e da mistura equitativa de dois clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*), sobre as propriedades das chapas OSB. Constataram que a espécie de madeira não apresentou diferença significativa, em nível de 5% de significância, para propriedades como MOR e o MOE na direção perpendicular, para o MOR na direção paralela, para a dureza Janka e para o inchamento em espessura. Já nas propriedades de MOE na direção paralela, ligação interna, arranque de parafuso e absorção de água, a espécie teve influência significativa.

Surdi (2012) utilizando diferentes proporções de partículas de madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* com partículas de madeira de *Pinus taeda* na fabricação de painéis OSB, concluiu que o aumento da proporção de partículas da madeira do híbrido resultou em tendência na redução dos valores da massa específica e em propriedades mecânicas como MOR e MOE paralelo e perpendicular do painéis. Porém há uma tendência também no aumento de absorção de água após 24 horas de imersão.

Iwakiri et al. (2008) avaliaram as propriedades mecânicas de painéis OSB fabricados com madeira *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* e encontraram propriedades que atenderam os requisitos mínimos normativos, apenas para o painel fabricado com *Eucalyptus grandis*. Com a inclusão de partículas de *Pinus taeda* em proporção de 50% na camada

interna, os autores verificaram uma tendência de aumento nos valores de MOE e MOR em relação aos painéis OSB produzidos apenas com Eucalipto.

Vidaurre et al. (2004) encontraram grande viabilidade na produção de OSB com espécies da Mata Atlântica como Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake) e Mulungu (*Erythrina verna* Vell.) e suas combinações. A maioria dos resultados encontrados pelos autores para flexão estática e ligação interna foi superior aos requisitos da norma canadense CSA O437-0 (1993).

2.3.3.2 Densidade da madeira

A densidade da madeira é a variável mais importante relacionada com a espécie, além de ser um importante fator na determinação de quais espécies podem ser empregadas na fabricação dos painéis (MALONEY, 1977; MOSLEMI, 1974).

Cloutier (1998) relata que de modo geral as densidades ideais para a produção de painéis OSB variam de 0,25 a 0,45 g/cm³. Espécies de densidades entre 0,45 e 0,55 g/cm³ também podem ser utilizadas, entretanto são menos desejadas e mais frequentemente empregadas em mistura com madeira de densidade mais baixa.

A preferência de se utilizar espécies de madeira de baixa densidade se deve à possibilidade de produção de painéis de média densidade, com a garantia de uma área de contato satisfatória entre as partículas. Nestas condições, o colchão determina um produto mais uniforme, com maior capacidade de transmitir esforços entre as partículas e resultando em propriedades mais elevadas na flexão estática e ligação interna (MALONEY, 1977; SALDANHA, 2004).

No Brasil, as madeiras do gênero *Pinus* são as mais utilizadas para produção de painéis de partículas, devido à sua densidade situar-se na faixa média de 0,35 a 0,45 g/cm³ (SALDANHA, 2004).

Beck et al. (2010) avaliaram as propriedades de painéis OSB fabricados com espécies de *Populus tremuloides* e *Betula papyrifera* com densidade média de 0,45 g/cm³ e 0,62 g/cm³, respectivamente. Os autores encontraram diferença estatisticamente significativa apenas para o MOE no interior do painel, sendo que os painéis fabricados com *Populus tremuloides* apresentaram melhor desempenho.

2.3.3.3 Teor de umidade da madeira e das partículas

Madeira com alto teor de umidade, apesar de resistir menos ao corte, tende a apresentar superfícies felpudas (prejudiciais à adesão) e, com isto, crescem os custos de secagem. A condição úmida ideal das toras deve ser pouco acima do ponto de saturação das fibras (CLOUTIER, 1998; MATOS, 1988; MENDES, 2001).

Altos teores de umidade também podem dificultar a picagem ou moagem do material, por obstruir o equipamento (MALONEY, 1977).

Todavia, a umidade na madeira pode também apresentar algumas vantagens. Segundo Maloney (1977), teores mais elevados de umidade levam a um melhor rendimento em partículas, pois a quantidade de finos produzidos é bastante reduzida.

O teor de umidade nas partículas exerce grande influência sobre a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a consolidação do colchão de partículas até a espessura final do painel (IWAKIRI, 2005).

Partículas com alto teor de umidade, sob pressão, requerem um tempo menor para atingir a espessura final desejada. Isso ocorre devido à plasticização, decorrente da combinação entre a umidade e a temperatura, a qual proporciona menor resistência à compactação. A umidade também facilita a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel, devido ao deslocamento mais rápido de vapor para as camadas internas, facilitando o aquecimento e a cura da resina. Porém, altos teores de umidade requerem maiores tempos de prensagem e resultam em colagem de menor qualidade (MATOS, 1988).

2.3.3.4 Densidade dos painéis

A densidade é um dos parâmetros mais importantes na produção de painéis reconstituídos de madeira, pois exerce grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (SALDANHA e IWAKIRI, 2009).

De acordo com Maloney (1977), painéis com maior densidade apresentam maior resistência mecânica, entretanto propriedades como absorção de água e inchamento em espessura são prejudicadas, devido à maior quantidade de partículas no painel.

No Brasil os painéis OSB são produzidos com densidades entre 0,60 e 0,65 g/cm³, variando de acordo com as dimensões dos painéis (LP BRASIL, 2012).

Zhow (1990) utilizando híbrido de *Populus* (*Populus* x *euramericana* cv. San Martineem) na produção de painéis OSB, verificou que as propriedades de MOR, MOE, ligação interna, resistência ao arrancamento de pregos e parafusos tiveram uma melhora significativa com o aumento da densidade do painel. As propriedades de absorção de água e inchamento em espessura também sofreram aumento com a variação da densidade.

Saldanha e Iwakiri (2009) avaliaram a influência da densidade nas propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB fabricados com *Pinus taeda*. Os autores constataram que, com o aumento da densidade dos painéis de 0,65 para 0,90 g/cm³, uma melhora significativa ocorre para propriedades de MOE e MOR no sentido paralelo, ligação interna e absorção de água. Entretanto, houve um aumento na propriedade inchamento em espessura após 24 horas de imersão.

2.3.3.5 Razão de compactação

Segundo Moslemi (1974), razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira.

Painéis de mesma densidade nominal produzidos com madeira de baixa densidade proporcionam maiores razão de compactação e, conseqüentemente, maior superfície de contato entre as partículas se comparado a uma madeira de maior densidade. Portanto, há uma capacidade mais elevada de transmitir esforços entre as partículas, resultando em propriedades de flexão estática e ligação interna mais elevadas quando comparadas com chapas confeccionadas com madeira de alta densidade (HSU, 1997).

Para que painéis fabricados com espécies de madeira de alta densidade possuam propriedades aceitáveis para a maioria das utilizações, algumas variáveis do processo devem ser alteradas, como por exemplo, o teor de resina, que deve ser aumentado (MENDES, 2001).

De acordo com Iwakiri (2005), para que ocorra a densificação necessária para a formação do painel, a razão de compactação deve ser de no mínimo 1,3.

2.3.3.6 Composição dos painéis

Vários estudos mostram que as propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB também são afetadas pela proporção de partículas nas camadas que o compõem.

Mendes et al. (2003), avaliando a influência da composição dos painéis em suas propriedades, verificaram que a diminuição da relação face/miolo/face de 1:1:1 para 1:3:1 resultou em aumento do MOE e MOR na direção perpendicular, redução dos valores das propriedades de flexão estática no sentido paralelo, e de compressão (sentido perpendicular e paralelo). Com relação às propriedades físicas, a diminuição da relação face/miolo também reduziu a absorção e inchamento tanto para 2 como para 24 horas de imersão em água.

Zhang et al. (1998), com o aumento da relação face/miolo, encontraram valores específicos de MOE e MOR superiores aos de compensados comerciais. Os valores obtidos para as propriedades de ligação interna e dureza não variaram estatisticamente com a variação das proporções das camadas.

O trabalho realizado por Suzuki e Takeda (2000) mostra que as propriedades de flexão estática no sentido paralelo e perpendicular podem ser igualadas com 25% de camada externa (25:50:25).

Iwakiri et al. (2003) encontraram para painéis fabricados com composição face/miolo/face de 20:60:20, melhor balanço de resistência na flexão estática no sentido paralelo e perpendicular, quando comparadas com chapas com composição de 30:40:30.

Cloutier (1998) relata que a proporção face/miolo, utilizada por empresas canadenses, encontra-se entre 40:60 e 60:40. Esses valores são baseados na porcentagem de peso seco das partículas encoladas.

2.3.3.7 Geometria e orientação das partículas

Os elementos dimensionais das partículas de madeira, considerados como variáveis do processo são: espessura, largura e comprimento, e são responsáveis pelo controle do grau de orientação na formação dos painéis OSB (MENDES, 2001; SALDANHA, 2004).

A geometria das partículas tem efeito importante sobre todas as propriedades dos painéis e pode interagir com as variáveis e equipamentos do processo de fabricação. Para boa orientação e formação do painel, a relação entre o comprimento e a largura das partículas “strand”, deve ser de no mínimo três vezes (MALONEY, 1977).

A relação entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada razão de esbeltez, influencia significativamente as propriedades mecânicas e dimensionais dos painéis, assim como seu acabamento e usinabilidade. A razão de esbeltez ideal para painéis estruturais de três camadas pode variar na faixa de 120 a 200, para partículas da camada externa, e de 60 a 120 para partículas da camada interna do painel (IWAKIRI, 2005).

Iwakiri et al. (2009), avaliando três espessuras diferentes (0,4, 0,7 e 1 mm) de partículas sobre as propriedades físicas e mecânicas dos OSB, relatam que painéis fabricados com partículas com espessura de 1 mm apresentaram menores valores de MOE e MOR, tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular, em comparação aos painéis produzidos com partículas de espessuras menores. Por outro lado, o aumento na espessura das partículas resultou em valores significativamente superiores de ligação interna dos painéis. Os painéis fabricados com partículas com espessura de 0,7 mm apresentaram redução significativa na absorção de água tanto em 2 como em 24 horas de imersão. Os resultados para inchamento em espessura mostram que os painéis fabricados com partículas com 1 mm de espessura apresentaram maiores resultados para o período de 2 horas. Já para o período de 24 horas a diferença das espessuras das partículas não foi significativa.

Em relação ao comprimento da partícula, Suzuki e Takeda (2000) afirmam que partículas mais compridas podem aumentar o MOR, e que este aumento pode ser atribuído às propriedades longitudinais da madeira, que contribuem efetivamente nas propriedades das chapas. Com relação à orientação das partículas, os autores relatam que não encontraram diferença estatística nas propriedades de flexão estática na direção paralela entre painéis com as três camadas orientadas (superfícies e centro) e painéis com partículas orientadas apenas nas camadas superficiais.

2.3.3.8 Tipos e teores de adesivo

A escolha de um determinado tipo de resina na produção de painéis de partículas de madeira está condicionada ao uso do produto e aos custos. O adesivo é o componente de

maior custo de produção, portanto, a quantidade utilizada deve ser otimizada, em função das propriedades requeridas para a finalidade a que se destina o painel (MENDES et al., 2010; SURDI, 2012).

