

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL DA ROSA AZAMBUJA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA
PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

CURITIBA
2015

RAFAEL DA ROSA AZAMBUJA

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA
PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski

CURITIBA

2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Azambuja, Rafael da Rosa

Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de painéis aglomerados / Rafael da Rosa Azambuja. – 2015
105 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Coorientadora: Profª. Drª. Rosilani Trianoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 24/02/2015.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Resíduos da madeira - Exploração. 2. Painéis de madeira. 3. Indústria de construção civil. 4. Chapa de madeira aglomerada. 5. Teses. I. Iwakiri, Setsuo. II. Trianoski, Rosilani. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

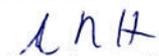
CDD – 674.836

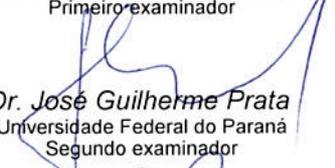
CDU – 634.0.832

PARECER

Defesa nº. 1083

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Rafael da Rosa Azambuja* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. Clovis Roberto Haselein
Universidade Federal de Santa Maria
Primeiro examinador


Dr. José Guilherme Prata
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Setsuo Iwakiri
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 24 de fevereiro de 2015.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

A ciência e o mundo são cheios de questões,
mas com essa pesquisa uma resposta foi obtida:
sem tua ajuda nada disso seria possível,
a ti dedico essa pesquisa,
Ângela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Capes por investir em mim, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por acreditar em mim e ao meu orientador Prof. Dr. Setsuo Iwakiri por confiar em mim.

As empresas Berneck SA e a Zanoncini Comércio e Transporte de Resíduos de Madeira LTDA, pela disponibilidade de material, pois a crença da empresa privada na pesquisa é o que move a tecnologia.

Aos meus antigos professores Elio José Santini e Clóvis Haselein, pois o futuro a ninguém pertence mas o passado sempre será lembrado, agradeço por ensinar meu ofício.

Aos meus colegas de laboratório Barbara, Gisele, Lucas, Narciso, Roberto e Thiago pelos ensinamentos compartilhados, ao funcionário “Seu” Ademir pela força, e a minha co-orientadora Prof. Dr. Rosilani Trianoski que me ensinou muito mais do que eu queria aprender.

À aquele que mesmo não sendo meu orientador, nem mesmo meu co-orientador muito me ajudou nessa pesquisa, Vinicius Castro, meu co-coorientador.

Aos professores do programa que tanto me ajudaram, seja em cadeiras, pesquisas, ou mesmo no futebol, se mostrando como exemplos da profissão ou como amigos: Carlos Parchen, João Garzel, Jorge Matos, Marcio Pereira da Rocha, Guilherme Prata, Ricardo Klitzke e Romano Timofeiczuk Jr.

Aos meus colegas da pós-graduação: Claudio, Douglas, Elder, Ipatinga, Pedro C, Pedro L, Ramiro, Thaís, e Zatt, foi divertido.

Aos funcionários da universidade, David, Gilberto, Mari, Reinaldo e Vitor, pois mesmo vendo muitos estudantes iguais a mim no decorrer dos anos, ainda conseguiram fazer eu me sentir incluso.

Aos meus amigos, Picinica, Giovani, Joao, Pioco, Germano, Cunha, Santiago, Pablo, Murcho, Jerigol, Dacas, Rodolfo, William, Luana, e Bruno, seja por uma cerveja trimensal ou uma conversa online, vocês fizeram parte desta pesquisa.

Por último, mas não menos importante aos meus familiares, Adolfo e Regina meus pais, Rodrigo e Vânia meus irmãos, e Isabela minha sobrinha e afilhada.

"Nós dois sabemos que a entropia não pode ser revertida.
Você não pode construir uma árvore de volta a partir de fumaça e cinza."

Isaac Asimov

RESUMO

A legislação brasileira classifica os resíduos sólidos de madeira, oriundos de obras de construção civil, como responsabilidade de quem os produzir, neste caso, toda construtora ou demolidora tem como obrigação destinar seus resíduos para reuso ou reciclagem. O objetivo desta pesquisa foi testar a possibilidade da utilização de resíduos de madeira (madeira sólida e produtos de madeira) para a produção de painéis aglomerados, uma vez que a madeira e seus derivados representam uma proporção considerável de resíduos gerados na construção civil. Os resíduos foram obtidos em uma recicladora de madeira, localizada na região metropolitana de Curitiba/PR, os quais foram segregados em MDF, aglomerado, compensado e madeira maciça. Para a produção dos painéis foram seguidas duas hipóteses: 1) a possibilidade da utilização dos resíduos de forma pura (100% do painel de resíduos); 2) avaliar a utilização desses resíduos como adicional em uma mistura com partículas industriais de *Pinus* (75% *Pinus* + 25% resíduos; 50% *Pinus* + 50% resíduos). Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,75g/cm³, a resina ureia formaldeído, e a prensagem foi realizada sob temperatura de 160°C e pressão específica de 40kgf/cm² por um período de 8 minutos. Para avaliação dos painéis foram testadas as suas propriedades físicas e mecânicas, baseados nas Normas EN e NBR. Os resultados destes testes foram comparados entre os tratamentos, a uma testemunha de *Pinus* sp. e aos requisitos mínimos exigidos pelas normas EN e NBR. Os resultados mostraram que a madeira presente nos resíduos de construção e demolição possuem potencial para serem utilizados na produção de painéis aglomerados. O resíduo de madeira maciça, dentre os painéis de resíduos puros (100% de resíduo) apresentou os melhores resultados. A melhor proporção foi 25% do resíduo de aglomerado e 75% de partículas de *Pinus*, seguido pelo resíduo de compensado na mesma proporção. As adições de 25 e 50% de resíduos apresentaram potencial para compor a camada interna de painéis MDP.

Palavras-chave: Painéis reconstituídos. Reaproveitamento de resíduos. Resíduos de madeira. Resíduo sólido urbano.

ABSTRACT

The Brazilian legislation classifies the construction and demolition wood waste as a responsibility of its producer, and those rejects must be reused or recycled. The objective of this research was to test the possibility of the use of this wood waste in production of particleboard, knowing that this material is a large portion of the construction and demolition waste. The residues were obtain in a wood recycler located in the metropolitan area of Curitiba/PR, in which the waste was classify as MDF, particleboard, plywood and solid wood. To the particleboard production, there were suggested two hypothesis: 1) the possibility of the use of the waste in fullness in the board (100% of the particleboard made of waste); 2) Waste used in addition to an industrial *Pinus* particles supply (75% *Pinus* + 25% waste; 50% *Pinus* + 50% waste). The particles of the *Pinus* sp., the resin and the paraffin were obtained from the company Berneck SA. The particleboards were produced with the density of 0.75g/cm³, resin used was urea formaldehyde, and the pressing was made at temperature of 160°C, specific pressure of 40kgf/cm², by a period of 8 minutes. To evaluate the particleboard there were tested its physical and mechanical properties, such as: density properties, moisture content, water absorption and thickness swelling, static bending, internal bond and screws withdraw (at the face and at the top), based on the EN and NBR Standards. The results of these tests were compare to the control treatment and with the respective norms of EN and NBR. The results showed that the solid wood waste can be used alone as a raw material for particleboard products. The best treatment with wood waste to be add to *Pinus* supply was 25% of particleboard waste, followed by the plywood waste at the same proportion. The addition of 25 and 50% of the residues shown potential to be used in internal layers of MDP.

Key words: Wood panels. Reuse of waste. Wood waste. Solid urban residues.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARANÁ.....	21
FIGURA 2 -	CONTROLE PÚBLICO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	22
FIGURA 3 -	CONTROLE PÚBLICO SOBRE OS RCD.....	23
FIGURA 4 -	FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA.....	27
FIGURA 5 -	EXEMPLOS DE DIFERENTES PAINÉIS RECONSTITUÍDOS.	28
FIGURA 6 -	CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA POR TAMANHO DE PARTICULA, MASSA ESPECÍFICA E PROCESSO DE FORMAÇÃO.....	29
FIGURA 7 -	PÁTIO DA EMPRESA ZANONCINI COMERCIO E TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE MADEIRA LTDA.....	44
FIGURA 8 -	RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSIFICADOS.....	44
FIGURA 9 -	MOAGEM DO MATERIAL NA EMPRESA.....	46
FIGURA 10 -	RESÍDUOS APÓS O PRIMEIRO PROCESSAMENTO MECÂNICO.....	47
FIGURA 11 -	PROCESSOS DE PREPARO DAS PARTÍCULAS EM ESCALA LABORATORIAL.....	48
FIGURA 12 -	PARTÍCULAS UTILIZADAS NA PESQUISA.....	49
FIGURA 13 -	MÉTODO DE OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA A GRANEL DAS PARTÍCULAS.....	51
FIGURA 14 -	ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	54
FIGURA 15 -	LAYOUT DE CORTE DOS PAINÉIS.....	56
FIGURA 16 -	ASPECTOS VISUAIS DOS PAINÉIS PRODUZIDOS E SEUS RESPECTIVOS GRUPOS.....	61
FIGURA 17 -	VALORES DE MOE DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	71
FIGURA 18 -	VALORES DE MOR DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	72
FIGURA 19 -	VALORES DE MOE DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	73
FIGURA 20 -	VALORES DE MOR DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	74
FIGURA 21 -	VALORES DE MOE DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	76
FIGURA 22 -	VALORES DE MOR DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	76
FIGURA 23 -	VALORES DE LI DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	80

FIGURA 24 -	VALORES DE LI DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	82
FIGURA 25 -	VALORES DE LI DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	83
FIGURA 26 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFICIE DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	87
FIGURA 27 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	87
FIGURA 28 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFICIE DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	89
FIGURA 29 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	89
FIGURA 30 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFICIE DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	91
FIGURA 31 -	VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA.....	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	REQUERIMENTOS PARA PAINÉIS DE INTERIORES (INCLUINDO MÓVEIS) PARA USO EM CONDIÇÕES SECAS	42
TABELA 2 -	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA PESQUISA.....	52
TABELA 3 -	VALORES MÉDIOS DAS MASSAS ESPECÍFICAS A GRANEL DAS PARTÍCULAS.....	57
TABELA 4 -	RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS.....	59
TABELA 5 -	PROPRIEDADES DA RESINA.....	60
TABELA 6 -	VALORES MÉDIOS DAS MASSAS ESPECÍFICAS DOS PAINÉIS MANUFATURADOS.....	62
TABELA 7 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 1, TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA..	64
TABELA 8 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 2, ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	65
TABELA 9 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	66
TABELA 10 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 1 - TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	70
TABELA 11 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	72
TABELA 12 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	75
TABELA 13 -	VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 1 – TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	80
TABELA 14 -	VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	81

TABELA 15 -	VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA	83
TABELA 16 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 1 – TRATAMENTOS PUROS, COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	86
TABELA 17 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	88
TABELA 18 -	VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA.....	90
TABELA 19 -	RESULTADOS FÍSICO E MECANICOS DOS TRATAMENTOS COMPARADOS COM SUAS RESPECTIVAS NORMAS E TESTEMUNHA.....	94

LISTA DE SIGLAS

AA	- Absorção de Água
ABIMCI	- Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	- Associação Brasileira de Industrias de Painéis de Madeira
ABRAF	- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ABRELPE	- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANCOVA	- Análise de Covariância
ANOVA	- Análise de Variância
APS	- Arrancamento de Parafuso na Superfície
APT	- Arrancamento de Parafuso no Topo
AS'	- Área Superficial
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
EN	- European Standards
IBDF	- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	- Inchamento em Espessura
IEz	- Índice de Esbeltez
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LI	- Ligação Interna
LSL	- Laminated Strand Lumber
LVL	- Laminated Veneer Lumber
MDF	- Medium Density Fiberboard
MDP	- Medium Density Particleboard

MOE	- Módulo de Elasticidade
MOR	- Módulo de Ruptura
MRS	- Municípios da Região Sul
OSB	- Oriented Strand Board
PSL	- Parallel Strand Lumber
RCD	- Resíduo de Construção e Demolição
RP	- Razão de Compactação
RSU	- Resíduo Sólido Urbano
SINDUSCON	- Sindicato da Indústria da Construção Civil
TU	- Teor de Umidade
US\$	- Dólar
UV	- Ultra Violeta

LISTA DE ABREVIATURAS

AGLO	- Aglomerado
COM	- Compensado
MAD	- Madeira Maciça

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 RESOLUÇÕES DO CONAMA	19
3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	19
3.2.1 Resíduos sólidos de construção e demolição (RCD)	23
3.2.2 Madeira nos resíduos sólidos de construção e demolição	24
3.3 MADEIRA	25
3.4 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA.....	27
3.4.1 Painéis compensados	29
3.4.2 Painéis MDF	31
3.4.3 Painéis aglomerados.....	32
3.5 VARIÁVEIS INERENTES A PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS.....	33
3.5.1 pH.....	33
3.5.2 Massa específica da madeira e dos painéis.....	34
3.5.3 Geometria das partículas	35
3.5.4 Teor de umidade das partículas	36
3.5.5 Extrativos e contaminantes	37
3.5.6 Tipo e quantidade de adesivo	38
3.5.7 Aditivo.....	39
3.5.8 Parâmetros de prensagem	39
3.6 REQUISITOS NORMATIVOS PARA PAINÉIS AGLOMERADOS	41
4 MATERIAL E MÉTODOS	43
4.1 MATÉRIA PRIMA	43
4.1.1 Caracterização e coleta dos materiais.....	43
4.1.2 Preparo das partículas	45
4.1.3 Geometria e massa específica a granel das partículas.....	49
4.1.4 Propriedades da parafina e resina	51
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	52

4.3 PRODUÇÃO DE PAINÉIS EXPERIMENTAIS.....	53
4.4 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS	54
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 PROPRIEDADES DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS	57
5.1.1 Partículas	57
5.1.2 Resina	60
5.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS	61
5.2.1 Propriedades físicas dos painéis.....	62
5.2.1.1 Massa específica aparente.....	62
5.2.1.2 Absorção de água e inchamento em espessura	64
5.2.2 Propriedades mecânicas dos painéis.....	70
5.2.2.1 Flexão estática	70
5.2.2.2 Ligação Interna.....	79
5.2.2.3 Arrancamento de parafuso	85
5.2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6 CONCLUSÕES.....	95
7 RECOMENDAÇÕES.....	96
REFERÊNCIAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a quantidade de Resíduo Sólido Urbano (RSU) produzido somente no ano de 2013 foi próximo de 76 milhões de toneladas, valores 4,1% maiores que o ano de 2012. Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) representam uma considerável parte do total desses RSU. A coleta desse material ainda está sendo implementada, mas somente no ano de 2013, foram coletadas 77,5mil toneladas/dia de RCD na região Sul e Sudeste (ABRELPE, 2013).

A legislação vigente no Brasil, desde 2002, delega uma cadeia de responsabilidades que os geradores de RCD devem obedecer, como a regulamentação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Nesse plano estão previstas, prioritariamente, a redução dos RCD (que inclui a madeira), e aos resíduos restantes a reutilização ou reciclagem. Para completar essas ações os componentes do resíduo devem ser triados e classificados quanto a sua contaminação por materiais danosos ao meio ambiente (como tintas, desmoldantes e tratamentos de madeira), o que impediria qualquer possibilidade de reuso. A madeira, papel/papelão, metais e vidros, se encontram na classificação de materiais que devem ser reutilizados ou reciclados, e em último caso destinados a uma área temporária à espera das ações prescritas.

A madeira é um material com um baixo consumo energético de produção, de natureza complexa, multicomponente, higroscópico, anisotrópico, heterogêneo, descontínuo, fibroso, poroso, biodegradável e renovável (LILGE, 2009). E por apresentar essas características a madeira, é uma matéria prima com grande potencial de uso e com inúmeras possibilidades. A madeira pode ser considerada um material de vida útil duradora, e existem muitos casos em que madeiras nobres, recebem mais que uma finalidade, por exemplo, casos em que portas que foram modificadas para servirem de mesas, armários adaptados a móveis menores, entre outros. Apesar disso, as principais limitações ao uso da madeira, referentes as propriedades físicas, podem ser amenizadas com produção de painéis reconstituídos, e outra limitação são referentes as propriedades químicas, representadas pela degradação da madeira (responsável pelo apodrecimento e por alterar resistências), que pode ser reduzida mas nunca interrompida.