De acordo com a Wood Panel Industries Federation (WPIF), os três principais adesivos utilizados na produção de painéis OSB são: fenol formaldeído (FF), isocianato (MDI) e melamina uréia formaldeído (MUF).

A maioria das empresas produtoras de OSB da América do Norte utiliza o FF. O MDI é utilizado em painéis que exigem melhor qualidade, como almas de viga I e pisos, ou nas camadas internas dos painéis, pois seu custo é mais elevado (SPELTER et al., 2006).

No Brasil a empresa produtora de OSB, LP Brasil, utiliza nas duas camadas externas e longitudinais o adesivo FF e na camada interna e transversal, o MDI (LP BRASIL, 2012).

Iwakiri (2005) afirma que a quantidade de adesivo a ser utilizada em um painel é determinada em função da quantidade do conteúdo de sólido resinoso e com base no peso seco das partículas de madeira, podendo variar na faixa de 5 a 10%.

Gouveia et al. (2003) avaliaram a influencia de três teores de adesivo fenol formaldeído (4, 6 e 8%) nas propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB, os quais foram fabricados com dois tipos de madeira, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*. A diminuição do teor de adesivo ocasionou redução em todas as propriedades dos painéis. De acordo com os autores, a adesão entre as camadas foi favorecida com os aumentos na quantidade de adesivo e, conseqüentemente, por sua disponibilidade por área superficial de partículas, proporcionando dessa maneira, melhoria da ligação entre elas.

Iwakiri et al. (2003) relatam que, para OSB produzido com *Eucalyptus grandis* e aderidas com FF, o aumento do teor de adesivo de 4,5 para 6 % sobre as partículas descarta a necessidade de adição de parafina para melhoria da estabilidade dimensional das chapas.

Chipanski (2006) classifica os adesivos à base de formaldeído como agentes de insalubridade máxima, devido à emissão do formol.

A resina poliuretana à base de óleo de mamona se apresenta como alternativa à utilização de adesivo FF, pois possui característica de baixa agressividade ao meio ambiente e ao ser humano. Desenvolvida no Instituto de Química, da Universidade de São Paulo, em São Carlos, a resina poliuretana é obtida da mistura do poliol, componente derivado da planta *Ricinus communis*, e do pré-polímero, componente proveniente do petróleo. A variação na porcentagem de poliol e do pré-polímero define a maior ou menor dureza do adesivo, bem como o emprego de catalisador adequado a fim de aumentar a velocidade de reação (DIAS, 2005).

A cura da resina pode ser processada em temperatura ambiente, podendo ser acelerada em temperatura acima de 60° C. Estima-se que quando colocada em larga escala no mercado, a resina poliuretana à base de óleo de mamona poderá atingir preços bem satisfatórios (REMADE, 2003), aspecto confirmado por Souza (2012).

Nascimento e Morales (2008) fabricaram, em escala de laboratório, e caracterizaram painéis OSB com madeira proveniente de espécies da caatinga do nordeste brasileiro como Marmeleiro (*Croton* sp), Catanduva (*Acacia monoliformis*) e Jurema Branca (*Pithecoelobium dumosum*) e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Como resultado, as autoras destacam o excelente desempenho do adesivo utilizado, fato este, demonstrado pelos resultados numéricos obtidos para as propriedades de MOR e MOE, no ensaio de flexão estática dos corpos de prova retirados dos painéis produzidos.

Souza (2012) analisou as propriedades de painéis OSB fabricados com madeira de *Pinus* sp., aderidos com 12% de resina poliuretana à base de óleo de mamona e reforçados com telas metálicas. Os resultados obtidos pelo autor mostram que a utilização de telas metálicas foi desnecessária, devido à irrelevante diferença de MOE e MOR entre os painéis com e sem a tela. A combinação entre o adesivo e a madeira já foi suficiente para garantir aos painéis propriedade de flexão estática satisfatória em relação à norma EN 300 (2006).

2.3.3.9 Ciclo de prensagem

Os parâmetros do ciclo de prensagem são: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem (SALDANHA, 2004).

Segundo Molesmi (1974), a prensagem a quente possui principalmente duas funções: a polimerização do adesivo e a densificação do colchão até a espessura final desejada.

O nível de pressão aplicado influencia no tempo de fechamento da prensa. Quanto maior a pressão específica aplicada, menor será o tempo de fechamento da prensa, resultando em chapas com maior densificação das camadas superficiais (maior gradiente vertical de densidade). Em geral, as características dessas chapas são maiores resistências na flexão estática e menores para ligação interna (SALDANHA, 2004).

A pressão a ser aplicada pode variar na faixa de 12 a 40 kgf/cm², em função do grau de densificação do material (IWAKIRI, 2005). Souza (2012) e Surdi (2012) utilizando espécies

de *Pinus* sp. e híbridos de *Pinus*, respectivamente, e pressão de 35 kgf/cm², obtiveram painéis OSB de boa qualidade.

A temperatura de prensagem é definida em função da temperatura necessária para a cura da resina. A temperatura de prensagem utilizada em painéis fabricados com uréia formaldeído é em torno de 180 °C e de 200 a 220 °C para FF (IWAKIRI, 2005). Para Cloutier (1998), altas temperaturas possibilitam maior transferência de calor para as camadas internas da chapa, reduzindo substancialmente o tempo de prensagem e aumentando a produtividade.

Paes et al. (2011) avaliaram diferentes combinações de pressão e temperatura durante o processo de prensagem de chapas de partículas fabricadas com *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os autores avaliaram quatro combinações: pressão de 2 e 3 MPa com temperatura de 90 °C, e pressão de 3,5 MPa com temperaturas de 50 e 60 °C. Concluíram que a temperatura foi preponderante na qualidade das chapas produzidas, pois as chapas prensadas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90 °C e aquelas com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60 °C apresentaram os melhores resultados quando comparadas com as chapas produzidas com a combinação de 3,5 MPa e 50 °C.

Com relação ao tempo mínimo de prensagem, Iwakiri (1989) relata que depende principalmente da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, assim como da distribuição da umidade no colchão de partículas. O tempo de prensagem deverá permitir que o centro do painel atinja a temperatura suficiente para a cura da resina e a liberação da umidade em forma de vapor pelas bordas do painel.

Bertolini (2011) variou o tempo de prensagem para painéis de partículas fabricadas com resíduos de madeira de *Pinus* sp. tratados com CCB e colados com resina à base de mamona. Os resultados obtidos mostram que o fator tempo de prensagem não influenciou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

2.4 Painéis com tratamento preservante

Os painéis OSB, assim como muitos compósitos à base de madeira, não são naturalmente resistentes ao ataque de organismos deterioradores, pois são constituídos essencialmente de madeira, muitas vezes de baixa durabilidade natural. Os painéis destinados às áreas externas, expostos à umidade e ao grande potencial de ataque de agentes biológicos, devem receber tratamento preservativo para prolongar sua vida útil (ARNOULD, 2010).

De acordo com Goroyias e Hale (2004), as combinações do preservativo com o tipo de adesivo e com o seu estágio de aplicação desempenham um papel importante para o sucesso da produção de um painel tratado. O estudo realizado por esses autores, no qual foi avaliada a influência do estágio do tratamento das partículas sobre as propriedades do OSB, mostra que os painéis, cujas partículas tiveram tratamento à vácuo ou por difusão, apresentam melhores propriedades físicas e mecânicas.

Calil Neto (2011) avaliou as combinações entre espécie de madeira, adesivo e tratamento preservativo para fabricação de cruzetas de MLC. Três espécies de madeira foram utilizadas neste estudo, *Pinus* sp., *Lyptus* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e Teca (*Tectona grandis*) e dois adesivos, Cascophen RS-216 M e Purbond HB S309. As cruzetas de MLC depois de fabricadas foram tratadas com preservantes a base de CCA, CCB e CCBS. Os resultados mostram que das combinações avaliadas, a que apresentou melhor resultado para todos os adesivos e tratamentos analisados foi a madeira de *Pinus* sp., podendo ser utilizada em ambientes externos. O autor ressalta a importância de um rigoroso controle de qualidade no processamento e na manipulação do adesivo e da espécie de madeira, pois esses materiais são muito sensíveis as variações de umidade, temperatura, tempo e pressão.

Vick et al. (1996) avaliaram as propriedades mecânicas de painéis flakeboards fabricados com partículas de *Pinus* spp., tratados com CCA e aderidos com resina fenol-formaldeído. Os resultados mostram que os painéis fabricados com partículas de madeira tratada apresentaram resistência à adesão interna inferior em 40%, MOR e MOE inferiores em 29 e 16%, respectivamente, em relação aos painéis de madeira não tratada.

Zhou (2004) avaliou as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB produzidos com partículas tratadas, por difusão, com borato de cálcio e com borato de zinco, antes da fabricação dos painéis. Os resultados mostram que os painéis tratados com borato de cálcio e borato de zinco apresentaram, respectivamente, uma diminuição de aproximadamente 25% e 35% nas propriedades físicas e mecânicas, quando comparados com painéis sem tratamento.

Bertolini (2011), ao analisar as propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas homogêneas fabricadas com resíduos de *Pinus* sp., tratados com CCB e aderidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona, encontrou resultados excelentes que apontaram em alguns casos superioridade em 50% ao estipulado pela norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006) e superiores aos requisitos das normas internacionais ANSI A208.1 (1999) e CS 236-66 (1968).

2.5 Considerações a respeito da Revisão Bibliográfica

Por meio do exposto na Revisão Bibliográfica, observaram-se as grandes perspectivas de crescimento do plantio e utilização da espécie de Paricá, as quais são principalmente destinadas à fabricação de lâminas para compensado. Entretanto, esses painéis experimentam redução de oferta, devido sua substituição por OSB.

Também foi ressaltada, na seção anterior, a necessidade do tratamento preservante dos painéis OSB, para prolongar sua vida útil quando expostos a agentes deterioradores e à umidade.

Neste sentido, o presente estudo possui como objetivo a utilização da espécie de madeira Paricá tratada com preservantes CCA e CCB e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona na fabricação de painéis OSB e, além disso, busca atingir propriedades superiores aos valores mínimos exigidos por norma para aplicações estruturais.

É importante destacar a originalidade do tema abordado, produção de painéis OSB utilizando partículas de madeira de *Schizolobium amazonicum* “in natura” e tratadas com preservante CCA e CCB, e a ausência de estudos relacionados com o assunto em questão. Como os insumos utilizados na confecção dos painéis, principalmente o adesivo poliuretano a base de óleo de mamona já tiveram potencial técnico demonstrado, é possível admitir seu bom comportamento também nesta aplicação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão expostos os materiais utilizados e os métodos adotados na fabricação e caracterização dos painéis OSB.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

3.1 Materiais

A espécie de madeira utilizada neste estudo foi a *Schizolobium amazonicum*, procedente de um plantio com aproximadamente 7 anos de idade, localizado no município de Paragominas, Estado do Pará.

Foram utilizadas amostras de madeiras sem tratamento e tratadas em autoclave com preservativos CCA sais e CCB óxidos, com retenção de 6,5 e 9,6 kg de ingredientes ativos/m³, respectivamente, de acordo com as informações fornecidas pelas empresas que realizaram os tratamentos preservantes: Casabella Casas de Madeira Ltda, situada na cidade de São Carlos, SP; e Prema S.A, localizada na cidade de Rio Claro, SP.

Para estabelecer a adesão entre as partículas foi utilizada a resina poliuretana derivada do óleo de mamona, fornecida pela Indústria Plural Química Ltda. Essa resina é do tipo bi-componente, com teor de sólidos de 100%, composta pelo poliol com densidade de 1,10 g/cm³, componente derivado do óleo vegetal, e pelo isocianato polifuncional (pré-polímero) com densidade de 1,24 g/cm³. A utilização da resina, assim como a proporção entre seus componentes, se justifica pelos excelentes resultados obtidos em estudos anteriores realizados com painéis derivados de madeira (BERTOLINI, 2011; NASCIMENTO e MORALES, 2008; SOUZA, 2012; VARANDA, 2012), bem como pelas características de renovabilidade do poliol.

A Figura 4 apresenta as partículas e o adesivo utilizados na produção dos painéis.

Figura 4: Partículas com e sem tratamento (a) e resina poliuretana à base de mamona (b).

3.2 Determinação da densidade aparente da madeira

A determinação da densidade aparente das peças de Paricá, com e sem tratamento preservante, foi realizada de acordo com os procedimentos descritos pela norma ABNT NBR 7190 (1997).

Corpos de prova com seção transversal retangular de 20 mm x 30 mm e comprimento, ao longo das fibras, de 50 mm, foram pesados, em uma balança com sensibilidade de 0,01 g, para determinação da massa seca da madeira. Em seguida seu volume foi determinado a partir da medição das suas dimensões, realizada com o auxílio de um paquímetro com sensibilidade de 0,01 mm. A densidade aparente foi determinada por intermédio da Equação 1:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (1)$$

Onde:

$m_{12\%}$ = Massa a 12% de umidade, em gramas;

$V_{12\%}$ = Volume a 12% de umidade, em cm^3 .

3.3 Produção e secagem das partículas

As dimensões das partículas, assim como sua produção, foram baseadas no estudo de Souza (2012).

Primeiramente as vigas de madeira foram cortadas em peças de 90 mm de largura e 45 mm de espessura, dimensões que definiram o comprimento e a largura das partículas, respectivamente. As peças foram umedecidas antes da produção das partículas, com o objetivo de diminuir a quantidade de finos originados neste processo.

As partículas foram geradas em um picador de disco, cujas facas foram ajustadas para a espessura nominal de aproximadamente 0,7 mm.

Depois de obtidas, as partículas foram secas em estufa, com circulação forçada de ar, em temperatura de 30 °C. A secagem foi finalizada quando as partículas atingiram teor de umidade entre 10 e 12%.

Os equipamentos utilizados nesses processos são mostrados na Figura 5.

Figura 5: Picador de disco (a) e estufa com circulação de ar forçada (b).

3.4 Estudo preliminar

Foi realizado um teste preliminar, com o objetivo de verificar a viabilidade da espécie *Schizolobium amazonicum* quando aplicada em painéis OSB. Nesta etapa, foi avaliada a influência do teor de adesivo (8 e 10%) no comportamento físico e mecânico dos painéis. Os demais parâmetros de processamento (pressão, tempo e temperatura de prensagem, proporção de polioli e pré-polímero, composição do painel e orientação das partículas) foram fixados, conforme ilustra a Tabela 4, com base nos estudos realizados por Bertolini (2011), Dias (2005), Nascimento e Morales (2008), Souza (2012) e Varanda (2012).

Tabela 4: Parâmetros adotados no estudo preliminar.

Painel	Parâmetros fixados				
	Teor de adesivo (%)	Tempo de prensagem (min)	Temperatura de prensagem (°C)	Pressão (MPa)	Polioli e pré-polímero
S8	8	10	100	4	1:1
S10	10				

Os painéis produzidos nesta primeira etapa foram submetidos a ensaios de flexão estática (para determinação do MOE e MOR, nos sentido paralelo à orientação das partículas), absorção e inchamento em espessura após períodos de 2 e 24 horas de imersão em água e densidade. Os procedimentos de ensaio foram realizados de acordo com o documento normativo EN 300 (2006).

3.5 Produção dos painéis

Diante dos resultados obtidos no estudo preliminar, foi estabelecido o delineamento experimental empregado na produção dos painéis.

Foram adotados os parâmetros de prensagem (tempo, pressão e temperatura) e a composição do adesivo (polioli e pré - polímero), apresentados na Tabela 4. Entretanto, foi acrescentado o parâmetro tipo de partículas, constituído por partículas de madeira tratadas com preservante CCA e CCB, e, além disso, foi acrescentada mais uma porcentagem no

parâmetro teor de adesivo. A Tabela 5 mostra as condições experimentais desta fase do estudo.

Os painéis foram produzidos com dimensões e densidade nominal de, respectivamente, 400 x 400 x 10 mm e 0,70 g/cm³. Assim como Souza (2012), para cada uma das condições experimentais resultantes deste estudo, foram produzidas 4 chapas, totalizando 36 painéis OSB.

Tabela 5: Condições experimentais.

Condição experimental	Tipo de partículas	Teor de adesivo (%)
C1	Sem tratamento	8
C2	CCA	8
C3	CCB	8
C4	Sem tratamento	10
C5	CCA	10
C6	CCB	10
C7	Sem tratamento	12
C8	CCA	12
C9	CCB	12

3.5.1 Aplicação da resina

As partículas e o adesivo foram pesados em quantidades específicas, de acordo com cada condição experimental. No interior de uma encoladeira adaptada, tipo tambor giratório, o adesivo foi pulverizado com o auxílio de um compressor e duas pistolas de ar comprimido (Figura 6).

O tempo utilizado nesta fase da produção foi de cinco minutos, para adequada homogeneização.

Figura 6: Encoladeira adaptada.

3.5.2 Orientação das partículas e formação do colchão

Todos os painéis foram produzidos com três camadas. As partículas das camadas externas foram dispostas de forma orientada, enquanto que as partículas da camada interna foram dispostas de forma aleatória. A composição do painel em relação à face/miolo/face foi 20:60:20, com base na massa de partículas encoladas. Tal parâmetro foi baseado nos estudos realizados por Cloutier (1998) e por Souza (2012). A Figura 7 mostra os procedimentos realizados nestas etapas.

Para orientação das partículas das camadas externas foi fundamental a utilização de um separador, equipamento este composto por oito laminas, com função de separar e direcionar as partículas (Figuras 7a e 7b).

Figura 7: Distribuição e orientação das partículas das camadas externas (a) e (b), camada externa com partículas orientadas (c) e camada interna com partículas desorientadas (d).

3.5.3 Pré-prensagem e prensagem

Após sua formação, o colchão foi submetido a uma pré-prensagem, realizada em uma prensa hidráulica, pois de acordo com Souza (2012) neste processo ocorre melhor conformação e evita a perda de partículas. A pressão aplicada nesta etapa foi 0,01 MPa. A Figura 8 mostra esta etapa do processo.

Figura 8: Pré-prensagem do colchão (a) e colchão após a pré-prensagem (b).

Em seguida, o colchão de partículas pré-conformado foi encaminhado à prensa. A prensagem foi realizada em prensa semi-automática da marca Marconi, modelo MA 098/50, com capacidade de 800 kN e temperatura máxima de 200°C.

Como mostrado na Tabela 4, as condições de prensagem utilizadas neste estudo foram: temperatura de 100° C, tempo de 10 minutos e pressão de 4 MPa.

A Figura 9 ilustra as etapas de prensagem, assim como os painéis produzidos.

Figura 9: Fechamento da prensa (a), abertura da prensa (b), painel após a prensagem (c) e painéis OSB produzidos neste estudo (d).

Para estabilização e cura completa do adesivo, os painéis foram acondicionados à temperatura ambiente por 48 horas.

3.6 Obtenção dos corpos de prova

Após o acondicionamento dos painéis, estes foram esquadrejados em serra circular, para retirada de 25 mm de cada uma de suas extremidades, a fim de se eliminar os efeitos de borda, resultando nas dimensões finais de 350 x 350 mm.

De cada painel, foram retirados primeiramente, os corpos de prova para os ensaios mecânicos de flexão estática, paralela e perpendicular ao sentido de orientação das partículas, e de arrancamento de parafuso de face e de topo. Esses corpos de prova depois de ensaiados deram origem aos corpos de prova de densidade, absorção e inchamento em espessura após imersão em água, e adesão interna. O esquema da retirada dos corpos de prova de cada painel pode ser visualizado na Figura 10.

A Tabela 6 apresenta os ensaios realizados, as normas seguidas e a quantidade de corpos de prova (CP) retirados de cada painel.

Tabela 6: Ensaios realizados, normas utilizadas e quantidade de corpos de prova (CPs) retirados de cada painel.

Ensaio	Sigla adotada	Norma	Quantidade CPs	Nº CP no painel
Flexão estática paralela	(F ₀)	EN 310, 1993	4	3
Flexão estática perpendicular	(F ₉₀)	EN 310, 1993	1	5
Arrancamento de parafuso face	(AP _f)	NBR 14810-3, 2006	1	4
Arrancamento de parafuso topo	(AP _t)	NBR 14810-3, 2006	1	6
Adesão interna	(AI)	EN 319, 1993	5	1
Absorção de água	(AA)	EN 317, 1993	5	2
Inchamento em espessura	(IE)	EN 317, 1993	5	2
Densidade aparente	(ρ _A)	EN 323, 1993	5	2
Teor de umidade	(TU)	EN 322, 1993	5	2

A Figura 10, a seguir, mostra o esquema da retirada dos corpos de prova de cada painel.

Figura 10: Esquema de retirada dos corpos de prova de cada chapa.

3.7 Caracterização físico-mecânicas dos painéis

As normas utilizadas, assim como os ensaios realizados, para caracterização dos painéis OSB estão apresentados na Tabela 6.

3.7.1 Propriedades físicas

As propriedades físicas dos painéis OSB determinadas neste estudo foram: densidade aparente, teor de umidade, absorção e inchamento em espessura após imersão em água para períodos de 2 e 24 horas. Com a realização dos ensaios na sequência descrita, foi possível utilizar o mesmo corpo de prova, com seção de 50 x 50 x 10 mm, para determinação de todas as propriedades físicas.

3.7.1.1 Densidade aparente

Os corpos de prova foram, inicialmente, pesados em uma balança, com sensibilidade de 0,01 g, para obtenção de sua massa inicial. Com o auxílio de um paquímetro, com sensibilidade de 0,01 mm, seus lados foram medidos e seu volume foi determinado. A densidade dos painéis foi calculada como estabelecido na norma europeia EN 323 (1993).

Para o cálculo da densidade aparente é necessário que a umidade do painel esteja em equilíbrio com a do ambiente.