Os painéis reconstituídos de madeira representam um mercado em ascensão, recebendo investimentos na casa dos bilhões de dólares no Brasil no ano de 2014 (ABIPA, 2014a). Esse produto, painéis reconstituídos, são muito propícios para o setor florestal, pois a sua matéria prima (madeira) pode se adaptar a um sistema de plantio voltado para uma maior eficiência por unidade de área (menor espaçamento). Essa adaptação é possível pois painéis reconstituídos, podem ter suas propriedades manejadas (de acordo com a finalidade) nas operações de produção.

A reciclagem de RCD já é uma prática comum em países da Europa, sendo que na década de 90 já existiam registros que mostram que 45% de todo o RCD do Reino Unido era reciclado, chegando a 87% e 90% na Bélgica e Holanda, respectivamente. A legislação atual da União Europeia indica, como meta para o ano de 2020, que 70% dos resíduos não tóxicos sejam reciclados, reutilizados ou recuperados (SAEZ, 2011). Nos EUA, muitos são os incentivos para a redução de material que é destinado a aterros, exemplos são as cidades de Portland (OR) e Austin (TX) que exigem metas de reciclagem de 75% e 90%, respectivamente, dos RCD (LAQUATRA; PIERCE, 2014).

É importante então, buscar alternativas para reutilizar/reciclar esses resíduos, e além disso, despertar o interesse do setor madeireiro para a possibilidade de maior reaproveitamento. Fazendo uma analogia com Brooks (1988), o mercado de madeira deve evoluir como um gás em um recipiente vazio, em direção áreas não exploradas, preenchendo nichos ainda vazios.

Assim, a reciclagem de resíduos de madeira é uma questão de tempo no Brasil, e uma das maiores fontes é proveniente da construção civil e da demolição.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a viabilidade do uso de resíduos de madeira da construção civil e demolição como matéria prima para a produção de painéis aglomerados.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- 1) Avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com os resíduos.
- 2) Avaliar a possibilidade da adição desses resíduos misturados a partículas industriais da madeira de *Pinus* sp. em diferentes proporções.
- 3) Comparar os resultados obtidos nos diferentes tratamentos, puros ou misturados, com as diretrizes normativas EN e NBR.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESOLUÇÕES DO CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução 307/2002 (alteradas pelas Resoluções nº 348/04, nº 431/11, nº 448/12), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos de construção civil. Através dela, os órgãos públicos municipais e as empresas construtoras passam a ter definidas responsabilidades quanto ao tratamento e destinação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), por meio dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

A diretriz fundamental é reduzir ao máximo a geração de resíduo, porém, isso é impraticável, tendo em vista que o RCD é responsável por 50% da massa de todo resíduo sólido urbano produzido (PINTO, 1999; JOHN, 2000). O CONAMA (2002), antevendo esse excedente, demanda que os resíduos que não são contaminados devam ser reutilizados ou reciclados e, caso isso não for possível, que o resíduo seja encaminhado para armazenamento temporário, até que as ações descritas sejam possíveis.

O RCD é classificado em quatro classes pelo CONAMA nº 307, sendo que a classe B consiste de resíduos que devem ser reciclados para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e entre outros.

3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O saneamento básico é responsável pelas seguintes atividades no âmbito nacional: abastecimento de água; esgotamento sanitário; limpeza urbana; e manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2007). Os RCD enquadram-se nesta categoria e são classificados como um tipo de resíduo sólido especial e como tal, é de responsabilidade dos municípios, como uma questão de saneamento básico. De acordo com a Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), que

estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos são:

(...) conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas (BRASIL, 2007).

Destes resíduos especiais também fazem parte os agrotóxicos, lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, pneumáticos, resíduos de serviços de saúde, assim como os resíduos industriais (IBGE, 2010).

Calcula-se que a quantidade de resíduo sólido total, domiciliar e público, coletados em 2008 na região Sul foi de 37.342 t/dia em um total de 183.488 t/dia em todo o Brasil. Além disso, a geração de resíduo total no Brasil aumentou 58.207 t/dia entre os anos de 2000 e 2008 (IBGE, 2008). Esse crescimento de volume dos resíduos sólidos merece atenção dos gestores municipais, que devem adaptar tecnologias para a adequação da destinação final deste resíduo, tendo em vista que, o manejo inadequado deste material pode gerar impactos sociais, ambientais e econômicos negativos nas cidades (IBGE, 2010).

Na Figura 1, estão destacados os volumes de resíduos sólidos coletados por dia, assim como seus destinos, relacionados espacialmente com a densidade habitacional no estado do Paraná.

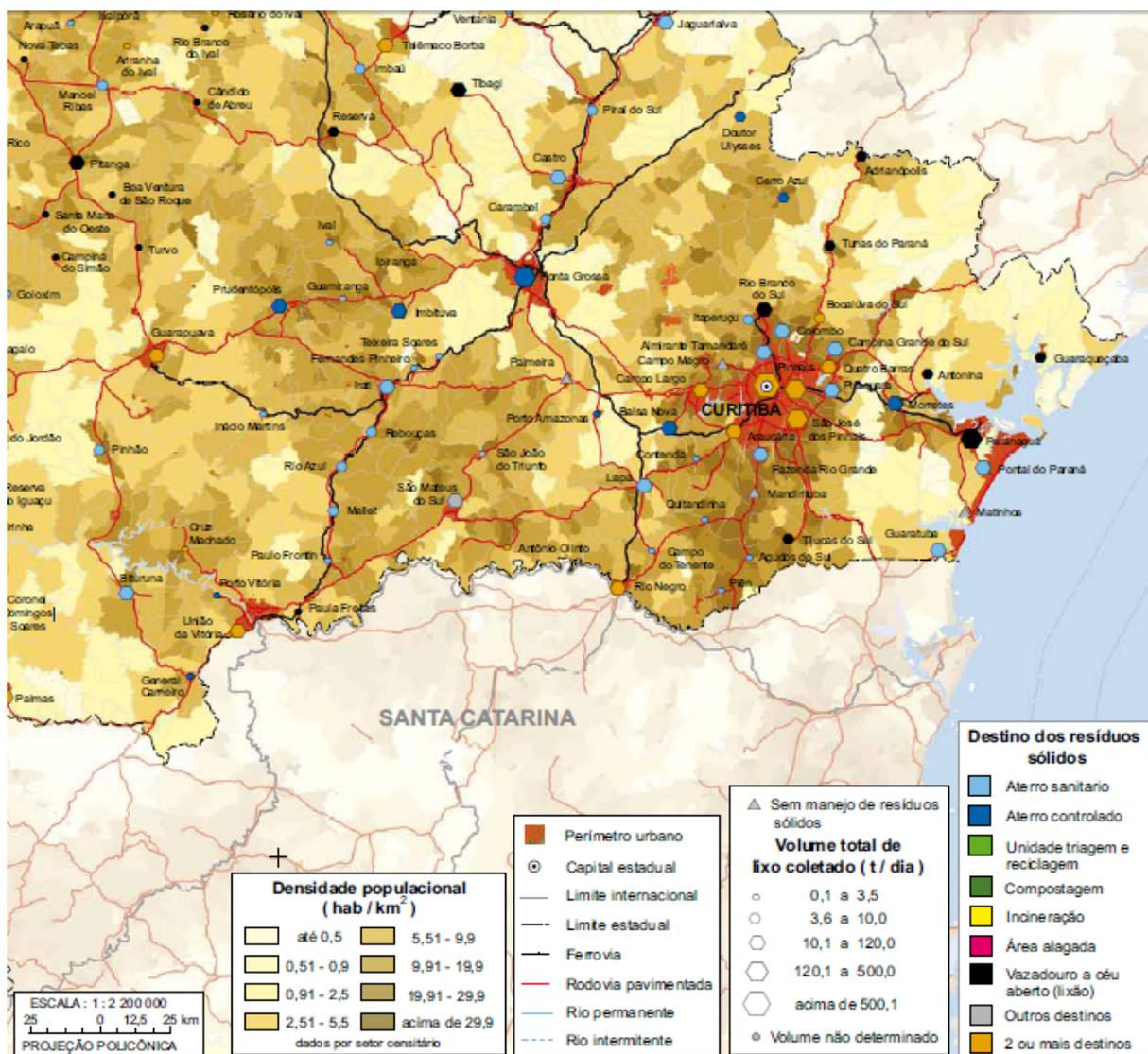


FIGURA 1 - MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARANÁ
FONTE: IBGE (2011)

Uma das soluções mais viáveis para a redução do volume de material eliminado, e, conseqüentemente, a disposição inadequada dos resíduos sólidos, é a coleta seletiva. Este hábito vem se expandindo no país, tendo passado de 8,2% dos municípios, no ano 2000, para 17,9%, em 2008, sobretudo nos municípios das Regiões Sul e Sudeste (IBGE, 2010).

O controle público dos municípios sobre os resíduos especiais é outro aspecto importante. Na Figura 2, estão destacados os municípios que apresentaram coleta seletiva do RCD no Brasil.

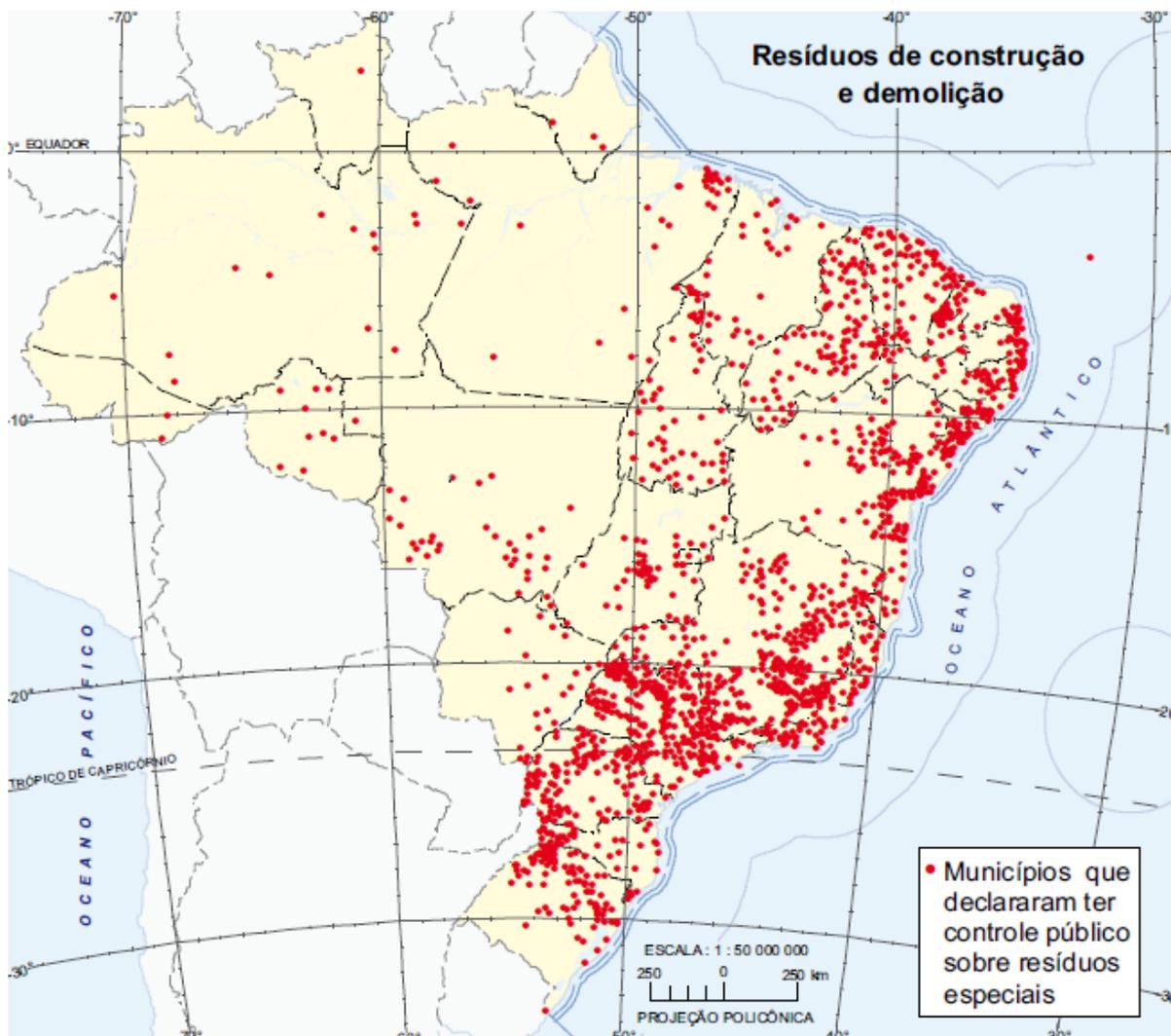


FIGURA 2 - CONTROLE PÚBLICO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS
 FONTE: IBGE (2010)

O controle público sobre os RCD está mais concentrado nos municípios das regiões Sul, Sudeste e Nordeste, e um número menor das regiões Centro-Oeste e Norte. Nesse sentido, as regiões que já praticam a seleção de resíduos especiais (Sul, Sudeste e Nordeste), tornam-se pontos promissores para instalação de indústrias que beneficiem a madeira presente nos RCD, devido aos sistemas de triagem e coleta dos resíduos já estabelecidos (IBGE, 2010).

Na Figura 3, estão apresentadas as entidades responsáveis pelo controle dos RCD dos municípios da região Sul.

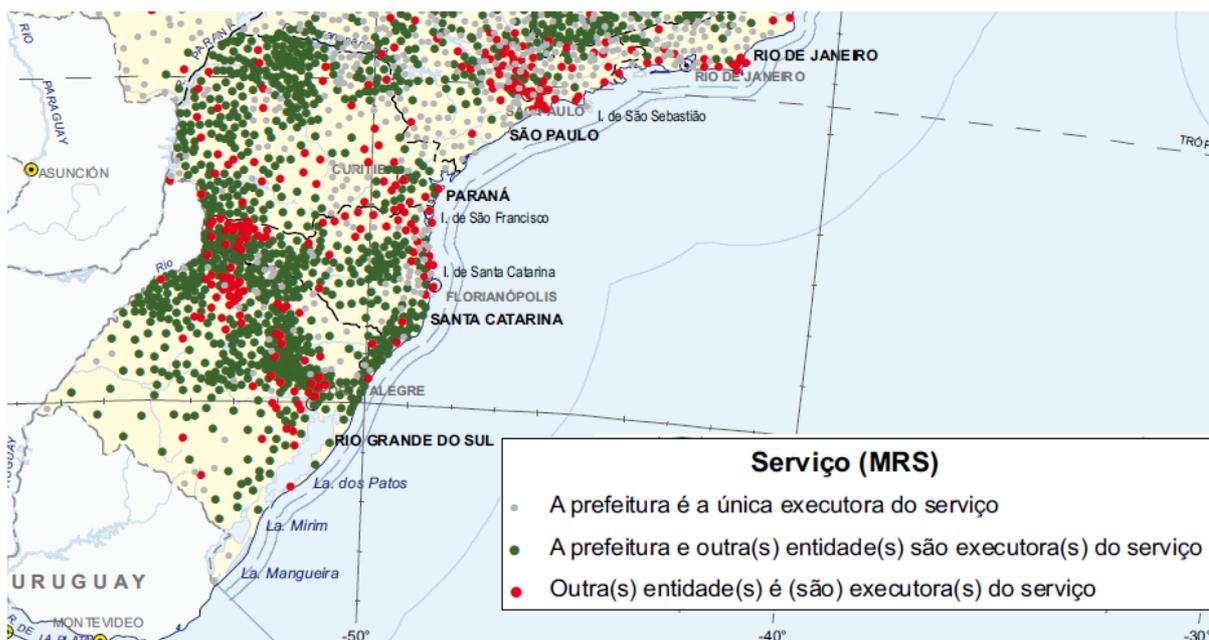


FIGURA 3 - CONTROLE PÚBLICO SOBRE OS RCD
 FONTE: IBGE (2010)

Segundo dados do IBGE (2010), na maioria dos municípios brasileiros, a execução do serviço de manejo de resíduos sólidos ocorreu exclusivamente através de ações da prefeitura e órgãos competentes da administração, sem participação do setor privado. A mesma base de dados relata a exceção desse comportamento na região Sul, onde apenas 12% dos municípios foram responsáveis exclusivamente pelos serviços de manejo de resíduos sólidos. Essa estatística comprova que existem interesses privados na coleta desses resíduos, o que justifica um interesse econômico desse manejo de resíduos.

3.2.1 Resíduos sólidos de construção e demolição (RCD)

Os resíduos da construção civil, quando não descartados corretamente, representam um grande problema ambiental, especialmente se há disposição inadequada em córregos, terrenos baldios e beira de estradas. Nas cidades de médio e grande portes no Brasil, esses RCD constituem mais de 50% da massa dos resíduos urbanos. Estudos realizados em alguns municípios apontam que os resíduos da construção formal têm uma participação entre 15% e 30% na massa dos resíduos da construção e demolição, e 75% provêm de eventos informais, obras de construção, reformas e demolições, realizadas, em geral, pelos próprios usuários dos imóveis (SINDUSCON, 2005).

Dados sobre limpeza urbana apontam que são coletadas cerca de 300 toneladas/dia na varrição de vias públicas, 95 toneladas/dia de resíduos de serviços de saúde, e 4.000 toneladas/dia de RCD (JACOBI; BESEN, 2014). A quantidade de resíduo de construção civil é considerada superior, em massa, que a quantidade de lixo doméstico (MORAIS, 2006). Neste sentido, Bidone (2001) indicou que, para cada tonelada de lixo urbano recolhida, cerca de duas toneladas de resíduo de construção e demolição são geradas.

3.2.2 Madeira nos resíduos sólidos de construção e demolição

As quantidades de resíduos sólidos de construção civil variam muito dependendo da região (DANTAS, 2011). Portanto, um país com dimensões continentais como o Brasil tende a apresentar uma grande variação, tanto cultural quanto na metodologia empregada nas construções, o que altera também as quantidades de madeira, assim como outros materiais utilizados na construção civil.

Lange *et al.* (2002) realizaram um levantamento para classificar e estimar a taxa média de geração de RSU da cidade de Catas Altas - MG, onde o total encontrado foi de 1250 kg/dia e, 3% do peso mencionado, caracterizava-se por resíduos de madeira. Da mesma forma, Medeiros *et al.* (2002) fizeram um levantamento para classificar e estimar a taxa média de geração de resíduo sólido urbano da cidade de Capoeiras e São João, bairros de classe média de Florianópolis, SC, onde encontraram um total de 2,01% de madeira em relação ao peso.

Dados interessantes foram apontados por Marques *et al.* (2013), os quais realizaram um levantamento dos resíduos em uma obra única, no caso a construção de uma habitação de pequeno porte, onde observaram também que os resíduos de madeira representavam 6% do peso total dos resíduos.

A quantidade de resíduo de madeira, que é englobada pelos RCD, aparentemente pode parecer baixa em porcentagem, mas levando em conta o alto volume de resíduo que é produzido, a quantidade de madeira é considerável. Um exemplo a ser tomado é quanto à pesquisa de Marques *et al.* (2013), na qual os autores afirmam que foi gerado 79kg de resíduo de madeira para uma unidade habitacional (87,97m²), assim, pode se assumir que, para cada m² de construção, são gerados 0,9kg de resíduo de madeira.

3.3 MADEIRA

Segundo Martinez *et al.* (2005) mais da metade do consumo mundial de madeira é para geração de energia, restando assim, apenas metade para a produção de polpa e papel, materiais de construção e todas as outras utilidades. Apesar da predominância de um único mercado, levantamentos mostram crescimento do setor florestal, como relatado pelo Anuário ABRAF (2013), que aponta que o total de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil, em 2012, foi de 6.664.812 ha, um aumento considerável de 1.032.732 ha em relação ao ano de 2006.

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de madeira e, apesar disso, o país sofre de uma manifestada resistência ao seu uso, principalmente com finalidade estrutural. Essa resistência é baseada no mito de que a madeira é relacionada a algo antiquado, anacrônico, frágil, não resistente a fogo, desprovido de recursos tecnológicos de ponta e de um custo superestimado (LAHR *et al.*, 2013). Porém, os mesmos autores afirmam que estes são posicionamentos de quem desconhece as tecnologias que envolvem a madeira, e proliferam a imagem negativa dessa matéria prima no Brasil.

Para erradicar o preconceito com o uso de produtos de madeira, o esclarecimento de suas propriedades se faz necessário. A madeira é um material formado pelos tecidos vegetais lenhosos que tem como função de sustentação (parede celular). Quando ocorre a divisão celular, a primeira membrana de separação entre um novo par de células é a lamela média, cuja função é unir células umas às outras. Com a maturidade da célula ocorre o acúmulo de microfibrilas de celulose nessa membrana, provenientes do interior da célula, formando uma trama irregular com grande elasticidade que constitui a parede primária. Generalizando, a parede celular é composta por celulose como um componente estrutural, e componentes subestruturais, a hemicelulose e a lignina (BURGER; RICHTER, 1991).

As substâncias orgânicas que compõem a madeira podem ser classificadas como componentes da parede celular e como extrativos (LIMA, 2009). Os elementos da parede celular, celulose, hemiceluloses e lignina, são responsáveis pelas propriedades físicas da madeira (BODIG; JAYNE, 1993).

A celulose é o principal constituinte estrutural da parede celular das plantas compondo 40 a 45% da matéria seca da maioria das madeiras, predominantemente localizada na parede secundária (SJÖSTRÖM, 1993). É um polímero longo e condensado constituído de cadeias lineares e rígidas que promovem a estabilidade mecânica da parede celular. Os feixes de moléculas da celulose se agregam formando microfibrilas, as quais formam uma estrutura de alta resistência a tração e que é insolúvel a maioria dos solventes (HAIGLER, 1985; KLOCK *et al.*, 2005).

As hemiceluloses são a mistura de polímeros de hexoses, pentoses e ácidos urônicos, que podem ser amorfos de baixo peso molecular, constituídos de uma cadeia central com repetidas cadeias laterais e ramificações (HAIGLER, 1985; ROWELL *et al.*, 2005). Estas constituem aproximadamente de 20 a 30% do peso da madeira seca (SJÖSTRÖM, 1993). As hemiceluloses não possuem necessariamente sempre a mesma constituição química, sendo essa dependente da origem (espécie) (CARVALHO, 1996).

A lignina é uma macromolécula estruturada por ligações cruzadas que formam um polímero amorfo com grande caráter aromático (GLASSER, 1994). A lignina é, em parte, responsável pelas resistências mecânicas das madeiras (WARDROP, 1971). A quantidade média de lignina presente na madeira costuma variar muito, em coníferas de 26 a 32%, em folhosas 20 a 25% e em madeiras tropicais excede a porcentagem de 30% do peso da madeira seca (SJÖSTRÖM, 1993). Por conter grupos cromóforos com anéis aromáticos conjugados e grupos carbonilo (SCHALLER; ROGEZ, 2007), a lignina sofre interação com radiação UV que agindo com oxigênio é principal responsável pela oxidação da madeira, enquanto a interação da celulose e da hemicelulose é mínima (SANTOS, 2013).

A exposição da madeira à intempérie climáticos, como sol e a chuva, provocam alterações nas propriedades químicas da lignina, destruindo pouco a pouco a sua cadeia polimérica e, provocando assim, alterações nas propriedades físicas e mecânicas da estrutura de madeira. Observa-se, que esta exposição aumenta a sensibilidade da madeira a água, a qual, conseqüentemente, pode acarretar no surgimento de fissuras na camada superficial da madeira (SCHALLER; ROGEZ, 2007; SANTOS, 2013).

A madeira possui uma boa gama de utilizações no mercado, e na Figura 4 estão apresentadas diferentes formas de sua utilização. As toras e tábuas não são as únicas maneiras de se empregar essa matéria prima, a madeira também pode ser

desfibrada. A operação de desfibramento consiste na desagregação, através de atrito, das fibras da madeira que então são ligadas por adesão com ajuda de resinas ou adesivos (ELEOTÉRIO, 2000).

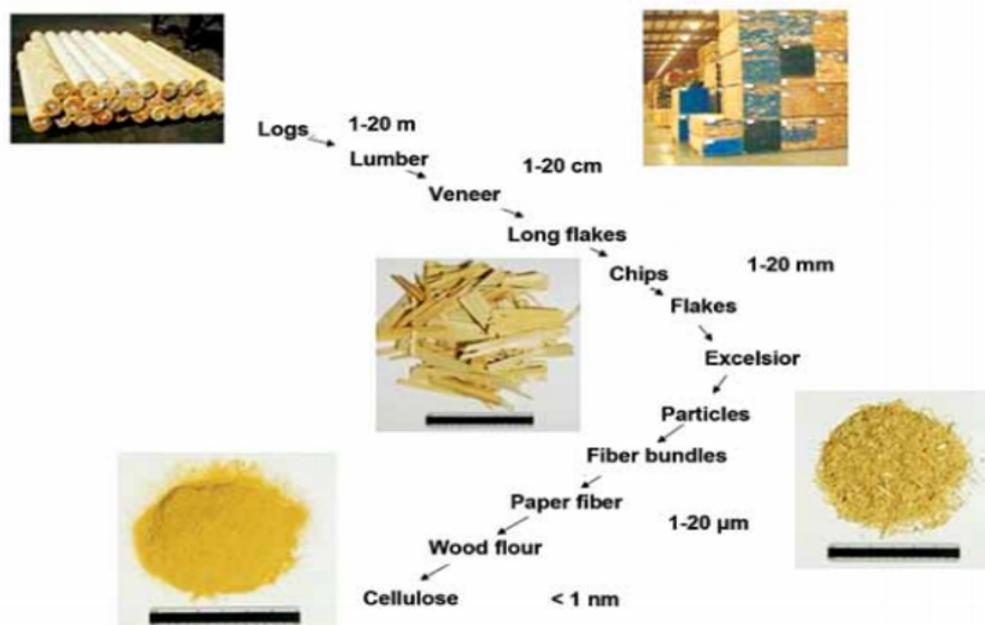


FIGURA 4 - FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA

NOTA: De cima para baixo: tora; tábua; lâmina; partículas longas; aparas de madeira; flocos de madeira; partículas excelsior; partículas de madeira; feixes de fibras; fibra de papel; farinha de madeira; e celulose.

FONTE: Kretschmann *et al.* (2007)

3.4 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA

O mercado de painéis de madeira reconstituída no Brasil se apresenta como um mercado emergente, a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2014a), afirma que, aproximadamente, US\$ 1,2 bilhões serão investidos nos próximos anos, possibilitando para o ano de 2014 a capacidade nominal de produção de 10,9 milhões de metros cúbicos. Essa produção é responsável por cerca de 30 mil empregos, diretos e indiretos.

Diversos elementos de madeira podem servir de fonte para produção de novos produtos através da reconstituição, assim como podem ser manejando os processos de produção para adequar as propriedades da madeira às finalidades do produto. Esses elementos citados podem ser das mais variadas fontes: tábuas,

sarrafos, flocos, partículas, fibras, enfim, qualquer redução de madeira sólida que possa ser reconstituída com ligação adesiva (IWAKIRI, 2005a). Uma apresentação dessas possibilidades é apresentada no Wood Handbook (2010), na Figura 5.

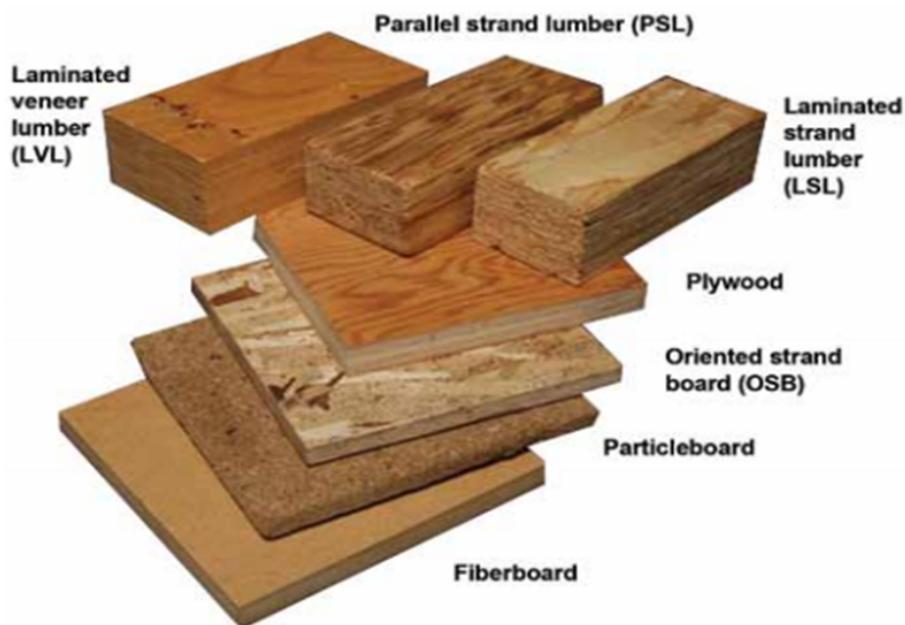


FIGURA 5 - EXEMPLOS DE DIFERENTES PAINÉIS RECONSTITUÍDOS

NOTA: No sentido horário: painel LVL; painel PSL; painel LSL; painel compensado; painel OSB; painel aglomerado; e painel de fibras.

FONTE: Wood Handbook (2010)

Na Figura 6, verifica-se a classificação dos painéis reconstituídos de acordo com a massa específica básica, a matéria prima e o processo. A figura apresenta a possibilidade da utilização dos painéis enquanto ainda houver a opção de redução do tamanho das partículas, por exemplo, compensados e painéis OSB podem ser reduzidos para gerar partículas para a matéria prima de um painel aglomerado.

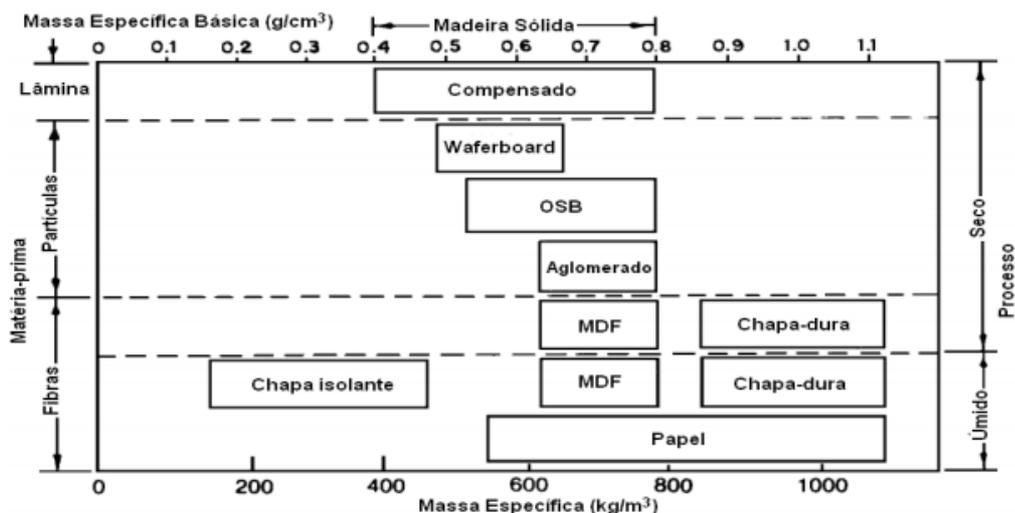


FIGURA 6 - CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA POR TAMANHO DE PARTICULA, MASSA ESPECÍFICA E PROCESSO DE FORMAÇÃO
 FONTE: Adaptado de Suchsland And Woodson (1986)

O Brasil está entre os países com tecnologia mais avançada para a produção de painéis de madeira reconstituída, com investimentos contínuos em automação e em expansão de linhas (ABIPA, 2014a). Esses investimentos, no desenvolvimento tecnológico do setor de painéis, têm contribuído para o surgimento e introdução de novos produtos no mercado, atendendo, assim, uma demanda cada vez mais especializada e exigente (ZENID *et al.*, 2004).

As principais finalidades dadas aos painéis reconstituídos são nos segmentos de construção civil e de móveis. Cada segmento citado utiliza painéis de acordo com suas necessidades, tirando vantagem das amplas características de painéis de madeira, que atende as mais variadas demandas físicas e mecânicas (ABIPA, 2014a).

3.4.1 Painéis compensados

Painéis compensados são produtos de valor relativamente aceitável e portador de uma resistência considerável se comparada ao seu baixo peso (IVANOV, 2008). Com a intenção de melhor distribuir as resistências dentro de um painel compensado, as lâminas que o compõem são cruzadas na sua direção de grã (SELLERS Jr., 1985). Devido as orientações das lâminas, é atribuída a nomenclatura de compensado, pois as resistências de uma camada são compensadas pelas suas camadas adjacentes.

Quanto aos requisitos técnicos, o compensado deve apresentar simetria estrutural ao seu plano central, assim, as lâminas opostas e equidistantes a este plano devem apresentar tanto propriedades físicas como dimensões e orientação de grã semelhantes. Dessa forma, indica-se a utilização de camadas ímpares para um compensado bem balanceado (BODIG; JAYNE, 1982, *apud* PALMA, 1994).