3.7.1.2 Teor de umidade

A massa encontrada para o cálculo da densidade aparente dos painéis foi utilizada, neste ensaio, como sendo a massa inicial. Os corpos de prova foram colocados em estufa com temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, permanecendo na mesma até atingirem massa constante.

Conhecida a massa seca dos corpos de prova, determinou-se a umidade dos painéis, à base seca, através da equação estabelecida na norma EN 323 (1993).

3.7.1.3 Absorção e inchamento em espessura após imersão em água

Para determinação destas propriedades, os corpos de prova foram medidos em relação à espessura, e pesados, antes e após a imersão em água a 20°C , por períodos de 2 e 24 horas.

A absorção e inchamento em espessura foram determinados como descrito na Tabela 6, de acordo com a norma EN 317 (1993). A Figura 11 ilustra os procedimentos de ensaio.

Figura 11: Pesagem do CP para ensaio de absorção de água (a) e medição da espessura do CP para ensaio de inchamento em espessura (b).

3.7.2 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas determinadas neste estudo foram: MOE e MOR para a direção paralela e perpendicular em relação à orientação das partículas, adesão interna e resistência ao arrancamento de parafuso de face e topo. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios da AMSLER (Figura 12), com capacidade de 250 kN. A determinação das propriedades foi efetuada a partir dos dados obtidos, utilizando-se os documentos normativos adotados.

Figura 12: Máquina universal de ensaios da AMSLER.

3.7.2.1 Flexão estática

Neste ensaio são determinadas as propriedades de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) dos painéis na direção paralela e perpendicular à orientação das partículas. Os corpos de prova obedeceram às dimensões (250 x 50 mm) de acordo com documento normativo citado. Como descrito na Tabela 6, para o cálculo destas propriedades foi utilizada a norma europeia EN 310 (1993).

A Figura 13 ilustra a realização do ensaio.

Figura 13: Ensaio de flexão estática.

3.7.2.2 Tração perpendicular às faces

Também conhecida como adesão interna, esta propriedade foi determinada de acordo com a norma europeia EN 319 (1993). Tal norma prescreve que, para realização deste ensaio, as arestas dos corpos de prova devem apresentar dimensões de 50 ± 1 mm. A Figura 14 ilustra a realização deste ensaio.

Figura 14: Ensaio de tração perpendicular às faces.

3.7.2.3 Arrancamento de parafuso

A partir deste ensaio foram determinadas as resistências à retirada de parafuso do topo e da face do corpo de prova.

Como descrito na Tabela 6, a norma utilizada para realização deste ensaio foi a ABNT NBR 14810-3 (2006). De acordo com a referida norma, os corpos de prova para a determinação desta propriedade devem ter dimensões de 115 x 65 mm para o topo e 150 x 75 mm para a face. A Figura 15 mostra a realização destes ensaios.

Figura 15: Ensaio de arrancamento de parafuso: topo (a) e face (b).

3.8 Razão de compactação

Relação entre a densidade dos painéis e a densidade da madeira. Para o cálculo da razão de compactação para os painéis fabricados com partículas tratadas, utilizou-se a densidade da madeira obtida após o tratamento preservante.

3.9 Análise estatística

Com o intuito de se verificar a influência dos fatores tipo de partículas, do teor de adesivo e da interação entre ambos nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB, todos os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, a um nível de 95% de confiabilidade, realizada com o auxílio do software Minitab, versão 16.

Para as propriedades que apresentaram influência significativa dos fatores individuais avaliados foi efetuado o teste de Tukey, a fim de verificar, dentre os níveis estabelecidos para cada fator, a equivalência estatística entre os valores médios obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção estão apresentados os resultados referentes ao estudo preliminar e aos ensaios principais. Os valores experimentais foram comparados com os requisitos da norma européia EN 300 (2006).

4.1 Estudos preliminares

A Tabela 7 mostra os valores médios obtidos no estudo preliminar e o teste de Tukey realizado para determinar a possível influência do fator teor de adesivo nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB.

Tabela 7: Valores médios das propriedades obtidas no estudo preliminar.

Painel	Propriedades físicas					Propriedades mecânicas	
	Densidade (g/cm ³)	IE 2h (%)	IE 24h (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
S8	0,63	12,5 A	26,9 A	21,3 A	57,3 A	7072,0 A	56,0 A
S10	0,67	6,9 B	18,5 B	24,6 A	55,3 A	7164,0 A	52,0 A

*Medias seguida de mesma letra, não se diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Pela análise de variância, ao nível de 95% de probabilidade, obteve-se que o aumento do teor de adesivo de 8% para 10% proporcionou diferença estatística apenas para as propriedades físicas de inchamento em espessura após períodos de 2 e 24 horas de imersão em água.

A norma utilizada neste estudo, EN 300 (2006), para análise do desempenho dos painéis OSB, não especifica valores mínimos para as propriedades de inchamento em espessura para 2 horas e absorção de água para 2 e 24 horas de imersão. Com relação ao inchamento em espessura após 24 horas de imersão, os painéis S8 apresentaram valores médios que excederam o limite de 25% estipulado pela EN 300 (2006). Os painéis S10 apresentaram valores em conformidade com a referida norma para painéis do tipo OSB/2, destinado à aplicação em ambientes secos, cujo inchamento máximo permitido é 20%.

Os valores médios das propriedades mecânicas para as duas condições analisadas superaram o mínimo especificado para painéis do tipo OSB/4, destinado a aplicações estruturais da norma EN 300 (2006), que exige valor mínimo de 4800 e 30 MPa para MOE e MOR, respectivamente.

Com os resultados obtidos no estudo preliminar, foi possível concluir que os parâmetros utilizados na fabricação dos painéis, os quais estão apresentados na Tabela 4, foram satisfatórios para obtenção de boas propriedades para os painéis OSB. Entretanto, com o objetivo de atingir, para a propriedade inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, valores compatíveis aos recomendados pela EN 300 (2006) para painéis OSB do tipo 4, foi acrescentado mais uma proporção (12%) no parâmetro teor de adesivo.

4.2 Ensaaios principais

Neste item estão apresentados os resultados obtidos na determinação da densidade aparente da madeira de Paricá e na caracterização físico-mecânicas dos painéis OSB.

4.2.1 Densidade da madeira

Os valores médios da densidade aparente da madeira de Paricá sem tratamento preservante e tratada com CCA e CCB estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Densidade aparente da madeira de Paricá sem e com tratamento preservante.

Tipo de madeira	Densidade (g/cm³)	CV (%)
Sem tratamento	0,39 A	11
Tratada com CCA	0,39 A	6
Tratada com CCB	0,40 A	12

*Medias seguida de mesma letra, não se diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Por intermédio da análise de variância para a densidade aparente da madeira de Paricá “in natura” e tratada com CCA e CCB (Tabela 8), ao nível de 95% de probabilidade, constatou-se que o tratamento preservante não foi fator influente na citada propriedade.

Diferente dos resultados encontrados neste estudo, Rocco Lahr et al. (2010), obtiveram aumento da densidade aparente superior a 20% para a madeira de *Pinus* sp. quando tratada com CCB em relação à madeira “in natura”.

Com relação aos valores médios da densidade aparente do Paricá, estes estão coerentes com os obtidos por Colli (2007) que, em função da altura do tronco das árvores, encontrou densidades aparentes que variaram de 0,32 a 0,38 g/cm³.

4.2.2 Propriedades dos painéis

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para as propriedades avaliadas dos painéis OSB.

Neste item também são apresentados os resultados dos p-valores dos fatores individuais: tipo de partículas (TP), teor de adesivo (TA) e da interação entre ambos (TP*TA), sobre as propriedades avaliadas, exceto densidade. Encontram-se sublinhados os p-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), considerados significativos ao nível de confiabilidade de 95%.

A normalidade da distribuição dos resíduos da ANOVA por resposta investigada foi verificada com o uso do teste de normalidade de Anderson-Darling. Todas as propriedades físicas e mecânicas apresentaram normalidade, pois os p-valores encontrados [0,132; 0,694] foram superiores a 0,05 (5%). Os exemplos do gráfico de normalidade são mostrados nas Figuras 21 e 22 - Apêndice B.

As propriedades investigadas, com interação entre os fatores considerados significativos, tiveram seus efeitos apresentados em gráficos de interações, usados para visualizar o efeito de interação de dois ou mais fatores experimentais sobre a variável resposta e comparar a significância relativa entre os efeitos (WERKEMA e AGUIAR, 1996).

4.2.2.1 Propriedades físicas

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a razão de compactação e para as propriedades físicas avaliadas para os painéis OSB.

4.2.2.1.1 Densidade e razão de compactação

Os valores médios da densidade e razão de compactação dos painéis OSB para cada tratamento estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores médios da densidade e razão de compactação dos painéis OSB.

Tratamento	Densidade (g/cm ³)		Razão de compactação	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
C1	0,64	4	1,63	9
C2	0,65	3	1,66	8
C3	0,64	1	1,61	3
C4	0,65	2	1,66	5
C5	0,64	2	1,65	8
C6	0,64	3	1,61	7
C7	0,64	4	1,64	9
C8	0,65	3	1,68	7
C9	0,69	2	1,71	4

Os dados da Tabela 9 mostram que os valores médios da densidade dos painéis ficaram abaixo da densidade nominal 0,70 g/cm³. Eventuais diferenças, segundo Iwakiri et al. (2008), podem ser atribuídas sobretudo às condições operacionais, relacionadas à perda de materiais durante o processo de formação do colchão e de prensagem dos painéis, além do retorno em sua espessura após ser retirado da prensa.

Zhow (1990) relata que para painéis OSB fabricados com espécies de madeira com massa específica de aproximadamente 0,40 g/cm³, a densidade do painel considerada ideal é 0,65 g/cm³, pois um aumento deste valor não proporciona melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos painéis.

Os painéis OSB produzidos podem ser classificados, segundo Iwakiri (2005), como painéis de média densidade, por apresentarem massa específica entre 0,59 e 0,80 g/cm³.

Com relação à razão de compactação, observa-se na Tabela 9 que os valores médios variaram entre 1,6 e 1,7. Maloney (1977) comenta que o valor mínimo para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada é 1,3.

4.2.2.1.2 Teor de umidade dos painéis

Os valores médios do teor de umidade (TU) dos painéis OSB para cada condição experimental se encontram na Tabela 27 - Apêndice A.

A Tabela 10 mostra os resultados da ANOVA para os valores médios do TU.

Tabela 10: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre o teor de umidade dos painéis.

Fatores experimentais	p-valores
Tipo de partículas (TP)	0,000
Teor de adesivo (TA)	0,074
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	0,038

Na Tabela 10 observa-se que o fator individual TP e a interação entre os fatores TP*TA foram significativos no TU dos painéis OSB. A Tabela 11 apresenta o teste de Tukey, para o fator individual TP para a propriedade investigada.

Tabela 11: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade teor de umidade.