As aplicações dos painéis compensados atendem uma demanda diversificada que se mostra fortemente segmentada entre construção civil, indústria moveleira, embalagens, entre outros segmentos (ABIMCI, 2014).

Atribuições dos compensados estão diretamente ligadas as propriedades de suas lâminas e, segundo o Wood Handbook (2010), algumas das finalidades encontradas para os painéis compensados são: formas, andaimes, enquadramentos, bainhas, pisos, moldagem, postes, estacas, painéis, armários, móveis, pianos, aeronaves, entre outras.

No Brasil, existem normas que definem e classificam grupos de painéis laminados, e o compensado está inserido nesta classificação. De acordo com Tomaselli (1988) e IBDF (1985), citados por Delespinasse (1995), o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) classifica os compensados em:

- Compensado de uso geral: painel de madeira compensada multilaminada, com adesivo limitado a uso interno. Utilizado na indústria moveleira;
- Forma de concreto: painel de madeira compensada multilaminada, com adesivo resistente a água. Utilizado na construção civil;
- Compensado decorativo: painel de madeira com uma camada superficial de um material decorativo padronizado, podem ser lâminas de madeira, pintura, papel de acabamento, filme melamínico, entre outros;
- Compensado industrial: apresenta possibilidades amplas de aplicação, é muito empregado na produção de embalagens. Não possui restrições em termos de aparência nem quanto ao adesivo empregado, dependendo da finalidade.
- Compensado naval: são painéis classificadas como de uso exterior, com alta resistência mecânica e alta exigência em sua qualidade. Destina-se a aplicações de exposição extrema como, por exemplo, a construção naval.

3.4.2 Painéis MDF

Os painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) são um dos tipos de painéis de fibras, que incluem também chapas duras, painéis isolantes e de celulose. Muitas são as diferenças entre painéis de partículas e de fibras, a principal e mais básica distinção diz respeito à configuração física dos elementos da madeira que compõem os painéis. A madeira é um material fibroso por natureza, dessa forma os painéis de fibra baseiam-se em explorar a resistência mais fundamental da madeira (WOOD HANDBOOK, 2010).

Para se obter as fibras a madeira precisa ser desfibrada, e nesse processo normalmente utiliza-se um torno de discos com ranhuras radiais que reduz a madeira a fibras ou feixe de fibras, com ajuda ou não de vapor pressurizado (ELEOTÉRIO, 2000). A produção de painéis de fibras pode ocorrer de duas formas, processo seco e processo úmido. O MDF é um painel de fibras produzido através processo seco, onde as fibras são reestruturadas através de adesão por um agente resinado e enrijecido por prensagens em altas temperaturas, processo muito similar ao de produção de MDP (*Medium density particleboard*) (WOOD HANDBOOK, 2010). Essa massa específica “média” que designa o nome desses painéis é em torno de 0,5 a 0,8 g/cm³ (IWAKIRI, 2005a).

A matéria prima fonte para o MDF pode ser madeiras de resíduos do processamento, tais como: costaneiras, pontas, aparas, rolo resto da laminação, além de resíduos da exploração florestal (BARBOSA, 2010).

O MDF é muito utilizado no segmento de móveis, pois possui a capacidade de usinagem, resultando assim em um produto com melhor acabamento e maior valor de mercado. É especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas. Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta. Na construção civil é utilizado em rodapés, portas, divisórias e em peças torneadas (ABIPA, 2014b).

Zenid (2009) afirma que painéis MDF também podem ser usados em moveis e na construção civil, como portas de armário, frentes de gavetas, tampos de mesa, molduras, pisos e outras aplicações. No mercado essas chapas são comercializadas

em três versões: natural; revestida com laminado melamínico de baixa pressão (BP); e revestida com película celulósica do tipo *Finish Foil* (FF) (ZENID, 2009).

3.4.3 Painéis aglomerados

Painel aglomerado é um produto madeira, produzido reduzindo mecanicamente a madeira em pequenas partículas, as quais são aplicados adesivo. Essa mistura então é consolidada por temperatura e pressão, formando assim o produto final, um painel aglomerado (WOOD HANDBOOK, 2010).

A possibilidade de utilização de partículas em painéis não é apenas mais conveniente em alguns casos, mas também é justificada pelas propriedades do produto final. Como exemplo, se comparados com madeira serrada e compensados o aglomerado tem as seguintes vantagens, conforme Iwakiri (2005a):

- Elimina os defeitos de anisotropia;
- Elimina fatores de resistência, como nós, grã irregular, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- Possibilidade de manipulação das propriedades físico mecânicas dos painéis através de controles de processo de produção, como resina, geometria da partícula, grau de densificação, entre outros;
- Exigências menores quanto a matéria prima em termos de diâmetro, forma de fuste, defeitos, entre outros;
- Menor custo de produção que a madeira serrada e compensados, quanto a qualidade da madeira e da mão de obra painéis reconstituídos.

Os painéis aglomerados utilizam muitas fontes de matéria prima, no mundo, são empregados: madeiras provenientes de florestas plantadas; resíduos da exploração florestal; madeiras de qualidade inferior, não-industrializáveis de outra forma; resíduos industriais de madeira; e reciclagem de madeira sem serventia. No Brasil, a principal fonte de matéria prima é a madeira de florestas plantadas, especialmente, de eucalipto e de pinus (MATTOS, 2008).

Painéis aglomerados são amplamente utilizados pela indústria de móveis, construção civil, embalagens, mas por não apresentar resistência à umidade ou à água, o painel aglomerado deve ser utilizado em ambientes internos e secos, para que suas propriedades originais não se alterem (ZENID, 2009).

3.5 VARIÁVEIS INERENTES A PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

As propriedades da madeira estão intrinsicamente relacionadas às propriedades dos produtos obtidos a partir desta, como os painéis aglomerados. Dentre as propriedades da madeira que afetam as propriedades dos painéis aglomerados podemos citar: espécie, massa específica, geometria das partículas, teor de umidade, pH e extrativos (IWAKIRI, 2005a).

As variáveis da matéria prima interferem no produto final, assim como os fatores do processo produtivo dos painéis. Destes fatores podemos citar como principais: massa específica do painel, tipo e quantidade de adesivo, método de formação de colchão, e parâmetros de prensagem (MALONEY, 1993).

As etapas que compõem o processo produtivo de painéis de madeira aglomerada são: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação da resina e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (IWAKIRI, 2005a).

3.5.1 pH

Cada espécie produz um tipo diferente de matéria-prima, pois interagem com todas as outras variáveis no processo de produção de painéis (MALONEY, 1993). Além disso, as espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura anatômica: arranjo dos tecidos; ocorrência dos elementos anatômicos em diferentes proporções; dimensões dos elementos celulares (TSOUMIS, 1991).

O pH da madeira é conhecido por variar entre 3 e 6 na maioria dos casos, e segundo Albin (1975) o pH é uma variável importante na produção de painéis. Em termos de processamento e aproveitamento da madeira, o pH influi na fixação de preservantes químicos, na aplicação de tintas e vernizes, e na cura de resinas.

Uma madeira de alta acidez pode provocar a pré-cura da resina ureia-formaldeído, que cura em meio ácido, durante a prensagem dos painéis, comprometendo a qualidade de colagem entre partículas (IWAKIRI, 2005a). Da mesma forma, segundo Maloney (1993) e Medved e Resnik (2004), o pH e a capacidade-tampão do material interferem na cura do adesivo, os quais geralmente

são formulados para serem aplicados em material ligeiramente ácido e com baixa capacidade-tampão.

Destaca-se porém, que uma das preocupações do uso de resíduo de madeira da construção civil é a exposição deste material ao cimento, que é um material muito alcalino ($\text{pH} > 10$), e esse pH interagir com o adesivo e afetar negativamente nas propriedades do painel (COSTA *et al.*, 2014).

3.5.2 Massa específica da madeira e dos painéis

A massa específica da madeira influencia na área superficial específica das partículas de madeira do painel. Considerando-se painéis com as mesmas dimensões e massa específica, o uso de uma madeira mais densa resultará na redução do volume de partículas e, conseqüentemente, da sua área superficial específica. Nessas mesmas condições, a aplicação do mesmo conteúdo de resina aumenta a sua disponibilidade por unidade de área superficial das partículas, podendo resultar em painéis com melhores propriedades, compensando o efeito da redução na razão de compactação (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Partículas de espécies de madeiras mais densas, produzem uma baixa razão de compactação, sendo necessário então alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de resina, o que acarreta também no aumento do custo de produção (MENDES, 2001). De acordo com o Maloney (1993) e Moslemi (1974), a razão de compactação é o termo utilizado para definir a relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira utilizada na sua produção.

Kelly (1977) afirma que, para painéis de mesma massa específica, produzidos com madeiras de baixa massa específica, as propriedades mecânicas serão superiores, entretanto, a sua estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior a massa específica. Segundo o mesmo autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem. No estudo realizado por Albuquerque (2002) com painéis aglomerados com massa específicas de 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm^3 , foram constatados aumentos nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para os painéis com maiores massas

específicas. Por outro lado, os valores de absorção de água aumentaram com o aumento na massa específica dos painéis.

De acordo com Kelly (1977), as propriedades mecânicas dos painéis apresentam relação direta com a razão de compactação, mas as propriedades físicas exibem uma relação inversamente proporcional.

Segundo Moslemi (1974), painéis produzidos com espécies de baixa massa específica, apresentam aumento na maioria das propriedades mecânicas. A resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura são pouco afetados. As espécies com massa específica de até 0,55 g/cm³ são as mais indicadas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6, considerada a faixa ideal (MALONEY, 1993). Da mesma forma, Hillig (2000) afirma que as massas específicas normalmente empregadas variam entre 0,40 e 0,60 g/cm³.

Para amenizar esse problema, madeiras de maior massa específica básica podem ser misturadas com madeiras de menor massa específica básica, possibilitando a produção de painéis com razão de compactação dentro da faixa adequada. Dessa forma, a mistura de espécies na composição de painéis aglomerados pode ser a resposta parcial para a utilização de espécies tropicais para essa finalidade (MOSLEMI, 1974).

As massas específicas das madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, apresentam massa específica mediana. Trianoski (2012) encontrou para sete espécies de *Pinus* no Paraná, com 18 anos de idade, massa específica básica entre 0,43 e 0,56 g/cm³. Silva *et al.* (2004) encontrou para madeiras de *Eucalyptus grandis* provenientes de plantios com idades de 10, 14, 20 e 25 anos, massa específica de 0,34, 0,41, 0,47 e 0,42 g/cm³, respectivamente. Da mesma forma, Lopes *et al.* (2011) obteve para 3 espécies de eucalipto variações radiais da massa específica do tronco de 0,53 a 0,69 g/cm³ para *E. dunnii*, 0,51 a 0,79 g/cm³ para *E. urophylla*, e 0,47 a 0,67 g/cm³ para *E. grandis*.

3.5.3 Geometria das partículas

A geometria de partículas é um parâmetro importante no processo de produção de painéis aglomerados. O comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo, visando a homogeneidade das

dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de resina e propriedades dos painéis (KELLY, 1977).

De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores requerem maior consumo de resina, tendo em vista a maior área superficial específica para a distribuição adequada do adesivo nas partículas. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (MALONEY, 1993).

Nesse sentido, Zhang (1998) demonstra que há um aumento significativo nas propriedades de módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, em painéis produzidos com partículas de 0,1 mm nas camadas externas e de 0,5 mm na camada interna. Portanto, é importante ressaltar que os elementos dimensionais das partículas sejam definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade desejada.

De maneira geral, partículas longas e finas resultam em painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, já painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular (HASELEIN, 2002).

Peixoto e Brito (2000) estudando dois tamanhos de partículas de madeira de *Pinus taeda* na produção de painéis aglomerados concluíram que, partículas de menor granulometria possibilitaram a produção de painéis com melhor ligação interna, enquanto que as partículas de maior granulometria produziram painéis mais resistentes à flexão estática.

3.5.4 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das partículas que são utilizadas como matéria prima para a produção do painel influencia no seu processo produtivo, pois alterações não previstas dessa propriedade geram mudanças nas características da madeira que está sendo empregada. Portanto, o controle dessa propriedade é fundamental (IWAKIRI, 2005).

O teor de umidade, segundo Iwakiri (1989) e Albuquerque (2002), é um fator crítico e decisivo no desenvolvimento do gradiente vertical de massa específica, assim como no tempo de prensagem. Quando o teor de umidade é elevado ocorre:

aumento no ciclo de prensagem; presença de “bolhas” de vapor; partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura (ALBUQUERQUE, 2002). Enquanto isso, baixos teores de umidade da madeira podem resultar em: riscos de incêndio em secadores; descargas eletrostáticas em tubulações; aumento do pó na indústria e; painéis com bordas deficientes (PRATT, 1997).

A importância do teor de umidade da madeira durante o ciclo de prensagem relaciona-se a influência que este exerce sobre a resistência da madeira para compressão. A umidade juntamente com a temperatura proporciona uma maior plasticidade da madeira que oferecerá menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo (MATOS; KEINERT, 1988).

Altos teores de umidade resultam em partículas mais flexíveis, requerendo um menor tempo para atingir uma determinada espessura. Entretanto, a umidade em excesso requer um tempo maior de prensagem, devido ao efeito que retarda a cura da resina (MOSLEMI, 1974; MATOS; KEINERT, 1988; ALBUQUERQUE, 2002). Além disso, partículas com teor de umidade elevado podem causar bolsas de vapor na camada interna do painel, durante o processo de prensagem (KOLLMANN *et al.*, 1975; TSOUMIS, 1991).

O teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de painéis aglomerados varia entre 3 e 6% (MOSLEMI, 1974; KOLLMANN, *et al.*, 1975; IWAKIRI, 1989; TSOUMIS, 1991; VITAL, 1992; MALONEY, 1993).

3.5.5 Extrativos e contaminantes

Com relação às propriedades químicas, a presença de extrativos na madeira se destaca devido ao grande efeito restritivo de sua utilização, podendo comprometer a eficiência de processos de colagem (ROWELL *et al.*, 2005). Os extrativos são um grupo de substâncias químicas presentes na parede celular e são constituídos basicamente de gorduras, fenóis, terpenos, esteroides, ácidos diversos, breu, ceras e muitas outras combinações orgânicas. Tais combinações ou até mesmo essas substâncias isoladas são responsáveis por conferir cor, cheiro e durabilidade à madeira (SJÖSTRÖM, 1993).

As quantidades de extrativos presentes nos gêneros *Eucalyptus* (folhosa) e *Pinus* (conífera) são entre 2 e 3% da sua composição total (THOMAS, 1977; SJÖSTRÖM, 1993; IRANMAHBOOB *et al.*, 2002).

Os contaminantes mais comuns encontrados na madeira proveniente de resíduo de construção e demolição são argamassa (29%) e pinos metálicos (30%), que totalizaram 59% das amostras analisadas de Lopes *et al.* (2013), contaminações que não impedem a reutilização. Os autores fizeram um levantamento dos contaminantes em 6 canteiros de obra da cidade de Curitiba, onde encontraram também 13% de tinta e 5% desmoldante, materiais que impossibilitam o reuso da madeira de acordo com as diretrizes do CONAMA.

Lopes *et al.* (2013) também reforçaram a ideia de que o resíduo de madeira não recebe a atenção devida, pois na maioria dos casos o descarte deste resíduo na obra era feito sem cuidados e de forma dispersa, e que a única destinação que esse resíduo recebia era queima em fornos de olaria.

3.5.6 Tipo e quantidade de adesivo

Os efeitos causados pelo tipo de adesivo e a sua quantidade na composição de um painel aglomerado é de fundamental importância. A escolha do tipo de adesivo utilizado está ligada as atribuições finais do produto, como a exposição ou não a umidade. Quanto a relação da quantidade do adesivo aplicada ao produto, o aumento do teor de resina resulta em um aumento nas propriedades mecânicas e na estabilidade dimensional dos painéis (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974; MATOS; KEINERT, 1988; IWAKIRI, 1989; ALBUQUERQUE, 2002; SANTOS *et al.*, 2009).

O aumento da quantidade de adesivo no painel, segundo Iwakiri (1989) e Mendes (2001), resulta em uma maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, melhorando com isso as ligações entre as mesmas.

Marra (1992) afirmou que os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis de madeira reconstituída são a ureia-formaldeído (UF) e o fenol-formaldeído (FF). Comparando painéis compensados produzidos com estes adesivos, UF e FF, Iwakiri *et al.* (2001) obtiveram maiores resultados de MOE e MOR nos painéis produzidos com resina FF. Nesta mesma pesquisa, Iwakiri *et al.* (2001) testaram para a mesma condição, seca, os dois adesivos e o FF foi superior para resistência a cisalhamento na linha de cola.

O aumento do teor de resina causa um incremento nas propriedades mecânicas e na estabilidade dimensional (MOSLEMI, 1974). Tanto a adesão interna quanto o módulo de ruptura de painéis reconstituídos dependem da distribuição da resina (SCHWARTZ, 1968). Marra (1992) mencionou que a quantidade de adesivo deve estar condicionada ao custo, uso e resistência mínima exigida.

3.5.7 Aditivo

Na produção de painéis, alguns componentes são adicionados para proporcionar as propriedades desejadas no produto final. Destes materiais adicionados aos painéis a emulsão parafínica, ou parafina, é um dos mais utilizados. A parafina acrescenta resistência à umidade e diminui o inchamento em espessura do painel, que resulta conseqüentemente em uma maior estabilidade dimensional (CRAIGHEAD, 1991). Este fenômeno é conseqüência da redução da higroscopicidade das partículas, uma vez que a parafina forma uma película de proteção em sua superfície (IWAKIRI, 2005a).

Além disso, em painéis compostos por ureia formaldeído é possível a adição de um catalisador que acelere o seu tempo de cura. Normalmente os catalisadores mais utilizados são sulfato de amônia e cloreto de amônia (IWAKIRI, 2005a).

Outros produtos que podem ser adicionados para conceder características aos painéis são: fungicidas, produtos à base de boro; inseticidas, produtos à base de piretróides – hexaclorociclohexano; e ignífugos, fosfato de amônia, ácido bórico e bromato de amônia (IWAKIRI, 2005a).

3.5.8 Parâmetros de prensagem

O ciclo de prensagem dos painéis para a indústria gera as mais instáveis condições no processo de fabricação dos painéis, pois regula o fluxo de produção e o consumo de energia (MATOS; KEINERT, 1998). Para pesquisa, a prensagem dos painéis, é uma das áreas mais exploradas pois envolve muitas variáveis, e é uma das etapas mais críticas da produção. Portanto, é um campo abrangente para testar as variáveis do processo e estimular resultados que atendam as mais variadas demandas de produtos finais (MATOS; KEINERT, 1998; TRIANOSKI, 2010).

Diversos fatores interagem com a prensagem, como por exemplo: tempo, temperatura, pressão, velocidade de fechamento da prensa, teor de umidade do colchão (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974; KOLLMANN *et al.*, 1975; MATOS; KEINERT, 1988; IWAKIRI, 1989; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005a).

O tempo de prensagem é dividido em duas etapas. A primeira refere-se ao tempo de fechamento de prensa, que corresponde ao tempo transcorrido desde o primeiro contato do prato da prensa até atingir a espessura final do painel. Já a segunda etapa é o tempo de prensagem propriamente dito, que consiste no tempo entre o fechamento dos pratos da prensa (o fim do primeiro tempo) e da abertura dos pratos (MATOS; KEINERT, 1988; IWAKIRI, 2005a).

O tempo de fechamento de prensa está relacionado ao gradiente de densificação das camadas superficiais, quanto menor o tempo de fechamento de prensa, maior será o gradiente vertical de densificação do painel (IWAKIRI, 2005a). O tempo de prensagem é uma variável que deve ser o suficiente para que o calor emitido pelos pratos atinja a camada mais interna do painel a ponto que esta camada receba calor o suficiente para atingir a temperatura de cura do adesivo (MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005a).

A temperatura da prensagem é fundamental na produção de painéis de madeira pois normalmente o adesivo utilizado é de cura a quente, portanto, o calor emitido pelos pratos da prensa tem a função de promover a polimerização e a cura da resina, além de plasticização da madeira. A temperatura dos pratos é controlada, pois altas temperaturas podem causar um dos mais comuns defeitos na produção de painéis, o selamento superficial do painel, que resulta na impossibilidade da umidade da camada interna ser liberada através do vapor, como resultado do alto teor de umidade da camada interna do painel podem surgir bolhas ou até estouros de painéis (MATOS; KEINERT, 1988; IWAKIRI, 2005a; TRIANOSKI, 2010).

A aplicação de pressão do processo de formação do painel é responsável pela consolidação e densificação do material, até atingir a espessura pré determinada para o produto final (IWAKIRI, 2005a).

3.6 REQUISITOS NORMATIVOS PARA PAINÉIS AGLOMERADOS

Para regulamentar o uso de painéis de madeira reconstituídos de acordo com sua finalidade, algumas normas foram criadas pelos devidos órgãos reguladores. As normas são acordos documentados que estabelecem os principais critérios para processos, produtos e serviços. A finalidade da norma é adaptar os produtos e serviços aos seus objetivos, atendendo aos interesses de produtores e clientes (TORQUATO, 2008).

As principais normas para painéis aglomerados são Norma Europeia (EN) e a Norma Brasileira (NBR). Para atender as demandas de mercado interna e externa é interessante que as propriedades dos painéis sejam avaliadas por ambas as normas, de forma a possibilitar sua exportação.

Para essa avaliação, alguns testes são realizados para a delimitação de suas finalidades, e alguns dos ensaios mais utilizados para essas classificações são (Adaptado da ABNT NBR 15316-1, 2006):

- Absorção de água (AA): aumento da massa (em água) que um corpo de prova de um painel apresenta, após ser imerso em água a $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ pelo tempo de $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min}$.

- Inchamento em espessura (IE): variação percentual de aumento em espessura que um corpo de prova de um painel, após ficar imerso pelo tempo de $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min}$. em água à temperatura de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

- Massa específica: característica representada pelo quociente da relação entre a massa e o volume de um corpo, em determinado teor de umidade.

- Teor de umidade (TU): porcentagem de água desprendida do corpo de prova de um painel, quando este é submetido a uma temperatura de $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, até a massa tornar-se constante. A porcentagem é tomada em relação à base seca.

- Resistência à flexão estática: resistência que um corpo de prova de um painel, apoiado em seus extremos, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a sua ruptura. Os resultados deste ensaio são módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

- Resistência à tração perpendicular ou ligação interna (LI): resistência que um corpo de prova de um painel oferece, quando este é submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície até a ruptura.

- Arrancamento de parafuso na superfície (APS) e no topo (APT): resistência que um corpo de prova de um painel oferece quando submetido a uma força de tração aplicada a um parafuso passante, na sua superfície e no topo do corpo de prova.

Os resultados destes ensaios qualificam o produto final para distintas utilidades. Por exemplo, painéis com maior resistência a umidade podem ser usados em exteriores onde são expostos a intempéries climáticas, assim como painéis mais resistentes mecanicamente podem ser usadas de forma estrutural. Outra variável a que estes testes estão vinculados é a espessura do painel. Na Tabela 1 estão apresentados os requisitos mínimos para painéis aglomerados para aplicações de interior.

TABELA 1 - REQUERIMENTOS PARA PAINÉIS DE INTERIORES (INCLUINDO MÓVEIS) PARA USO EM CONDIÇÕES SECAS

PROPRIEDADES	UNIDADES	REQUISITOS			
		FAIXA DE ESPESSURAS (mm)			
		4-6	6-13	13-20	20-25
MOR	MPa	14	13	13	11,5
MOE	MPa	1950	1800	1600	1500
LI	MPa	0,45	0,4	0,35	0,3

FONTE: Adaptada da EN 312 (2003)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATÉRIA PRIMA

Para a fabricação dos painéis aglomerados os materiais utilizados foram madeira de resíduos de construção e demolição (RCD). Desses rejeitos foi possível diferenciar fontes de MDF, aglomerado, compensados e madeira maciça.

Como testemunha e base da matéria prima foram utilizadas partículas industriais da madeira de *Pinus* sp., da empresa Berneck SA. O adesivo utilizado, uréia formaldeído, e a parafina também foram disponibilizados pela mesma empresa.

4.1.1 Caracterização e coleta dos materiais

O material foi coletado na empresa Zanoncini Comércio e Transporte de Resíduos de Madeira LTDA, localizada no município de Fazenda Rio Grande, na região metropolitana de Curitiba – PR. A empresa é especializada na reciclagem de resíduos de madeira coletados em caçambas de entulhos de obras de construção civil da grande Curitiba.

A separação e classificação entre os tipos resíduos utilizados na pesquisa foi manual e ocorreu no pátio da empresa, local onde o material é armazenado antes do processamento. Foi constatado proporções desiguais na constituição de cada fonte de madeira que a empresa coleta, então para uma maior representatividade de cada material, as fontes foram selecionadas de forma a abranger uma maior representatividade possível. Por exemplo, uma pilha de pallets foi descarregada no topo dos resíduos de madeira maciça e para não existir uma coleta tendenciosa desse resíduo, com maior proporção de pallets em relação as outras fontes de madeira maciça, a pilha foi revirada e a coleta foi feita considerando todas as fontes de resíduo. O pátio da empresa onde foi feita a coleta dos materiais está ilustrada na Figura 7.



FIGURA 7 - PÁTIO DA EMPRESA ZANONCINI COMERCIO E TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE MADEIRA LTDA.

FONTE: O autor (2015)

Os resíduos para matéria prima utilizados neste estudo foram: MDF, aglomerado, compensado e madeira maciça, e amostras destes estão apresentadas na Figura 8.



FIGURA 8 - RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSIFICADOS

1) MDF; 2) AGLOMERADO; 3) COMPENSADO; 4) MADEIRA MACIÇA

FONTE: O autor (2015)

Parte dos resíduos de MDF e aglomerado possuíam revestimento melamínico por serem provenientes de material de demolição, sendo constituído basicamente de restos de móveis, divisórias e forros. A presença do revestimento não afetou na seleção do material, pois esta é a forma em que, geralmente, é encontrado este tipo de resíduo.

Os resíduos de compensado utilizados provavelmente faziam parte de obras de construção, foi possível encontrar grande quantidade de tapumes, que são utilizados como divisórias ou para calçadas da obra, além de caixas formadoras. Essas finalidades dadas aos compensados normalmente provocam a contaminações ou alterações no material, seja por mistura da madeira com cimento ou contato direto com o solo. Foram também encontrados compensados resinados, como são chamados pelo comércio, em que há tratamento, caracterizado pela coloração rosada do compensado. Em nenhum dos casos, a coleta do material foi seletiva, assim tornando a amostra representativa.

Os resíduos de madeira maciça também aparentaram ser provenientes de obras de construção, e foi possível visualizar tábuas e sarrafos com vários níveis de contaminação de cimento ou exposição ao solo (areia). A classificação das espécies não foi realizada mas, visualmente, foi observado que as madeiras mais comuns eram *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e em alguns casos, bracatinga (*Mimosa scabrella*).

A contaminação dos resíduos com cimento também não foi uma variável considerada na seleção do material, uma vez que parte deste contaminante foi eliminado no processo de geração de partículas. E mesmo que a presença residual com cimento possa afetar a interação entre o adesivo e as partículas de madeira no processo de produção do aglomerado, esta característica é intrínseca deste tipo de resíduo.

4.1.2 Preparo das partículas

Os rejeitos devidamente separados foram triturados na própria recicladora, apresentada na Figura 9.



FIGURA 9 - MOAGEM DO MATERIAL NA EMPRESA
A) TRITURADORA DA EMPRESA; B) ESTEIRA E PENEIRA QUE ACOMPANHAM A TRITURADORA
FONTE: O autor (2015)

A Figura 9A mostra o triturador utilizado pela empresa, alimentado por uma esteira. Uma particularidade deste equipamento é a capacidade de separar metais, pois o equipamento é inclinado e todos materiais que não conseguem ser processados pela trituradora são segregados para as laterais e retirados do processo.

Na figura 9B é apresentado o mecanismo que realiza a peneiragem do material triturado, que é composto por uma esteira que ascende o material a peneiras que gradualmente, do menor ao maior, classificam o particulado. Nesse processo de classificação, ocorreu uma segregação do contaminante de cimento. O cimento contaminante já havia realizado a sua cura e o seu endurecimento, devido ao seu período de exposição a umidade. Assim quanto submetido as restrições físicas do triturador o cimento voltou ao seu estado de pó que foi eliminado na primeira parte da peneira, onde a malha classificatória é mais fina.

Os resíduos após serem reduzidos e classificados eliminando os finos, pelo triturador e sua peneira, ficaram como apresentado na Figura 10. Desta forma, eles

foram levados para o Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR).



FIGURA 10 - RESÍDUOS APÓS O PRIMEIRO PROCESSAMENTO MECÂNICO
1) MDF; 2) AGLOMERADO; 3) COMPENSADO; E 4) MADEIRA MACIÇA
FONTE: O autor (2015)

O material proveniente da empresa recicladora e as partículas de *Pinus* sp. foram submetidos aos mesmos processos de formação de partículas com intuito de se eliminar possíveis variáveis inerentes ao processo que poderiam interferir no produto final.

A seguir são descritos os processos laboratoriais de produção da matéria prima, ilustrado na Figura 11.



FIGURA 11 - PROCESSOS DE PREPARO DAS PARTÍCULAS EM ESCALA LABORATORIAL
 1) SECAGEM AO AR LIVRE; 2) SECAGEM FORÇADA EM ESTUFA CONVENCIONAL; 3) MOINHO DE MARTELO; 4) PENEIRA
 FONTE: O autor (2015)

Todas partículas foram expostas a secagem ao ar livre retirando o excesso de umidade, e depois em estufa convencional por aproximadamente 24 horas a 75°C. Após a secagem, foram reduzidas em moinho de martelo onde passaram por uma malha classificadora de 6 mm de diâmetro.

Os resíduos de MDF não passou pela malha classificatória como os outros três resíduos e a testemunha de *Pinus*. O resíduo de MDF não apresentou estrutura de partículas e quando submetida as reduções mecânicas do moinho de martelo o resíduo se reduzia a fibras e pó. Essa característica também impossibilitou o resíduo de MDF de ser classificado em peneira por causa da fragilidade de sua estrutura.

A classificação em peneira das partículas de *Pinus* e dos resíduos de aglomerado, compensado e madeira maciça ocorreu por peneiras passantes de 8 *mesh* (2,36 mm) e retidas em 14 *mesh* (1,4 mm), assim as partículas utilizadas passaram a ser mais homogêneas quanto ao tamanho. As partículas já classificadas estão apresentadas na Figura 12.

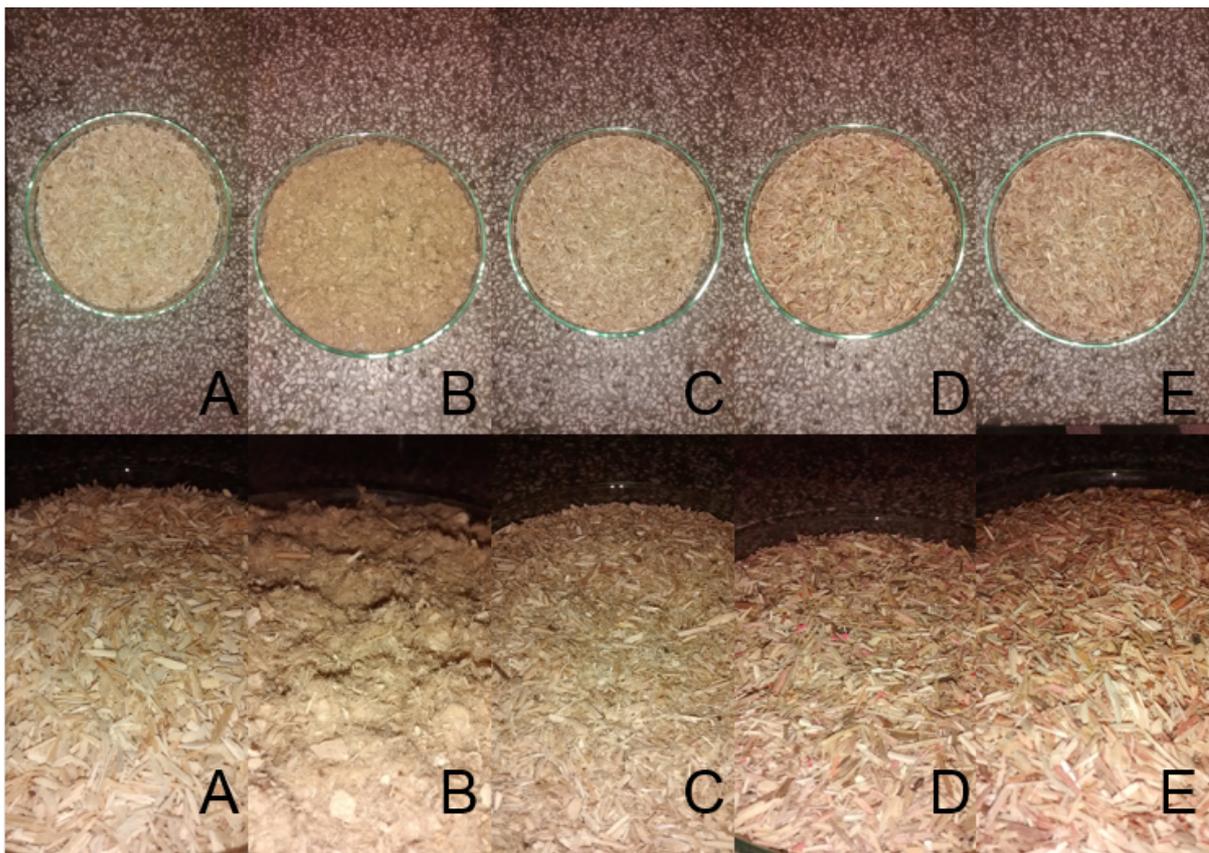


FIGURA 12 - PARTÍCULAS UTILIZADAS NA PESQUISA
 A) *PINUS*; B) MDF; C) AGLOMERADO; D) COMPENSADO; E) MADEIRA MACIÇA
 FONTE: O autor (2015)

4.1.3 Geometria e massa específica a granel das partículas

Mesmo com a classificação das partículas em peneiras ainda existem heterogeneidades na geometria da partícula. Dessa forma, para determinar essa propriedade em cada tipo de material, foram coletadas aleatoriamente partículas de cada fonte, menos do resíduo de MDF.