Tipo de partículas	Teor de umidade (%)		
	Teor de adesivo (%)		
	8	10	12
Sem tratamento	8,4 A	7,9 A	8,5 A
CCA	8,2 A	7,5 A	8,8 A
CCB	9,6 B	9,3 B	8,8 A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Tabela 11 mostram que os painéis tratados com CCB, correspondentes às condições experimentais C3 e C6, apresentaram maior TU.

O documento normativo para painéis OSB utilizado como referência neste estudo, EN 300 (2006), não faz menção sobre tal propriedade.

Os valores médios obtidos para o TU apresentam-se satisfatórios quando comparados a estudos realizados por autores como Souza (2012), que encontrou valores médios variando entre 8,2 e 10,3%, para painéis OSB com *Pinus* sp. e 12% de resina poliuretana à base de óleo de mamona, e Bertolini (2011), que alcançou TU de 7,7% para painéis de partículas fabricados com resíduos de *Pinus* sp. tratados com CCB e aderidos com 12% de resina à base de mamona.

Com o gráfico de interação entre fatores (Figura 16) foi possível observar a influência da combinação entre TP e TA no TU dos OSB, sendo os painéis fabricados com partículas tratadas com CCB e aderidos com 8% de adesivo, os que apresentaram maiores valores para esta propriedade.

Figura 16: Gráfico de interação dos fatores para teor de umidade.

4.2.2.1.3 Inchamento em espessura e absorção após 2 e 24 horas de imersão em água

A Tabela 28 - Apêndice A, apresenta os valores médios obtidos para as propriedades de absorção e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água.

A EN 300 (2006) não especifica os requisitos mínimos para inchamento em espessura em 2 horas (IE 2h) e absorção de água após 2 (AA 2h) e 24 horas (AA 24h) de imersão. Porém, os resultados encontrados para essas propriedades são consistentes com os obtidos por Surdi (2012) para painéis com densidade de 0,67 g/cm³, cujo IE 2h foi aproximadamente 22%, e a AA 2 e 24h, alcançaram 32 e 79%, respectivamente.

Os valores médios para inchamento em espessura em 24 horas (IE 24h) referente às condições experimentais C2, C5, C6 e C8 excederam o limite de 25% estipulado pela EN 300

(2006) para painéis do tipo OSB/1. Já os resultados obtidos para as condições C1, C4 e C7 se encontram em conformidade com os valores exigidos para painéis OSB do tipo 1. Os resultados encontrados para os painéis referentes às demais condições (C3 e C9) permitem classificá-los, segundo a referida norma, como OSB/2, cujo valor exigido, para IE 24 h de imersão em água, é 20%.

Os coeficientes de variação encontrados para as propriedades investigadas encontram-se coerentes com os resultados obtidos por Souza (2012).

A Tabela 12 mostra os resultados da ANOVA para os valores médios das propriedades IE 2 e 24h, AA 2 e 24h.

Tabela 12: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.

Fatores experimentais	p-valores			
	IE 2h	AA 2h	IE 24h	AA 24h
Tipo de partículas (TP)	<u>0,001</u>	<u>0,003</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Teor de adesivo (TA)	<u>0,000</u>	0,562	0,245	0,929
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	<u>0,000</u>	<u>0,011</u>	<u>0,014</u>	0,056

Por meio do exposto na Tabela 12, observa-se que o fator individual TP influenciou em todas as propriedades analisadas, enquanto que o fator TA somente teve influência significativa para o IE 2h. A ANOVA revelou não ser significativa a interação entre os fatores (TP*TA) sobre a propriedade de AA 24h.

Para cada propriedade, foi aplicado o teste de Tukey para os fatores individuais (TP e TA), a fim de verificar, dentre os níveis estabelecidos para cada fator, a equivalência estatística entre os valores médios obtidos.

As Tabelas 13 e 14 apresentam o teste de Tukey para o fator TP para as propriedades IE 2 e 24h e AA 2 e 24h, respectivamente.

Tabela 13: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades IE 2 e 24h.

Tipo de partículas	IE 2h (%)			IE 24 h (%)		
	Teor de adesivo (%)			Teor de adesivo (%)		
	8	10	12	8	10	12
ST	5,5 A	7,3 A	8,9 A	20,4 A	23,1 A	23,4 AB
CCA	29,8 B	20,1 B	12,6 A	45,2 B	33,8 A	30,1 A
CCB	10,5 A	5,9 A	3,4 B	18,6 A	27,5 A	19,3 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Tabela 14: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades AA 2 e 24h.

Tipo de partículas	AA 2h (%)			AA 24h (%)		
	Teor de adesivo (%)			Teor de adesivo (%)		
	8	10	12	8	10	12
ST	18,1 A	20,0 AB	22,4 AB	54,9 A	60,9 AB	66,2 AB
CCA	41,7 B	30,4 A	27,3 A	87,0 B	78,1 A	70,7 A
CCB	24,9 A	16,9 B	16,8 B	43,5 A	49,5 B	52,7 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Observa-se nas Tabelas 13 e 14 que o teste de comparação múltipla (Tukey), ao nível de 5% de significância, mostrou que o IE 24h (para os painéis fabricados com 10% de adesivo) foi a única propriedade que não apresentou diferença estatística entre as médias dos níveis do fator tipo de partículas.

Observa-se nas Tabelas 13 e 14 que no geral, os painéis OSB fabricados com partículas de madeira tratadas com CCA apresentaram maiores valores, para todas as propriedades investigadas. Tais painéis, referentes às condições experimentais C2, C5 e C8, apresentam, portanto, desempenho inferior em relação às demais condições analisadas.

Vick et al. (1996) produziram painéis flakeboards com partículas de madeira de *Pinus* sp. tratadas com CCA. Os autores obtiveram aumento de 19 e 12%, respectivamente, para as propriedades de IE 24h e AA 24h, em relação aos painéis com partículas de madeira “in natura”.

O desempenho dos painéis quanto às propriedades de IE 2 e 24 h e AA 2 e 24h pode ser relacionado com a adição de preservante na madeira. Os altos valores obtidos, para os painéis tratados com CCA, são possivelmente consequência da dificuldade de adesão entre as partículas, uma vez que as paredes celulares já contêm moléculas do preservativo que ali se alojaram.

Os menores valores encontrados para os painéis sem tratamento e tratados com CCB, segundo Bertolini (2011), estão relacionados aos insumos utilizados neste trabalho, pois tanto a resina poliuretana à base de óleo de mamona quanto à madeira tratada, que possui menor higroscopicidade devido ao preenchimento de suas células pelas substâncias preservativas, são resistentes à absorção de água.

A Tabela 15 apresenta o teste de Tukey para o fator teor de adesivo na propriedade IE 2h.

Tabela 15: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedade IE 2h.

Teor de adesivo (%)	IE 2h (%)		
	Tipo de partículas		
	ST	CCA	CCB
8	5,5 A	29,8 A	10,5 A
10	7,3 A	20,1 AB	5,9 B
12	8,9 A	12,6 B	3,4 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Pela Tabela 15, nota-se que o fator teor de adesivo influenciou significativamente na propriedade IE 2h para os painéis com partículas de madeira tratadas com CCA e CCB. O aumento do teor de adesivo proporcionou redução nos valores médios de IE 2h.

Zhou (2004) também encontrou, para painéis OSB tratados com borato de zinco e borato de cálcio, redução nos valores de inchamento em espessura com o aumento do teor de resina de 2,5 para 5%.

A equivalência estatística encontrada entre as médias do fator teor de adesivo, para os painéis fabricados com partículas sem tratamento, pode estar relacionada com a porosidade dos painéis OSB fabricados neste estudo. A Figura 17 mostra os gráficos da interação entre os fatores TP*TA, sobre as propriedades investigadas.

Figura 17: Gráfico de interação dos fatores: IE 2h (a), AA 2h (b) e IE 24h(c).

Por intermédio da Figura 17, observa-se que os painéis OSB fabricados com partículas de madeira tratada com CCB e aderidos com 12% de teor de adesivo, foram os que obtiveram menores valores médios para as propriedades IE 2h, AA 2h e IE 24h, ou seja, apresentaram melhores desempenhos para essas propriedades em relação às demais condições analisadas.

4.2.2.2 Propriedades mecânicas

A seguir são apresentados os resultados encontrados para as propriedades mecânicas avaliadas para os painéis OSB.

4.2.2.2.1 Flexão estática

Este item está dividido em duas partes. A primeira corresponde aos resultados encontrados para as propriedades de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), obtidos por intermédio da realização do ensaio de flexão estática na direção paralela à orientação das partículas. A segunda parte faz referência aos resultados obtidos para as propriedades MOE e MOR, correspondentes ao ensaio de flexão estática na direção perpendicular à orientação das partículas.

- Módulo de elasticidade e módulo de ruptura na direção paralela

A Tabela 29 - Apêndice A apresenta os valores médios obtidos para as propriedades MOE e MOR na direção paralela à orientação das partículas.

Todas as condições experimentais avaliadas atenderam aos requisitos mínimos da EN 300 (2006) para painéis do tipo OSB/4, que exige 4800 e 30 MPa para o MOE e MOR, respectivamente. Os valores médios obtidos foram superiores em até 26% para o MOE e 31% para o MOR, em relação à norma citada.

Os resultados obtidos para as propriedades avaliadas condizem com o estudo de Bastos (2009), que encontrou para painéis OSB comerciais do tipo Form e do tipo Plastificado, valores médios de 5612 e 5747 MPa, respectivamente para o MOE, e 35 e 34 MPa, respectivamente para o MOR.

Stella (2009) realizou estudos com compensados fabricados com lâminas de madeira de Paricá e resina uréia-formaldeído. A autora encontrou valores que variaram de 4497 a 5500 MPa para o MOE e 29 a 35 MPa para o MOR, ressaltando assim a superioridade dos valores obtidos no trabalho em questão.

Todas as condições experimentais atingiram o requisito mínimo de 5000 MPa, para a propriedade MOE, exigido pela norma DIN 68792 (1979), para compensados destinados às fôrmas de concreto armado, com superioridade de até 23%. Com relação aos resultados obtidos para o MOR, as condições C1, C4, C5, C6 e C9 apresentaram superioridade de até 13%, ao valor de 45 MPa, estipulado pela norma citada.

Os coeficientes de variação para o MOE e MOR não ultrapassaram 30%, estando coerentes com os valores encontrados por Nascimento e Morales (2008).

A Tabela 16 mostra os resultados da ANOVA para os valores médios do módulo de elasticidade e módulo de ruptura.

Tabela 16: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades MOE e MOR para direção paralela.

Fatores experimentais	p-valores	
	MOE	MOR
Tipo de partículas (TP)	0,503	<u>0,005</u>
Teor de adesivo (TA)	0,872	0,236
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	0,180	0,108

Como pode ser observado na Tabela 16, a análise de variância mostrou diferença estatística, com 5% de significância, entre os níveis do fator tipo de partículas somente para propriedade MOR.

A influência dos níveis do fator tipo de partículas sobre a propriedade MOR foi avaliada por intermédio do teste de Tukey, como mostra a Tabela 17.

Tabela 17: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade MOR para a direção paralela.