Para determinar a geometria das partículas de *Pinus*, aglomerado, compensado e madeira maciça, foram medidos os comprimentos, larguras e espessuras de 100 partículas com o auxílio de um paquímetro digital. Com os resultados dessas medições foi possível calcular: o volume médio das partículas, considerando a partícula como um formato geométrico regular (comprimento x espessura x largura); o Índice de Esbeltez (IEz) calculado pela relação comprimento e espessura das partículas; e a Razão de Planicidade (RP), pela relação largura e espessura.

A área superficial das partículas foi calculada pela adaptação do método sugerido por Moslemi (1974), e devido a impossibilidade da obtenção de uma massa

específica das partículas, a massa específica utilizada para os cálculos de área superficial foi a massa específica à granel.

Para se fazer uma avaliação das partículas de MDF foi realizada uma medição granulométrica. O método usado para classificar foi um arranjo de peneiras de abertura decrescente sob uma base vibradora.

A massa específica aparente a granel dos diferentes resíduos e da testemunha foram mensuradas através da metodologia adaptada da NBR 6922 (ABNT, 1983), descrita: as partículas de todos os resíduos e da testemunha, com teor de umidade ambiente, aproximadamente 12 %, foram depositadas, sem esforço físico, em uma proveta de volume de 2 L, para uma restrição volumétrica, e seu peso foi obtido por balança de precisão 0,01 g, conforme pode ser visualizado na Figura 13. Para uma melhor representatividade, 8 repetições de cada material foi realizada.



FIGURA 13 - MÉTODO DE OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA A GRANEL DAS PARTÍCULAS
FONTE: O autor (2015)

4.1.4 Propriedades da parafina e resina

A resina e a parafina utilizadas na pesquisa foram provenientes da linha de produção de aglomerado da empresa Berneck SA, e para avaliação das propriedades da resina foi realizado os ensaios de determinação do pH, teor de sólidos e viscosidade.

Para determinar o pH da resina foi utilizado o equipamento pHmetro. O teor de sólidos foi determinado com a secagem de uma amostra de 1g de resina em estufa com temperatura de 103°C por aproximadamente 3 horas, assim, evaporando os líquidos voláteis. A viscosidade foi obtida com o auxílio do viscosímetro Brookfield.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental deste trabalho foi composto de 3 grupos de tratamentos, os quais foram comparados com a testemunha (T1), ao total perfazendo 16 tratamentos. Os grupos compõem-se de diferentes tipos e quantidades de materiais e estão descritos na Tabela 2.

TABELA 2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA PESQUISA

TRATAMENTO	GRUPO	MATERIAIS	OBJETIVO
T1 <i>Pinus</i>	-	<i>Pinus</i>	Testemunha
T2 MDF		MDF	
T3 Aglo		Aglomerado	
T4 Com	1	Compensado	Possibilidade de uso dos resíduos puros (100%)
T5 Mad		Madeira Maciça	
T6 Mix		Mix	
T7 25%MDF		<i>Pinus</i> + MDF (75/25)	
T8 25%Aglo		<i>Pinus</i> + Aglomerado	
T9 25%Com	2	<i>Pinus</i> + Compensado	Possibilidade de adição de 25% de resíduo
T10 25%Mad		<i>Pinus</i> + Madeira Maciça	
T11 25%Mix		<i>Pinus</i> + Mix	
T12 50%MDF		<i>Pinus</i> + MDF (50/50)	
T13 50%Aglo		<i>Pinus</i> + Aglomerado	
T14 50%Com	3	<i>Pinus</i> + Compensado	Possibilidade de adição de 50% de resíduo
T15 50%Mad		<i>Pinus</i> + Madeira Maciça	
T16 50%Mix		<i>Pinus</i> + Mix	

NOTA: Mix: Mistura dos resíduos em partes iguais (25% MDF + 25% Aglomerado + 25% Compensado + 25% Madeira Maciça)

FONTE: O autor (2015)

Desta forma foi possível, diferenciar o experimento em grupos de acordo com sua finalidade, o grupo 1 sendo composto pelos tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6, compõem um experimento que avalia a possibilidade da utilização destes resíduos na produção de painéis “puros”, unicamente compostos por resíduos em sua matéria prima. O grupo 2 sendo formado pelos tratamentos T7, T8, T9, T10, T11, compõem um experimento que avalia a possibilidade do uso destes resíduos em adição de 25% em linha de produção de aglomerados com a matriz de partículas de *Pinus* sp. para originar uma nova matéria prima viável. O grupo 3 sendo formado pelos tratamentos T12, T13, T14, T15 e T16, compõem um experimento que extrapola o grupo 2, avaliando a possibilidade da utilização destes resíduos em adição de 50% em uma linha de partículas de *Pinus*. Os três grupos, para análise, foram comparados à testemunha, tratamento 1.

4.3 PRODUÇÃO DE PAINÉIS EXPERIMENTAIS

As quantidades dos componentes de cada painel foram previamente calculadas para a confecção dos mesmos, com a intenção de atender as especificações esperadas para os painéis quanto às características como dimensão, massa específica, quantidade de resina, quantidade de madeira, entre outras.

Os painéis foram produzidos com dimensões de 50x38x1,25 cm e a massa específica nominal foi de 0,75g/cm³. Foram aplicadas sobre as partículas 8% de resina (sólidos com base peso seco das partículas), 1% de parafina (sólidos com base peso seco das partículas) e 2% de catalisador (sólidos com base teor de sólidos da resina). Com as quantidades de cada um dos componentes especificadas se deu o início do processo de produção dos painéis.

As partículas, dos respectivos tratamentos, com valores próximos a 3% de umidade, foram levadas para encoladeira de tambor para serem misturadas, Figura 14 item 1. A adição da parafina e da resina no compósito foi através de aspersão, com auxílio de ar comprimido, para uma maior homogeneidade das misturas, Figura 14 item 2.

Após essas etapas, a mistura foi pesada e depositada em caixas formadoras com as dimensões laterais dos painéis (50x38cm), onde recebeu cargas manuais para realização de uma pré-prensagem. Na sequência, o colchão foi conduzido à prensa hidráulica. Os parâmetros de prensagem foram: temperatura dos pratos de 140°C, pressão específica de 40kgf/cm², e tempo de 8 minutos.

Por fim os painéis foram encaminhados à câmara climatizada para a estabilização de umidade. Na Figura 14 podem ser visualizadas as etapas de produção.



FIGURA 14 - ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS
 1) ENCOLADEIRA; 2) SISTEMA DE ASPERSÃO DA ENCOLADEIRA; 3) CAIXA FORMADORA; 4) COLCHÃO FORMADO; 5) PRENSAGEM DOS PAINÉIS; 6) PAINEL APÓS PRENSAGEM
 FONTE: O autor (2015)

4.4 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS

Para a avaliação das propriedades dos painéis aglomerados com RCD, foram realizados os seguintes ensaios físicos e mecânicos, com base nas normas EN e ABNT.

As propriedades físicas avaliadas e suas respectivas normas foram:

- Massa específica aparente – EN 323:2002;
- Absorção de água e inchamento em espessura – EN 317:2002; e
- Teor de umidade – EN 322:2002.

As propriedades mecânicas avaliadas e suas respectivas normas foram;

- Flexão estática – EN 310:2002;
- Tração perpendicular à superfície do painel (Ligação interna) – EN 319:2002;
- Resistência ao arrancamento de parafuso no topo e na superfície – adaptada da NBR 14810:2006, partes 2 e 3.

Para a validação do uso de madeira de RCD para produção de painéis aglomerados os resultados foram comparados com a testemunha e com os requisitos propostos pelas normas que envolvem as propriedades testadas.

Para confeccionar os corpos de prova para cada teste os painéis foram esquadrejados e reduzidos as dimensões especificadas, conforme a Figura 15. Foram testados para cada tratamento: 7 corpos de prova de flexão estática; 5 corpos de prova de absorção de água e inchamento em espessura; 5 corpos de prova de ligação interna; 6 corpos de prova de arrancamento de parafuso de topo; e 7 corpos de prova de arrancamento de parafuso na superfície (adaptadas de suas respectivas normas). Os corpos de prova de arrancamento de parafuso na superfície foram retirados dos corpos de prova de flexão estática já testados.

As massas específicas aparentes dos painéis foram obtidas pela medição de todos os corpos de prova de todos os tratamentos, totalizando 1536 amostras, com a intenção de uma maior representatividade de cada painel e de cada tratamento.

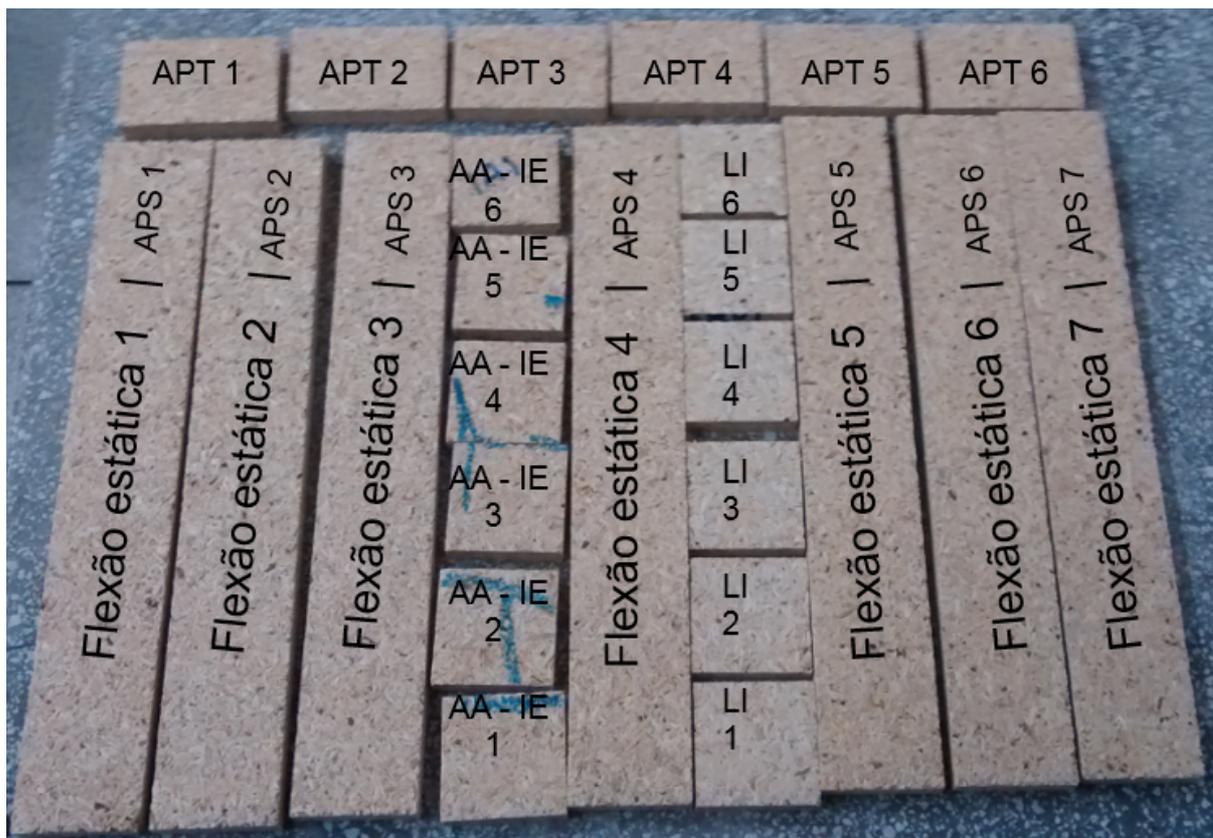


FIGURA 15 - LAYOUT DE CORTE DOS PAINÉIS

AA – IE: ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA; APT-APS: ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO E SUPERFÍCIE; LI: LIGAÇÃO INTERNA. AS POSIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA NO PAINEL SEGUEM A NUMERAÇÃO

FONTE: O autor (2015)

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados dos ensaios foram analisados estatisticamente com a aplicação do programa Statgraphics Centurion XV.II, onde foram conferidos possíveis valores dispersos através de identificação de “*outliers*”, coeficiente de variação e testes de médias de Tukey ao nível de 95% de confiança.

Nos ensaios mecânicos e nos testes de absorção de água e inchamento em espessura, as análises foram realizadas levando em consideração a massa específica de cada corpo de prova, com a ajuda de uma ANCOVA com um fator independente e um dependente, sendo o fator dependente a massa específica e o independente as médias dos testes em questão. A intenção de realizar as estatísticas dessa maneira foi obter uma melhor comparação entre a testemunha e os tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROPRIEDADES DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS

5.1.1 Partículas

Os resultados de massa específica a granel das partículas de *Pinus* e RCD dos tipos aglomerado, MDF, compensado e madeira maciça estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DAS MASSAS ESPECÍFICAS A GRANEL DAS PARTÍCULAS

MATERIAL	MASSA ESPECÍFICA A GRANEL (g/cm ³)	CV (%)
<i>Pinus</i>	0,1835 ^d	2,87
MDF	0,1139 ^e	3,50
Aglomerado	0,2759 ^a	1,54
Compensado	0,2384 ^c	0,86
Madeira Maciça	0,2495 ^b	4,64

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, na mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%.

FONTE: O autor (2015)

Como apresentado, o maior valor médio de massa específica a granel encontrado foi referente ao aglomerado, e a menor foi em relação ao MDF. Foi comprovada estatisticamente a diferença entre os materiais, sendo que nenhum destes materiais apresenta semelhança com os demais, ao nível de confiança de 95%. Os valores de coeficiente de variação comprovaram a baixa variabilidade de massa específica das repetições e a homogeneidade de massa dentro dos materiais.

Segundo Vale *et al.* (2011) massas específicas a granel próximas à 0,1 g/cm³ como encontradas em casca de café (0,167 g/cm³), são consideradas muito leves, portanto, os valores encontrados nesta pesquisa no MDF (0,1139 g/cm³) podem ser enquadrados nessa categoria.

A matéria prima utilizada para a produção de MDF é um material muito volumoso e com uma alta área superficial, assim se assume que essas são as razões das baixas massas específicas. Além da estrutura da matéria prima, outro

fator que pode estar envolvido com a massa específica do resíduo do material é a origem da madeira, e como citado por Barbosa (2010) as possíveis fontes de matéria prima do MDF são madeiras de menor massa específica.

Uma particularidade apresentada pelo resíduo de aglomerado foi a alta massa específica, possivelmente resultado de resina remanescente dos processos de formação. Porém esta mesma resina utilizada nos processos de formação não foi notada nos resíduos de MDF, provavelmente pelo fato da pasta fibrosa que dá origem ao MDF ser tão volumosa, e com o aumento da área superficial da matéria prima menor é a disponibilidade de resina.

O fato da massa específica das partículas de *Pinus* e da madeira maciça serem diferentes comprova que mesmo sendo a madeira *Pinus* parte dos resíduos de madeira maciça, as outras espécies presentes nos resíduos são mais densas que o *Pinus* e elevam a massa específica média do resíduo.

Deve-se destacar que para a avaliação desta propriedade, todos os materiais foram condicionados da mesma forma, assim o teor de umidade não foi um fator determinante na massa específica a granel, variando de 8 a 14%. Na sua pesquisa, Torrell *et al.* (2013), definem que o teor de umidade é um dos fatores que mais influência na determinação da massa específica a granel.

Da mesma forma, a compactação dos materiais também foi controlada, no sentido em que foi aplicada a mesma metodologia para todos os materiais, pois a compactação influi na determinação da massa específica a granel. Vale *et al.* (2011) afirma que em geral, para um mesmo material, quanto maior a granulometria média do material, menor será a massa específica do granel, pois há uma menor compactação das partículas no recipiente em que a massa específica está sendo determinada. Muitos fatores podem ser responsáveis pelas grandes variações das massas específicas a granel dos materiais, como por exemplo a geometria das partículas.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos pelas medições dimensionais das partículas, as quais caracterizam a geometria das partículas.

TABELA 4 – RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS PARTÍCULAS

MATERIAL	C (mm)	L (mm)	E (mm)	V (mm ³)	IEz (Adimensional)	RP	AS (cm ² /g)
<i>Pinus</i>	7,529	1,728	0,583	8,235 ^a (78,7)	16,70 ^a (66,6)	5,21 ^{cd} (68,5)	341,14 ^a (56,2)
MDF	-	-	-	-	-	-	-
Aglomerado	7,744	1,418	0,769	9,040 ^a (75,0)	11,52 ^d (60,0)	5,01 ^d (46,3)	174,78 ^c (37,0)
Compensado	7,212	1,616	0,752	9,164 ^a (63,2)	12,58 ^{cd} (70,9)	6,47 ^{bc} (58,6)	214,81 ^{bc} (43,1)
Madeira Maciça	8,203	1,392	0,661	7,816 ^a (69,8)	14,75 ^{bc} (52,7)	7,10 ^a (57,9)	220,56 ^b (36,2)

NOTAS: C: comprimento; L: largura; E: espessura; V: volume; IEz: índice de esbeltez; RP: razão de planicidade; AS, área superficial média das partículas; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%.

FONTE: O autor (2015)

Como descrito anteriormente, as partículas de *Pinus*, aglomerado, compensado e madeira maciça foram classificadas em peneiras, portanto, em teoria, estas deveriam ter entre 2,36 e 1,4 mm. Apesar disso, é possível verificar pelos altos valores do coeficiente de variação da Tabela 4, que existe uma grande variância entre os tamanhos das partículas.

Os valores médios de volume das partículas não foram significativamente diferentes entre as partículas dos diferentes materiais. Os maiores volumes médios foram apresentados pelas partículas de compensado e os menores volumes médios para as partículas de madeira maciça.

Os valores médios de índice de esbeltez foram maiores nas partículas de *Pinus*, a madeira maciça apresentou o segundo maior valor médio de IEz. O aglomerado apesar de não diferir estatisticamente das partículas de compensado apresentou os menores valores médios, pois se diferiu estatisticamente das outras partículas. Uma justificativa para esses baixos valores de IEz nas partículas de aglomerado e compensado, é a maior espessura dessas partículas, que pode ser consequência de um revestimento superficial de resíduo de resina nas mesmas.

A média da razão de planicidade foi maior na madeira maciça, os menores valores foram apresentados pelas partículas de *Pinus* e de aglomerado. O aglomerado em uma análise visual apresentava as partículas com formas mais

quadradas, possivelmente resultado de serem submetidas a processos de redução mais de uma vez (a primeira na sua fabricação, e a segunda agora para a confecção do painel aglomerado).

A área superficial das partículas, conforme descrita nos métodos, foi adaptada, pois a massa específica utilizada para o cálculo da área superficial foi a massa específica a granel ao invés da massa específica básica. As partículas de *Pinus* tiveram a maior área superficial por unidade de peso, possivelmente por apresentar a menor massa específica a granel dentre as partículas, com a exceção do MDF.

As partículas de MDF não foram classificadas por essa metodologia, pois suas partículas variavam muito, desde pó até a abertura da malha de 4 mm do picador de martelo, assim foi inviável a obtenção dessas propriedades. Foi realizada uma tentativa de classificação através da metodologia de peneiras passantes descritas pela ASTM, utilizada por TRIANOSKI (2010) e WEBER (2011), porém assim como na peneira de classificação, o esforço vibratório da peneira desestruturava o MDF, sobrando apenas fibras nas peneiras mais finas ou do fundo.

5.1.2 Resina

A avaliação da qualidade da resina utilizada na confecção dos painéis segue na Tabela 5.

TABELA 5 – PROPRIEDADES DA RESINA

PARÂMETROS	RESULTADOS	CV (%)	REQUISITOS
Teor de sólidos	65,97 %	1,59	64 – 66 %
Viscosidade (25°C)	691,67 cP	4,97	300 – 1000 cP
pH (25°C)	7,7	2,96	7,4 - 9

NOTA: CV: coeficiente de variação; cP: centiPoise.
FONTE: O autor (2015)

Ao ter conhecimento das propriedades da resina a 25°C, temperatura em que foi utilizada, foi possível obter as quantidades exatas de resina para a produção dos painéis, pois o cálculo de quantidade é relacionado ao teor de sólidos da resina.

Por se tratar de uma resina obtida por uma empresa, a mesma apresentou os requisitos descritos pela PNQM-ABIMCI (2004, *apud* TRIANOSKI, 2010) para uréia

formaldeído (UF). Dessa forma, considera-se que a resina nessas condições foi indicada para a utilização em painéis.

5.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

Um das preocupações da utilização de partículas provenientes de resíduo de demolição e construção civil foi o aspecto visual dos painéis, pois mesmo sendo possível que estes fossem utilizados como camada interna, a apresentação do painel pode ser determinante para a utilização dele no seu estado cru, sem acabamento. Os painéis produzidos estão apresentados de acordo com seus respectivos tratamentos e grupos de avaliação, conforme a Figura 16.



FIGURA 16 – ASPECTOS VISUAIS DOS PAINÉIS PRODUZIDOS E SEUS RESPECTIVOS GRUPOS

FONTE: O autor (2015)

O resíduo que apresentou maior diferença no aspecto visual em comparação com a testemunha foi o MDF, apresentado nos tratamentos 2, 7 e 12. Fazendo uma avaliação visual e comparado com a testemunha, os painéis desta pesquisa se

mostraram apresentáveis para quaisquer finalidades que a testemunha possa vir a receber.

5.2.1 Propriedades físicas dos painéis

5.2.1.1 Massa específica aparente

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios da massa específica aparente dos tratamentos considerados neste trabalho. As massas específicas médias dos painéis variaram de 0,659g/cm³ a 0,705g/cm³, enquanto que o valor esperado era de 0,750g/cm³.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DAS MASSAS ESPECÍFICAS DOS PAINÉIS MANUFATURADOS

TRATAMENTO	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)	TEOR DE UMIDADE (%)
T1 <i>Pinus</i>	0,6844 ^{abcd} (5,99)	11,14 (4,83)
T2 MDF	0,6846 ^{abcd} (8,08)	9,16 (3,06)
T3 Aglo	0,6708 ^{cde} (7,57)	9,74 (3,63)
T4 Com	0,6590 ^e (3,95)	10,42 (4,72)
T5 Mad	0,6786 ^{bcde} (7,48)	10,82 (2,83)
T6 Mix	0,7048 ^a (7,95)	9,59 (1,99)
T7 25%MDF	0,6646 ^{de} (8,81)	9,53 (3,22)
T8 25%Aglo	0,6729 ^{bcde} (6,00)	10,64 (5,88)
T9 25%Com	0,6679 ^{de} (7,30)	10,44 (2,84)
T10 25%Mad	0,6863 ^{abcd} (5,90)	10,41 (3,39)
T11 25%Mix	0,6871 ^{abcd} (5,92)	10,09 (5,53)
T12 50%MDF	0,6786 ^{bcde} (9,58)	10,14 (4,22)
T13 50%Aglo	0,6930 ^{abc} (6,64)	9,90 (1,41)
T14 50%Com	0,6965 ^{ab} (6,17)	9,88 (2,18)
T15 50%Mad	0,6857 ^{abcd} (5,83)	9,63 (2,66)
T16 50%Mix	0,6697 ^{cde} (7,73)	10,39 (4,91)

NOTAS: (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%.

FONTE: O autor (2015)

Um fator que pode ser responsável pela diferença entre massa específica nominal e a massa específica obtida, é a taxa de retorno em espessura, pois os painéis sem restrição dos pratos da prensa tendem a se expandir para liberar as tensões de compressão. Esse comportamento ocorre principalmente durante o acondicionamento dos painéis, resultando na expansão de suas dimensões, principalmente no sentido da espessura.

Outro fator que explica a variação da massa específica é a manufatura laboratorial dos painéis. Sem restrições laterais, os colchões sofrem na prensa uma mudança de volume sem acréscimo de massa, e isso acarreta uma mudança na massa específica, principalmente nas regiões periféricas dos painéis. Os corpos de prova, para uma maior representatividade, foram retirados de toda extensão do painel, respeitando somente uma margem de 2 a 2,5 cm de esquadreamento dos painéis, assim, essa escolha de maximização da abrangência do painel é a principal justificativa para a variação entre massa específica calculada e a obtida.

Nesse sentido, destaca-se que a produção de painéis em escala laboratorial tende a ter variâncias na massa específica, as quais podem ser oriundas da distribuição manual do colchão do painel que gera heterogeneidade do compósito no molde formador (HILLIG, 2000; DACOSTA, 2004; LILGE, 2009).

A norma EN 312 (2003) determina como pré-requisitos para os ensaios algumas características que foram atendidas pelos painéis, como teor de umidade entre 5 e 13 % e massa específica média variando no máximo 10% dentro do painel. O material de origem não influenciou na massa específica dos painéis, pois mesmo sendo o tratamento 4 a menor massa específica dentre os painéis, que é composta por compensado, nos outros tratamentos com compensados, os tratamentos 8 e 14, não obteve-se o mesmo comportamento. Da mesma forma, a massa específica a granel, apesar de apresentar os maiores valores para o aglomerado, não afetou a massa específica dos painéis que são compostos por ele.

A variação entre as massas específicas médias dos painéis nos tratamentos determinou que a avaliação estatística fosse correlacionada com a massa específica de cada corpo de prova, aplicando-se assim uma estatística conhecida como ANCOVA (análise de covariância), que combina ANOVA e regressão.

5.2.1.2 Absorção de água e inchamento em espessura

Os resultados dos testes físicos foram separados em 3 grupos: grupo 1, tratamentos de painéis puros (100%) de resíduos; grupo 2, tratamentos de painéis de *Pinus* com adição de 25% de resíduo; e grupo 3, tratamentos de painéis de *Pinus* com adição de 50% de resíduo.

Na Tabela 7 estão apresentados resultados dos ensaios de absorção de água após 2 horas de imersão (AA 2h) e 24 horas de imersão (AA 24h) e os resultados de inchamento em espessura após 2 horas de imersão (IE 2h) e 24 horas de imersão (IE 24h), todos para os tratamentos de T1 a T6.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 1, TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
T1 <i>Pinus</i>	0,71 ^b (5,40)	24,46 ^b (7,36)	70,47 ^b (11,70)	7,49 ^c (25,79)	23,16 ^{bc} (24,01)
T2 MDF	0,71 ^b (5,25)	30,76 ^c (32,76)	73,62 ^b (39,37)	7,36 ^{bc} (18,87)	21,27 ^b (19,45)
T3 Aglo	0,69 ^{bc} (5,62)	17,32 ^a (18,87)	44,41 ^a (32,76)	5,77 ^{ab} (19,45)	15,16 ^a (39,37)
T4 Com	0,67 ^c (3,20)	37,68 ^d (15,83)	79,40 ^b (8,61)	9,42 ^d (34,19)	26,71 ^c (13,77)
T5 Mad	0,71 ^b (4,67)	20,11 ^a (10,76)	48,92 ^a (8,80)	5,04 ^a (24,81)	15,35 ^a (10,34)
T6 Mix	0,75 ^a (5,17)	17,40 ^a (13,52)	52,94 ^a (8,82)	5,46 ^a (18,40)	16,12 ^a (11,17)

NOTAS: ME: massa específica; AA 2h e AA 24h: absorção de água em 2 e 24 horas; IE 2h e IE 24h: inchamento em espessura em 2 e 24 horas (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,707 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

As massas específicas médias variaram de 0,67 a 0,75g/cm³, variação alta o suficiente para haver diferença estatística entre os tratamentos, assim justificando a aplicação da ferramenta estatística ANCOVA, relacionando a massa específica com os resultados físicos.

Os tratamentos que apresentaram os menores valores médios de absorção de água em 2 e 24 horas foram os tratamentos T3, T5 e T6. Os menores valores

médios de inchamento em espessura em 2 e 24 horas foram encontrados nos tratamentos T3, T5 e T6. Dessa forma pode-se deduzir, que estes foram os melhores tratamentos, quanto as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura.

O tratamento que apresentou, em geral, os maiores valores nas primeiras 2 horas, conseqüentemente piores resultados, de IE e AA, foi o tratamento T4, composto por partículas de compensado. Contudo, depois do período de imersão por 24 horas o tratamento T4 não apresentou resultados menos expressivos que a testemunha de *Pinus*.

Enquanto isso, os tratamentos que não apresentaram porcentagens médias estatisticamente iguais ou menores que a testemunha, em todos os testes, foram os tratamentos T3, T5 e T6.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados médios de AA e IE para os tratamentos com adição de resíduos na proporção de 25% do material do painel.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 2, ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
T1 <i>Pinus</i>	0,71 ^a (5,40)	24,91 ^b (25,79)	71,06 ^c (7,36)	7,43 ^{ab} (24,01)	22,91 ^{cd} (11,70)
T7 25%MDF	0,70 ^a (6,39)	27,19 ^b (10,53)	75,24 ^d (8,81)	9,30 ^c (19,05)	24,39 ^{de} (11,58)
T8 25%Aglo	0,69 ^a (5,96)	18,24 ^a (19,00)	51,73 ^a (9,28)	7,10 ^a (15,36)	18,93 ^a (10,98)
T9 25%Com	0,70 ^a (4,63)	27,09 ^b (22,18)	68,60 ^c (6,99)	11,85 ^d (17,08)	26,09 ^e (9,08)
T10 25%Mad	0,70 ^a (5,62)	20,22 ^a (17,69)	47,89 ^a (10,06)	9,06 ^c (11,59)	20,62 ^{ab} (11,14)
T11 25%Mix	0,71 ^a (2,66)	25,31 ^b (29,52)	59,86 ^b (8,73)	8,85 ^{bc} (20,9)	21,21 ^{bc} (9,29)

NOTAS: ME: massa específica; AA 2h e AA 24h: absorção de água em 2 e 24 horas; IE 2h e IE 24h: inchamento em espessura em 2 e 24 horas (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,703 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

As massas específicas médias variaram de 0,69 g/cm³ a 0,71 g/cm³, estatisticamente não significativa. Porém, de forma a homogeneizar as análises estatísticas, novamente aplicou-se a ANCOVA, que no caso de pouca variação do

fator dependente não altera muito o fator independente, neste caso os resultados médios dos testes.

O tratamento com adição de aglomerado (T8) apresentou os mais altos valores de AA e IE nas duas medidas de tempo. Nos períodos de imersão por 2 horas, de AA e IE, o tratamento com adição de partículas de compensado (T9) apresentou os maiores valores médios em comparação aos outros tratamentos. O tratamento T9 também obteve os maiores valores no período de 24 horas no IE, porém não diferiu estatisticamente do tratamento T7.

O tratamento T7, composto por 75% de *Pinus* e 25% de MDF, obteve maior AA 24h e não diferiu estatisticamente dos maiores valores no ensaio de IE 24h, portanto, não foi superior em comparação com à testemunha. Outros tratamentos que não superaram a testemunha, pelo teste de IE 2h foram T7, T9 e T10. Somente o tratamento T9 foi inferior a testemunha no teste de IE 24h.

O único tratamento superior em comparação com à testemunha nos testes de inchamento em espessura e absorção de água foi o tratamento T8, composto por 75% de *Pinus* e 25% de aglomerado.