Tipo de partículas	MOR (MPa)		
	Teor de adesivo (%)		
	8	10	12
ST	49,5 A	51,2 A	44,6 A
CCA	42,1 AB	47,7 A	42,5 A
CCB	35,0 B	45,8 A	47,2 A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 17 que o teste de comparação múltipla (Tukey) mostrou, ao nível de 5% de significância, que somente os painéis com 8% de teor de adesivo apresentaram diferença estatística entre os níveis do fator tipo de partículas, sendo que os painéis fabricados com partículas tratadas com CCB apresentaram os menores valores de MOR.

Diferentemente do que foi observado em estudos realizados por Goroyias e Hale (2004), Vick et al. (1996) e Li et al. (2002), não foi constatada redução na propriedade MOE para os painéis fabricados com partículas tratadas. No caso do MOR, este fato foi observado apenas para os painéis fabricados com 8% de teor de adesivo. Fica assim, comprovada a eficiência da resina poliuretana à base de óleo de mamona utilizada neste estudo.

- Módulo de elasticidade e módulo de ruptura perpendicular

A Tabela 30 - Apêndice A apresenta os valores médios obtidos para as propriedades de MOE e MOR na direção perpendicular à orientação das partículas.

Os valores médios de MOE, para as condições experimentais C5, C6 e C7 foram coerentes com os recomendados pela EN 300 (2006) para painéis OSB/2 e OSB/3 (valor mínimo 1400 MPa). Os valores obtidos para as condições C1, C3, C4, C8 e C9 superaram o valor mínimo de 1200 MPa, recomendando para painéis OSB/1. Os resultados dos painéis referentes à condição C2 não atenderam à norma. No tocante ao MOR, nas condições experimentais C3 e C9, se alcançou 11 MPa, conforme requisito da norma de referência para painéis OSB/2 e OSB/3. Nas demais condições (C1, C2, C4, C5, C6, C7 e C8) foi superado o mínimo de 16 MPa exigido para painéis OSB/4.

Mendes (2010), ao avaliar o efeito do tratamento térmico em painéis de partículas orientadas, obteve 15% como média para os coeficientes de variação, para MOE e MOR. Os valores aqui obtidos estão em conformidade aos citados pelo autor.

A Tabela 18 mostra os resultados da ANOVA para os valores médios do MOE e MOR para a direção perpendicular em relação à orientação das partículas.

Tabela 18: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades MOE e MOR para direção perpendicular.

Fatores experimentais	p-valores	
	MOE	MOR
Tipo de partículas (TP)	<u>0,013</u>	<u>0,001</u>
Teor de adesivo (TA)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	<u>0,006</u>	<u>0,024</u>

Por meio do exposto na Tabela 18, observa-se que tanto os fatores individuais (TP e TA), quanto à interação entre esses fatores (TP*TA) influenciaram de maneira significativa nas variáveis MOE e MOR na direção perpendicular.

A influência dos níveis dos fatores individuais TP e TA sobre MOE e MOR foi avaliada por intermédio do teste de Tukey, como mostram as Tabelas 19 e 20.

Tabela 19: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades MOE e MOR para direção perpendicular.

Tipo de partículas	MOE (MPa)			MOR (MPa)		
	Teor de adesivo (%)			Teor de adesivo (%)		
	8	10	12	8	10	12
ST	1277,4 A	1302,0 A	1830,5 A	18,9 A	18,6 A	22,0 A
CCA	1172,4 A	1760,6 B	1303,1 B	17,2 A	24,2 B	19,7 AB
CCB	1267,0 A	1530,8 AB	1374,7 B	11,6 B	16,6 A	15,6 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Tabela 20: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedades MOE e MOR para direção perpendicular.

Teor de adesivo (%)	MOE (MPa)			MOR (MPa)		
	Tipo de partículas			Tipo de partículas		
	ST	CCA	CCB	ST	CCA	CCB
8	1277,4 A	1172,4 A	1267,0 A	18,9 A	17,2 B	11,6 A
10	1302,0 A	1760,6 B	1530,8 A	18,6 A	24,2 A	16,6 B
12	1830,5 B	1303,1 AB	1374,7 A	22,0 A	19,7 AB	15,6 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 19 que a propriedade MOE apresentou equivalência entre os três níveis investigados para o fator tipo de partículas, quando utilizado 8% de teor de adesivo na fabricação dos painéis. O tratamento das partículas com preservante CCA e CCB melhorou significativamente a propriedade MOE dos painéis fabricados com 10% de adesivo. Já para o teor de adesivo de 12%, os painéis com partículas “in natura” apresentaram melhor desempenho para essa propriedade. Para a variável MOR o fator tipo de partículas foi influente para os três teores de adesivo estabelecidos. No geral, os painéis fabricados com partículas tratadas com CCB apresentaram desempenho inferior para essa propriedade em relação às demais condições analisadas.

A Tabela 20 mostra que o fator teor de adesivo foi influente na propriedade MOE para os três tipos de tratamento de partículas. Os painéis fabricados com partículas sem tratamento e tratadas com CCA se comportaram em relação ao MOE como esperado, ou seja, tiveram valores médios superiores em relação aos demais níveis, com o aumento do teor de adesivo. Para os painéis com partículas tratadas com CCB, o aumento do teor de adesivo não proporcionou melhorias significativas. Com relação ao MOR, o fator teor de adesivo não foi significativo apenas para os painéis fabricados com partículas de madeira “in natura”. Os painéis com partículas tratadas (CCA e CCB) tiveram aumento nos valores médios dessa propriedade com o acréscimo do teor de adesivo.

Surdi (2012) encontrou, para painéis OSB fabricados com densidade de 0,67 g/cm³, valores médios de MOE e MOR perpendicular de 1307 e 19 MPa, respectivamente, valores próximos aos encontrados neste estudo.

Os resultados obtidos para essas propriedades também podem ser relacionados a outros fatores do processo produtivo dos painéis como, às dimensões das partículas, razão de esbeltez e porosidade do painel.

A Figura 18 mostra o gráfico da interação entre os fatores TP*TA, sobre as propriedades MOE e MOR na direção perpendicular a orientação das partículas.

a)

b)

Figura 18: Gráfico de interação dos fatores: MOE perpendicular (a) e MOR perpendicular (b).

A análise dos gráficos de interação dos fatores (Figura 18) revela que os painéis fabricados na condição experimental C7 (partículas sem tratamento, 12% de teor de adesivo), obtiveram os maiores valores de MOE. Para a condição C5 (partículas tratadas com CCA, 10% de adesivo), o MOR foi superior, indicando melhor desempenho para essa propriedade em relação às demais condições analisadas.

4.2.2.2.2 Adesão interna

A Tabela 31 - Apêndice A, mostra os valores médios obtidos para a adesão interna.

Os painéis referentes às condições C2, C3 e C4 atingiram valores médios de adesão interna superiores aos requisitos estabelecidos pela EN 300 (2006) de 0,34 MPa, para aplicação de painéis do tipo OSB/3. Os painéis correspondentes às condições experimentais C1, C5, C6, C7, C8 e C9 tiveram valores médios superiores a 0,5 MPa, requerido para painéis do tipo OSB/4.

Os coeficientes de variação obtidos para essa propriedade estão em conformidade ao valor médio de 15% obtido por Souza (2012).

A Tabela 21 exhibe os resultados da ANOVA para os valores médios de adesão interna.

Tabela 21: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre a propriedade de adesão interna.

Fatores experimentais	p-valores
Tipo de partículas (TP)	0,000
Teor de adesivo (TA)	0,027
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	0,006

Por meio do exposto na Tabela 21, observa-se que tanto os fatores individuais (TP e TA) quanto à interação entre esses fatores (TP*TA) influenciaram de maneira significativa na propriedade adesão interna.

A influência dos níveis dos fatores individuais TP e TA sobre a adesão interna foi avaliada por intermédio do teste de Tukey, como mostram as Tabelas 22 e 23.

Tabela 22: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedade adesão interna.

Tipo de partículas	Adesão interna (MPa)		
	Teor de adesivo (%)		
	8	10	12
ST	0,64 A	0,48 A	0,56 A
CCA	0,45 A	0,74 B	0,55 A
CCB	0,40 A	0,55 AB	0,61 A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Tabela 23: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedade adesão interna.

Teor de adesivo (%)	Adesão interna (MPa)		
	Tipo de partículas		
	ST	CCA	CCB
8	0,64 A	0,45 A	0,40 A
10	0,48 A	0,74 B	0,45 A
12	0,56 A	0,55 AB	0,61 A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 22 que a propriedade adesão interna apresentou diferença estatística entre os níveis investigados para o fator tipo de partículas, somente quando utilizado 10% de teor de adesivo. Com relação à influência do teor de adesivo (Tabela 23), o teste de Tukey mostrou que somente os painéis tratados com CCA apresentaram diferença significativa entre os níveis investigados.

O aumento do teor de adesivo para os OSB fabricados com partículas tratadas com CCA melhorou significativamente a adesão interna desses painéis, de forma que atingiram o valor mínimo de 0,5 MPa exigido pela EN 300 (2006) para painéis OSB do tipo 4.

Bastos (2009) para painéis comerciais do tipo OSB Form, encontrou valores médios de adesão interna de 0,67 MPa, valor superior aos encontrados neste trabalho, exceto para a condição experimental C5.

Mengelglu et al. (2003) encontraram para painéis flakeboards fabricados com *Pinus* sp. tratados com CCA e aderidos com resina MDI, valores médios de 0,43 MPa para adesão interna. Os valores médios obtidos neste estudo, para as condições C2, C5 e C8, (painéis tratados com CCA) foram superiores em até 44% aos obtidos por esses autores. Isso testifica a eficiência da resina poliuretana à base de óleo de mamona utilizada.

A Figura 19 mostra o gráfico da interação entre os fatores TP*TA, sobre a propriedade de adesão interna.

Figura 19: Gráfico de interação dos fatores para adesão interna.

A análise do gráfico de interação (Figura 19) mostra que os painéis fabricados com partículas tratadas com CCA aderidas com 10% de teor de adesivo, tiveram melhores desempenhos para a adesão interna em relação às demais condições. Contudo, os resultados obtidos para esta propriedade devem também ser relacionados a outros fatores do processo de produção dos painéis, como dimensões das partículas e, principalmente, com a porosidade de cada painel.

4.2.2.2.3 Arrancamento de parafuso de face e topo

A Tabela 32 - Apêndice A apresenta os valores médios obtidos para as propriedades de arrancamento de parafuso de face (AP_f) e arrancamento de parafuso de topo (AP_t).

A EN 300 (2006) não faz referência a essa propriedade. O documento normativo brasileiro ABNT NBR 14810 - 2 (2006) estabelece, para chapas de madeira aglomerada, valores de 1020 N para AP_f e 800 N para AP_t . Das condições analisadas, somente a C2 não atingiu o valor mínimo exigido pela norma brasileira para a propriedade AP_f . Com relação à propriedade AP_t , somente as condições experimentais C2, C3 e C6 não atenderam os requisitos mínimos da referida norma.

A Tabela 24 exibe os resultados da ANOVA para os valores médios de arrancamento de parafuso de face e topo.

Tabela 24: P-valores dos fatores individuais e de suas interações sobre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face e de topo.

Fatores experimentais	p-valores	
	Arrancamento de parafuso face	Arrancamento de parafuso topo
Tipo de partículas (TP)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Teor de adesivo (TA)	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Tipo de partículas* Teor de adesivo (TP*TA)	<u>0,017</u>	<u>0,000</u>

Por meio do exposto na Tabela 24, observa-se que tanto os fatores individuais (TP e TA) quanto a interação entre esses fatores (TP*TA) influenciaram de maneira significativa nas propriedades de resistência ao AP_f e AP_t .

A influência dos níveis dos fatores individuais TP e TA sobre a propriedade de arrancamento de parafuso de face e topo foi avaliada por intermédio do teste de Tukey, como mostram as Tabelas 25 e 26.

Tabela 25: Teste de Tukey para o fator tipo de partículas - propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face de topo.

Tipo de partículas	Face			Topo		
	Teor de adesivo (%)			Teor de adesivo (%)		
	8	10	12	8	10	12
ST	1617,0 A	1666,0 A	1352,5 A	869,8 A	943,3 A	1386,6 A
CCA	252,8 B	1629,3 A	1347,5 A	796,2 A	1029,0 A	1004,0 B
CCB	1078,5 C	1170,8 B	1249,5 A	686,0 A	661,5 B	894,3 B

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Tabela 26: Teste de Tukey para o fator teor de adesivo - propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face de topo.

Teor de adesivo (%)	Face			Topo		
	Tipo de partículas			Tipo de partículas		
	ST	CCA	CCB	ST	CCA	CCB
8	1617,0 AB	252,8 A	1078,5 A	869,8 A	796,2 A	686,0 A
10	1666,0 A	1629,3 B	1170,8 A	943,3 B	1029,0 B	661,5 A
12	1352,5 B	1347,5 B	1249,5 A	1386,6 B	1004,0 B	894,3 A

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.

Observa-se na Tabela 25 que os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso de face não apresentaram diferença estatística entre os níveis do fator partícula, para os painéis fabricados com de 12% de teor de adesivo. Para a propriedade de resistência ao arrancamento de parafuso de topo, a equivalência estatística, entre os níveis do fator tipo de partículas, foi encontrada para os painéis fabricados com 8% de teor de adesivo.

Com relação ao fator teor de adesivo (Tabela 26), observa-se que somente os painéis fabricados com partículas tratadas com CCB, não sofreram influência para os níveis investigados, tanto para a propriedade arrancamento de parafuso de face quanto de topo. No geral, o aumento do teor de adesivo proporcionou maiores valores de AP_f e AP_t .

Os valores médios obtidos para as variáveis investigadas foram inferiores aos encontrados por Souza (2012) para painéis OSB com partículas de madeira de *Pinus* sp. e resina à base de mamona, que obteve resultados entre 1372 e 1598 N para AP_f e 1365 à 1898 N para AP_t .

A Figura 20 mostra o gráfico da interação entre os fatores TP*TA, sobre as propriedades investigadas.

Figura 20: Gráfico de interação dos fatores para arrancamento de parafuso: face (a) e topo (b).

A análise do gráfico de interação dos fatores (Figura 20) permite observar que os painéis produzidos com partículas sem tratamento e 10% de adesivo, apresentaram maiores resistência ao AP_f . As maiores resistência ao AP_t foram obtidas pelos painéis fabricados com partículas sem tratamento e 12% de adesivo. Neste caso, também é importante ressaltar a influência da porosidade dos painéis nestas propriedades.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Baseando-se na metodologia aplicada e nos resultados obtidos para os painéis OSB com partículas de madeira de *Schizolobium amazonicum*, é possível concluir:

- *Propriedades físicas*

- Os painéis OSB fabricados neste estudo foram classificados, segundo a literatura, como painéis de média densidade e apresentaram razão de compactação dentro do estabelecido para adequada densificação. Considerando-se o teor de umidade, pode-se afirmar que os painéis referentes aos tratamentos C3, C6 e C9, fabricados com partículas tratadas com CCB, apresentaram valores superiores. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios com relação aos trabalhos correlatados, devido à ausência de requisitos normativos para tal propriedade.
- As propriedades de inchamento em espessura e absorção, após imersão de 2 e 24 horas em água, sofreram grande influência do fator tipo de partículas. Os painéis com partículas tratadas com CCA (condições experimentais C2, C5 e C8), apresentaram valores médios superiores para estas propriedades, enquanto que os painéis que tiveram adição de preservante CCB apresentaram no geral, melhores desempenhos. Com relação ao fator teor de adesivo, este influenciou apenas a propriedade de inchamento em espessura em 2 horas, para os painéis com partículas tratadas (CCA e CCB), sendo que o aumento do teor de adesivo reduziu os valores das propriedades investigadas.

- *Propriedades mecânicas*

- Considerando-se as propriedades de MOE e MOR para a direção paralela à orientação das partículas, constatou-se que o fator tipo de partículas influenciou significativamente

somente na propriedade MOR para os painéis fabricados com 8% de adesivo. Com relação ao teor de adesivo, este não influenciou de maneira significativa nestas propriedades. Todas as condições investigadas atenderam aos requisitos mínimos exigidos pela EN 300 (2006) para painéis do tipo OSB/4. Para as propriedades de MOE e MOR na direção perpendicular, tanto os fatores individuais (tipo de partículas e teor de adesivo) quanto à interação dos fatores, influenciaram nestas propriedades.

- As propriedades de adesão interna e arrancamento de parafuso de face e de topo foram influenciadas tanto pelos fatores tipo de partículas e teor de adesivo, como pela interação entre esses fatores. Com relação à adesão interna, exceto as condições experimentais C2, C3 e C4 não atingiram os valores exigidos pela EN 300 (2006) para painéis OSB/4. As propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de face e de topo foram avaliadas de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810 - 2 (2006).

Ficou constatada, na maioria dos casos, a equivalência estatística entre as propriedades físicas e mecânicas investigadas para os teores de adesivo de 10 e 12%, implicando serem os painéis fabricados com 10% de resina as melhores soluções, por apresentarem resultados compatíveis aos exigidos por norma e por usar menor quantidade de adesivo.

Diante desses argumentos, conclui-se que a fabricação de painéis OSB utilizando espécie de madeira de Paricá sem e com tratamento preservante (CCA e CCB) e resina poliuretana à base de óleo de mamona, é viável, pois os resultados obtidos foram compatíveis aos exigidos por normas nacionais e internacionais. Os painéis OSB deste estudo apresentam plenas condições de aplicação em diversos segmentos da construção civil.

Com base nos argumentos da conclusão, são sugeridos para estudos futuros:

- Avaliar o efeito da variação da proporção de partículas na face/miolo/face nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB quando fabricados com Paricá.
- Realizar o ensaio de Envelhecimento Artificial Acelerado simulando diversos ciclos, além de avaliar o desempenho dos painéis após períodos de exposição a intempéries.

- Analisar a morfologia das partículas e das superfícies de fratura de corpos de prova, por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).
- Avaliar a condutividade térmica dos painéis OSB com partículas tratadas e “in natura”.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C.; MENDES, L. M. (2000). “OSB - Processo industrial e considerações”. **Revista da madeira**. n. 46, p. 22 - 26.
- APPEL, J. S. L. et al. (2007). Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. **Revista Brasileira de Toxicologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 33 - 47.
- ARNOULD, O. et al. (2010). Mechanical potential of eco-OSB produced from durable and nondurable species and natural resins. **Holzforschung**, New York, v.64, p. 791 - 798.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA (2011). Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em 16 dez. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1986). NBR 9480: Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais - Requisitos. Rio de Janeiro.
- _____. (2004). NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro.
- _____. (2006). NBR 14810: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro
- _____. (1997). NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. Em revisão.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. (2006). **Anuário Estatístico da ABRAF 2006 - ano base 2005**. Brasília: STCP Engenharia de Projetos.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. (2012). **Anuário Estatístico da ABRAF 2012 - ano base 2011**. Brasília: STCP Engenharia de Projetos.
- BASTOS, E. F. (2009). **Caracterização física e mecânica de painel OSB do tipo Form**. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- BECK, K. et al. (2010). Comparison of mechanical properties of oriented strand board made from trembling aspen and paper birch. **European Journal Wood Products**, v. 68, n. 1, p.27 - 33.
- BERTOLINI, M. S. (2011). **Emprego de resíduos de *Pinus* sp. tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE B. G. P. (2010). **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES setorial 32, p. 49 - 90.
- BORTOLETTO Jr. G.; GARCIA, J. N. (2004). Propriedade de resistência e rigidez a flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 004, p.563 - 570.

CALIL NETO, C. (2011). **Madeira Laminada Colada (MLC): Controle de Qualidade em combinações espécie - adesivo - tratamento preservativo**. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CARVALHO, P. E. R. (2007). Paricá *Schizolobium amazonicum*. Colombo-PR: Embrapa. Circular Técnico.

CHIPANSKI, E. R. (2006). **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CLOUTIER, A. (1998). Oriented Strand Board (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood - base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., **Anais**. Belo Horizonte, SIF, 1998, p. 173 - 185.

COLLI, A. (2007). **Caracterização da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)**. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CORDEIRO, I. M. C. C. (1999). **Performance diferencial de crescimento da espécie *Schizolobium amazonicum* HUBER (Ducke) em sítios degradados sob diferentes regimes de preparação de área na microrregião do Guamá, Aurora do Pará, Pará**. 42f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal do Pará/Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, 1999.

CORDEIRO, I. M. C. C. (2007). **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) *Barneby e Ananas comosus* var *erecti foliis* (L.B.Smith) *Coppens & Leal* sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora Pará (PA)**. 115 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

COSTA, D. H. M. et al. (1998). **Alguns aspectos silviculturais sobre o Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber)**. Belém: Banco da Amazônia.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1979). **DIN 68792: Large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete**. Berlin.

DIAS, F. M. (2005). **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 151f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

EINSFELD, C. D. L. (2009). **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no estado do Paraná**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

EINSFELD, R. A. et al. (1998). Manufatura e características das chapas OSB (Oriented Strand Board). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998. **Anais...** Florianópolis: [s.n.]. CD - ROM.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1993). **EN 310: Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Bruxelas.

_____. (2006). **EN 300: Oriented Strand Boards (OSB) - Definitions, classification and specifications.** Portugal.

_____. (1993). **EN 317: Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water.** Bruxelas.

_____. (1993). **EN 319: Particleboards and fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.** Bruxelas.

_____. (1993). **EN 323: Wood-based - Determination of density.** Bruxelas.

EVANGELISTA, W. V. (2011). **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto.** 126 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

FERRARINI, S. F. et al. (2012). Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de arseniato de cobre cromatado e de boro/flúor. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 9, p.1767-1771.

FOREST PRODUCTS. (2012). **Forest products annual market review 2011-2012.** Disponível em: < http://www.unece.org/fileadmin/DAM/publications/timber/FPAMR_2010-2011_HQ.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2012.

FREITAS, V. P. E. (2002). **Variações na retenção de CCA - a em estacas de *Pinus* após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento.** 76 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. (2004). **Processos práticos para preservar a madeira.** Colombo: Embrapa. Circular Técnico.

GOMES, J. I.; FERREIRA, G. C. (2002). **Durabilidade natural de quatro madeiras Amazônicas em contato com o Solo.** Belém: Embrapa. Comunicado Técnico.

GOROYIAS, G. J.; HALE M. D. (2004). The mechanical and physical properties of strand boards treated with preservatives at different stages of manufacture. **Wood Science and Technology**, Bangor, v. 38, n. 1, p.93 - 107.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. (2003). Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p.365 - 370.

HOFFMANN, R. G. (2009). **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA.** 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2009.

HSU, W. E. (1997). Wood quality requirements for panel products. In: INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Portland. **Anais...**Portland: 1, p. 1 - 7.

IWAKIRI, S. (1989). **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus*.** Curitiba, 129p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

_____. (1999). Painéis de partículas orientadas “OSB”. **Revista da Madeira**. Curitiba, n. 41, p. 52-53.

IWAKIRI, S. et al. (2008). Utilização de madeiras de *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas - OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265 - 270.

_____. (2009). Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 15, n.1, p. 116 - 122.

_____. (2010). Produção de painéis laminados unidirecionais - LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavra, v. 16, n. 4, p. 557 - 563.

_____. (2011). Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Florestas**, Curitiba, v. 41, n. 3, p.451 - 458.

IWAKIRI, S. (2005). Painéis de madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. et al. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, p. 158-166.

IWAKIRI, S. MENDES, L. M. SALDANHA, L. K. (2003). Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 89 - 94.

JESUS, L. L. H. (1987). **Preservação da madeira de *Pinus* spp. para a construção civil**. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

LEBOW, S. (2007). Preservative treatments for building components. In: BARNES, H. M. Wood protection 2006. Wisconsin: Forest Products Laboratory. Session I, p. 57 - 64. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2007/fpl_2007_lebow001.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2012.

LELIS, A. T. et al. (2001). **Biodeterioração de madeiras em edificações**. São Paulo: IPT.

LEPAGE, E. S. (2010). Moq® 0x50 (CCB-O)- preservativo sustentável com longo histórico de eficiência. **Revista Referência**, p. 80-83. Disponível em: <<http://www.montana.com.br/Noticias/Clippings/Revista-Referencia-Segunda-Feira-20-de-Setembro-de-2010>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

LEPAGE, E. S. et al. (1986). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT. 2v.

LI, W.; SHUPE, T.F.; HSE, C. Y. (2004). Physical and mechanical properties of flakeboards produced from recycled CCA-treated wood. **Forest Products Journal**, Madison, United States of America, v. 54, n. 2.

LPBRASIL. (2012). **OSB**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/>>. 16 de set. 2012.

MALONEY, T. M. (1977). **Modern Particleboard & Dry Process Fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman.

MANUAL del grupo andino para la preservacion de maderas. (1998). Lima: Carvajal S.A.

- MATOS, J. L. M. (1988). **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. 163f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- MATSUBARA, R. K.; LOGSDON, N. B. (2004). Caracterização preliminar da madeira de Paricá, *Schizolobium amazonicum* Hub. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9, 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá [s. n.]. CD - ROM.
- MELO, R. R. (2012). **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**. 182 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- MENDES, L. M. (2001). ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 181 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, L. M. et al. (2003). Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p.457 - 468.
- MENDES, R. F. (2010). **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 116f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MENGELOGLU, F. et al. (2003). Recycling of CCA treated lumber in manufacture of flakeboard. **4th Section wood and technology**. Kahramanmaras, Turkey.
- MORESCHI, J. C. (2011). Produtos preservantes de madeira. Apostila Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - UFPR, Curitiba. 31p. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/preservantesdemadeira.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- MORESCHI, J. C. et al. (2002). Preservação. **Revista da Madeira**, n. 68, v. 12.
- MOSLEMI, A. A. (1974). **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press.
- NASCIMENTO, M. F.; MORALES, E. A. M. (2008). Fabricação de painéis OSB com madeira proveniente de espécies de madeira da caatinga do nordeste brasileiro. LAHR, F. A.R. **Produtos Derivados da Madeira**. São Carlos. Cap.06, p. 119 - 136.
- OKINO, E. Y. A. et al. (2009). Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p.123 - 131.
- PAES, J. B. et al. (2011). 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.
- PINHEIRO, R. V. (2001). **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedade de resistência e de elasticidade da madeira**. 162f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PIVA, R. D. (2006). Processo de Fabricação de móveis sob encomenda. Rio Grande do Sul: **Centro Tecnológico do Mobiliário**, 155 p.
- REMADE. (2003). Adesivo à base de mamona para compensado. Brasil: **Revista da Madeira**, v. 72. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 22 de nov. 2012.

RICHARDSON, B. A (1993). **Wood preservation**. 2nd ed. London: Chapman and Hall.

ROCCO LAHR F. A.; FERNANDES R.; BERTOLINI M. S. (2010). Influência da preservação com CBB na dureza da madeira de *Pinus* sp. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 19., CAMPOS DO JORDÃO. **Anais...** Campos do Jordão: [s.n]. CD - ROM.

SALDANHA, L. K. (2004). **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. (2009). Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n.3, p. 571 - 576.

SILVA, J. C. (2007). Preservantes: Madeira preservada e seus conceitos. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 1, n. 103. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1061&subject=Preservantes&title=Madeira%20preservada%20e%20seus%20conceitos>. Acesso em: 27 dez. 2012.

SIVIERO, M. A. (2006). Paricá: a vedete do reflorestamento [jan. 2006]. Entrevistador: **Diário do Pará**, Belém.

SOUZA, A. M. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus* sp. com inclusão de telas metálicas**. 116f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SOUZA, C. R. et al. (2003). **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. Manaus- AM: Embrapa**. Circular Técnico.

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. (2005). Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. Pará: **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**, 2p.

SPELTER, H.; MCKEEVER, D.; ALDERMAN, M. (2006). Status and Trends: Profile of Structural Panels in the United States and Canada. Madison: **Forest Products Laboratory**. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl_rp636.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2006.

STELLA, J. C. (2009). **A influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensados de Paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. Curitiba. 51 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. (2005). **Oriented Strand Board in Wood Frame Construction**. Technical bulletin. Disponível em: <<http://osbguide.tecotested.com/pdfs/en/tb103.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2012.

SURDI, P. G. (2012). **Produção de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SUZUKI, S.; TAKEDA, K. (2000). Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of Sugi oriented strand board. **Japan Wood Science**, Tokyo, v.46, p. 289 - 295.

TEREZO, R. F. (2010). **Avaliação tecnológica do Paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 201 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. (2010). Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de Paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p.471 - 480.

TOMASELLI, I. (1998). A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...**Viçosa: SIF/ UFV/DEF, p. 55 - 64.

VARANDA, L. D. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia**. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VICK, C. B.; GEIMER, R. L.; WOOD JR., J. E. (1996). Flakeboards from recycled CCA - treated southern pine lumber. **Forest Products Journal**, Madison, United States of America. v. 46, n. 11, p. 89 - 91.

VIDAURRE, G. B. (2010). **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 89 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

VIDAURRE, G. B. et al. (2004). Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da mata atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p.235 - 242.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. (1996). **Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**, Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG.

WPIF. (2011). **Wood Panel Industries Federation**. Disponível em: <http://www.wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/03_%20Section%201%20TRADA%20V3%2021_04.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2013.

ZHANG, M. et al. (1998). Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n. 44, p.191 - 197.

ZHOU, Y. (2004). **Properties of borate-treated strandboard bonded with pMDI resin**. 116 f. Tese (Doutorado) Beijing Forestry University, China, 2004.

ZHOW, D. (1990). A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7 - 8, p. 293 - 296.

APÊNDICE A - VALORES MÉDIOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS.

Tabela 27: Valores médios referentes à propriedade teor de umidades dos painéis OSB.

CE	Teor de umidade (%)	
	Média	CV (%)
C1	8,4	6
C2	8,2	1
C3	9,6	3
C4	7,9	5
C5	7,5	5
C6	9,3	3
C7	8,5	5
C8	8,8	14
C9	8,8	8

Tabela 28: Valores médios referentes às propriedades inchamento em espessura e absorção após 2 e 24 horas de imersão em água.

CE	Inchamento em espessura (%)				Absorção de água (%)			
	2h		24h		2h		24h	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
C1	5,5	21	20,4	3	18,1	13	54,9	6
C2	29,8	28	45,2	22	41,7	22	87,0	12
C3	10,5	17	18,6	14	24,9	24	43,5	21
C4	7,3	6	23,1	4	20,0	12	60,9	16
C5	20,1	28	33,8	27	36,4	28	78,1	19
C6	5,9	31	27,5	33	16,9	22	49,5	17
C7	8,9	37	23,4	22	22,4	8	66,2	13
C8	12,6	24	30,1	21	27,3	25	70,7	16
C9	3,4	35	19,3	24	16,8	12	52,7	6

Tabela 29: Valores médios referentes às propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a direção paralela à orientação das partículas.

CE	MOE (MPa)		MOR (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
C1	6085,0	9	49,5	2
C2	5632,6	6	42,1	23
C3	5522,9	8	35,0	21
C4	6453,4	6	51,2	5
C5	6564,7	10	47,7	18
C6	6311,8	9	45,8	11
C7	5878,4	11	44,6	20
C8	5908,6	9	42,5	11
C9	6449,5	7	47,2	14

Tabela 30: Valores médios referentes às propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a direção perpendicular à orientação das partículas.

CE	MOE (MPa)		MOR (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
C1	1277,4	8	18,9	15
C2	1172,4	12	17,2	10
C3	1241,9	11	11,6	10
C4	1301,9	6	18,6	10
C5	1760,6	9	24,2	13
C6	1530,8	5	16,6	9
C7	1830,5	10	22,0	15
C8	1303,1	12	19,7	16
C9	1224,7	13	15,6	15

Tabela 31: Valores médios referentes à propriedade de adesão interna.

CE	Adesão interna (Mpa)	
	Média	CV (%)
C1	0,64	25
C2	0,45	32
C3	0,40	7
C4	0,48	12
C5	0,74	23
C6	0,55	6
C7	0,56	26
C8	0,55	16
C9	0,61	31

Tabela 32: Valores médios referentes às propriedades de arrancamento de parafuso de face e de topo.

CE	Arrancamento de parafuso face		Arrancamento de parafuso topo	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
C1	1617,0	4	869,8	10
C2	252,8	19	796,2	16
C3	1078,5	20	686,0	13
C4	1666,0	11	943,3	17
C5	1629,3	10	1029,0	4
C6	1170,8	16	661,5	22
C7	1352,5	12	1386,6	19
C8	1347,5	23	1004,0	6
C9	1249,5	17	894,3	16

APÊNDICE B - GRÁFICO DE NORMALIDADE DOS RESÍDUOS

Figura 21: Normalidade dos resíduos para a propriedade inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água.

Figura 22: Normalidade dos resíduos para a propriedade adesão interna.