Na Tabela 9 estão os resultados médios dos testes físicos de inchamento em espessura e absorção de água dos tratamentos com 50% de adição de resíduos.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA DO GRUPO 3, ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
T1 <i>Pinus</i>	0,71 ^{ab} (5,40)	24,03 ^a (25,79)	69,96 ^c (7,36)	7,52 ^a (24,01)	23,46 ^c (11,70)
T12 50%MDF	0,73 ^a (4,92)	38,03 ^{bc} (28,24)	80,8 ^d (6,51)	13,79 ^b (29,73)	28,05 ^d (15,00)
T13 50%Aglo	0,73 ^a (4,04)	18,85 ^a (21,86)	42,75 ^a (8,90)	7,44 ^a (31,75)	14,36 ^a (16,89)
T14 50%Com	0,72 ^{ab} (4,38)	41,10 ^c (15,08)	69,34 ^c (4,65)	11,52 ^b (24,08)	23,24 ^c (10,67)
T15 50%Mad	0,69 ^b (4,96)	24,44 ^a (23,65)	53,51 ^b (12,17)	7,48 ^a (35,93)	19,39 ^b (14,46)
T16 50%Mix	0,70 ^{ab} (5,36)	33,23 ^b (13,38)	72,10 ^c (3,71)	8,78 ^a (24,43)	24,05 ^c (15,41)

NOTAS: ME: massa específica; AA 2h e AA 24h: absorção de água em 2 e 24 horas; IE 2h e IE 24h: inchamento em espessura em 2 e 24 horas (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,715 g/cm³. FONTE: O autor (2015)

As massas específicas médias variaram de 0,69g/cm³ a 0,73 g/cm³, assim justificando as análises estatísticas de covariância.

O tratamento T13, em geral, obteve os menores resultados de AA e IE. Nos resultados iniciais de 2 horas os tratamentos T1 e T15 do teste de AA, e os tratamentos T1, T15 e T16, no teste de IE, foram estatisticamente iguais ao tratamento T13 e obtiveram as menores porcentagens. Nos testes de 24 horas nenhum tratamento se igualou estatisticamente às menores porcentagens do tratamento T13.

O tratamento T14, composto pela adição de compensado, obteve os maiores valores iniciais, quando comparado aos demais tratamentos desse grupo, com a exceção do tratamento T12 que não diferiu estatisticamente.

O tratamento T12, composto por 50% de MDF, apresentou os maiores valores nos testes AA e IE no tempo de 24 horas. Comparados com a testemunha, tratamento T1, os valores médios menores de AA e IE foram os tratamentos T13 e T15. O tratamento T16 não obteve porcentagem média menor apenas no teste de AA em 2 horas.

De forma geral foi possível observar algumas tendências nos comportamentos dos resíduos para os testes de AA e IE.

O resíduo de MDF apresentou valores altos de AA e de IE, provavelmente, devido a sua baixa massa específica e ao fato de suas partículas serem menores que as demais, conseqüentemente com maiores áreas superficiais por necessitar de um maior volume de material para obter a mesma densidade. Outra particularidade do MDF é a presença de pó na sua composição, fatores esses que aumentam os valores desses ensaios. Apesar disso os resultados dos resíduos de MDF não foram maiores que os painéis com resíduos de compensado nos períodos iniciais de 2 horas. Uma explicação para este fato dos valores iniciais não serem tão altos quanto os resultados dos tratamentos com compensado é a hipótese levantada por Mendes (2014) que justifica as diferenças entre 2 horas e 24 horas como consequência da razão de compactação. Como o MDF teve a menor massa específica a granel se entende que, nos painéis onde ele é um componente, as razões de compactação foram maiores, assim a entrada da água nas camadas internas pode ficar obstruída, principalmente no período de 2 horas, diferente do que no período de 24 horas onde se acredita ter tempo suficiente para interação entre a água e o corpo de prova.

Outra explicação atribuída ao MDF e seus resultados de AA e IE é a relação com a área superficial de suas partículas. Quanto menor a partícula maior será a sua área superficial. Assim, como o MDF é composto por pequenas estruturas e basicamente fibras, ele possui, dentre os tratamentos, as maiores áreas superficiais, assim estando sujeito as maiores absorções de água, além de que um volume maior de material está sujeito ao incremento de espessura.

Além disso, quanto a formação do MDF, a presença do pó apresentada devido a inviabilidade da classificação do material, acarreta resultados adversos aos painéis quanto a disponibilidade de resina. Iwakiri (2005a) afirma que a quantidade de pó no processo de formação do painel influencia na quantidade de resina, e quanto aos resultados de AA e IE, autores já evidenciaram que quanto maior a quantidade de resina menor será os valores médios destas propriedades (MELO, 2013; WEBER, 2011; IWAKIRI e KEINERT JÚNIOR, 1990; KELLY, 1977).

As partículas do resíduo de compensado tendem a absorver mais água e inchar em espessura nos períodos iniciais, 2 horas, e a adição de *Pinus* aumenta o inchamento em espessura em 24 horas. Weber (2011) também encontrou em sua pesquisa de resíduos industriais as maiores porcentagens nos ensaios de AA e IE para o resíduo de compensado.

Uma possível explicação para que o compensado absorva mais água nos períodos iniciais pode ser a interação da madeira com intempéries climáticas, sendo que a madeira de compensado normalmente é utilizada em tapumes ou passarelas de canteiros de obras. Dessa forma, esses materiais foram mais expostos ao sol e umidade que outros resíduos dessa pesquisa, como MDF e aglomerado, por exemplo, que são utilizados em interiores. Essa maior exposição ao sol, radiação UV, resulta nas alterações na madeira como fissuras superficiais (SCHALLER; ROGEZ, 2007). Essas mudanças na camada superficial podem ter gerado alterações nas primeiras horas de exposição a água dos painéis (2 horas), porém após se estabilizar apresentou resultados similares na exposição a longo prazo (24 horas).

Os resíduos de aglomerado e os resíduos de madeira maciça apresentou, em geral, os melhores resultados de AA e IE. O tratamento com as misturas de todos os resíduos também obteve um bom resultado quando usado sem mistura de *Pinus*, possivelmente pelas boas propriedades de 2 dos seus componentes, a madeira maciça e o aglomerado. Uma explicação para a madeira maciça e o aglomerado

terem resultados melhores de AA e IE que os outros tratamentos, pode ser a massa específica do material, pois com um material mais denso a quantidade de volume necessário para a fabricação do painel é menor, e portanto, tem um menor volume de material e conseqüentemente menor área superficial.

De forma geral, o *Pinus* aumentou a AA e IE dos tratamentos com resíduos de aglomerado, madeira maciça e da mistura de resíduos. Isso pode ser evidenciado pela diferença dos tratamentos no primeiro grupo da metodologia, onde não foi realizada a adição de *Pinus*.

Uma hipótese levantada por Weber (2011) pode ser aplicada a esses resultados, a qual propõe que o processo de formação anterior destes materiais podem afetar essas propriedades, principalmente no aglomerado e no MDF que recebem adição de parafina na fabricação. Assim, resquícios de parafina, que age como selador nas partículas, podem ter se acumulado nas partículas e desta forma diferenciando os resíduos de aglomerado e MDF dos demais resíduos.

Com relação as restrições normativas de painéis aglomerado, podemos afirmar as seguintes informações em relação aos ensaios de absorção de água e inchamento de espessura:

A norma NBR 14810-2 requer para um painel nas especificações deste trabalho, valores de inchamento em espessura em 2 horas de no máximo 8%. Exigência atendida pelos tratamentos: T1, T2, T3, T5, T6, T8, T13 e T15. Já a norma EN 312:2003 requer, também para as especificações deste trabalho, um inchamento em espessura em 24 horas de no máximo 15%. Exigência atendida pelo tratamento T13. Por fim, a norma comercial CS 236-66 (1968) requer para o inchamento em espessura em 24 horas no máximo 35%. Exigência atendida por todos os tratamentos.

Complementarmente, Pierre *et al.* (2014) informam que a empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio localizada em Botucatu/SP, possui código normativo interno de absorção de água após imersão de 2 horas é limitada a 15%. Exigência que não foi atendida por nenhum dos tratamentos.

Dessa forma, os tratamentos que foram aprovados nos testes de absorção de água e inchamento em espessura, se usada a comparação de qual apresentou a porcentagem média estatisticamente igual ou menor que a testemunha, foram os tratamentos T3, T5, T6, T8, T13 e T15.

5.2.2 Propriedades mecânicas dos painéis

5.2.2.1 Flexão estática

Apresentados a partir deste ponto estão os resultados mecânicos de flexão estática dos painéis. Na Tabela 10, são apresentados os resultados do primeiro grupo, os tratamentos puros de resíduos. Os maiores valores médios encontrados para MOE e MOR foram, respectivamente, de 1392 MPa e 9,69 MPa. Os menores valores médios encontrados para MOE e MOR foram, respectivamente, de 497 MPa e 4,59 MPa. Os valores médios do coeficiente de variação dos testes variam de 15,77% a 35,07%, e as massas específicas médias variaram de 0,66 a 0,70 g/cm³.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 1 - TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^{ab} (4,66)	1378 ^a (15,77)	8,00 ^b (20,83)
T2 MDF	0,68 ^{ab} (6,75)	497 ^d (35,07)	4,59 ^d (34,41)
T3 Aglo	0,68 ^{ab} (5,94)	1013 ^c (23,74)	6,49 ^c (26,08)
T4 Com	0,66 ^b (3,53)	1299 ^a (15,99)	7,12 ^{bc} (14,42)
T5 Mad	0,68 ^{ab} (6,17)	1392 ^a (16,95)	9,69 ^a (21,11)
T6 Mix	0,70 ^a (6,39)	1144 ^b (18,91)	7,19 ^{bc} (31,54)

NOTAS: ME: massa específica; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,680 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Os testes de flexão mostram que, dentre os resíduos, os melhores resultados de MOE foram apresentados pelos tratamentos compostos por compensado e madeira maciça, seguidos pela mistura dos resíduos, aglomerado e MDF, respectivamente. Enquanto isso, os melhores resultados de MOR foram dos tratamentos compostos puramente por madeira maciça, seguidos pela mistura de todos os resíduos, compensado, aglomerado e MDF, respectivamente.

Na Figura 17 pode-se observar as diferenças entre os tratamentos e a testemunha para o módulo de elasticidade, assim como a relação destes com a

norma. A norma utilizada nos testes de flexão estática foi a EN 312:2006, mas utilizada com uma adaptação para painéis de uso interno, a escolha da espessura real do corpo de prova para classificar o painel ao invés da espessura nominal do painel. A escolha da espessura real foi feita devido à existência de diferença entre espessura nominal (1,25 cm) e a espessura real (>1,3 cm), assim admitiu-se para uma avaliação mais concreta as dimensões reais dos corpos de prova. Portanto, foram usados os valores para comparação de MOE e MOR de 1600 e 13 MPa, respectivamente.

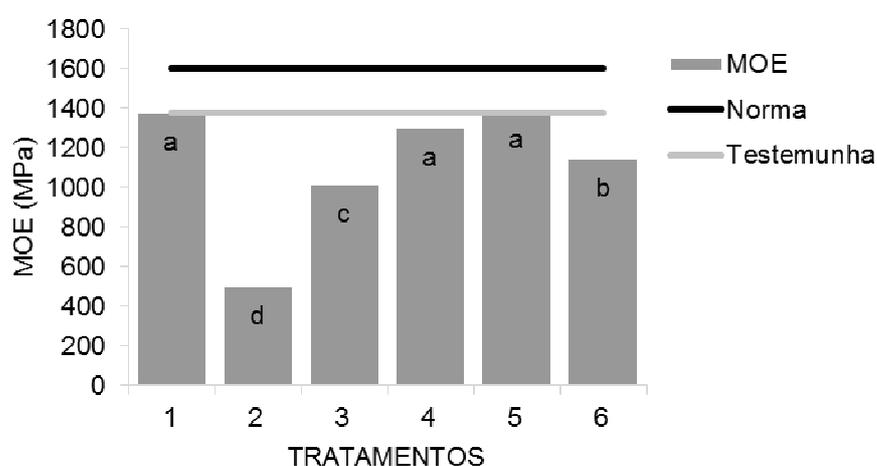


FIGURA 17 - VALORES DE MOE DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Observa-se que os tratamentos T4 e T5 não diferiram estatisticamente dos resultados de MOE obtidos pela testemunha. Os tratamentos T2, T3 e T6 não obtiveram resultados suficientes para se comparar à testemunha. Nenhum tratamento, incluindo a testemunha, atingiu os requisitos mínimos da norma utilizada.

Na Figura 18 está a comparação entre os tratamentos do grupo 1, em relação à testemunha e a norma utilizada para a propriedade de MOR (13 MPa).

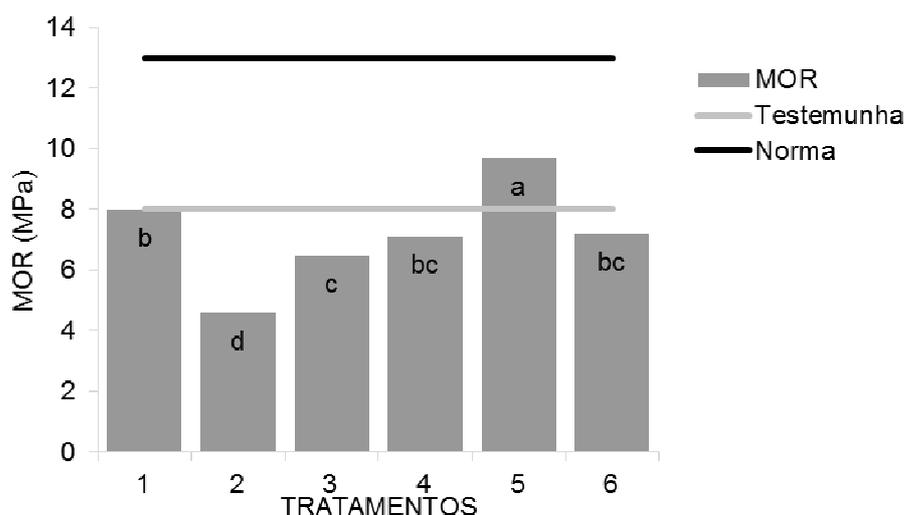


FIGURA 18 - VALORES DE MOR DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

O tratamento T5 obteve os melhores resultados, e diferiu estatisticamente da testemunha. Os tratamentos T4 e T5 não diferiram estaticamente da testemunha, enquanto que os tratamentos T2 e T3 foram menores que a testemunha. Nenhum tratamento obteve os requerimentos mínimos especificados pela norma utilizada.

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados do grupo 2 nos testes de flexão. Os maiores valores médios encontrados para MOE e MOR foram, respectivamente, de 1446 MPa e 8,09 MPa.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^a (4,66)	1329 ^b (15,77)	7,67 ^a (20,83)
T7 25%MDF	0,66 ^a (7,53)	1005 ^c (26,52)	5,93 ^b (35,71)
T8 25%Aglo	0,67 ^a (5,84)	1354 ^{ab} (21,40)	7,62 ^a (27,55)
T9 25%Com	0,67 ^a (6,02)	1446 ^a (22,42)	8,09 ^a (31,37)
T10 25%Mad	0,67 ^a (5,08)	1445 ^a (23,22)	7,28 ^a (28,21)
T11 25%Mix	0,69 ^a (5,17)	1108 ^c (20,58)	5,38 ^b (25,29)

NOTAS: ME: massa específica; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,673 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Os menores valores médios encontrados para MOE e MOR, foram respectivamente, de 1005 MPa e 5,38 MPa. Os valores médios do coeficiente de variação dos testes variam de 15,77% a 35,71%, e as massas específicas médias variaram de 0,66 a 0,70 g/cm³.

Os maiores resultados, dos tratamentos com resíduo, para MOE, foram apresentados pelos tratamentos T8, T9 e T10. O tratamento T8 apresentou valores menores que os tratamentos T9 e T10, porém não diferiu estatisticamente, e portanto não pode ser considerado inferior. Os menores resultados dessa propriedade foram os apresentados pelos tratamentos T7 e T11, ambos com a presença de MDF. Os valores do módulo de ruptura foram maiores nos tratamentos T8, T9 e T10. Os menores resultados de MOR foram os apresentados pelos tratamentos T7 e T11, ambos com a presença de MDF.

Na Figura 19 estão apresentados os resultados do grupo 2, assim como é observada a relação destes com a testemunha e a norma EN 312 (1600 MPa), para o módulo de elasticidade.

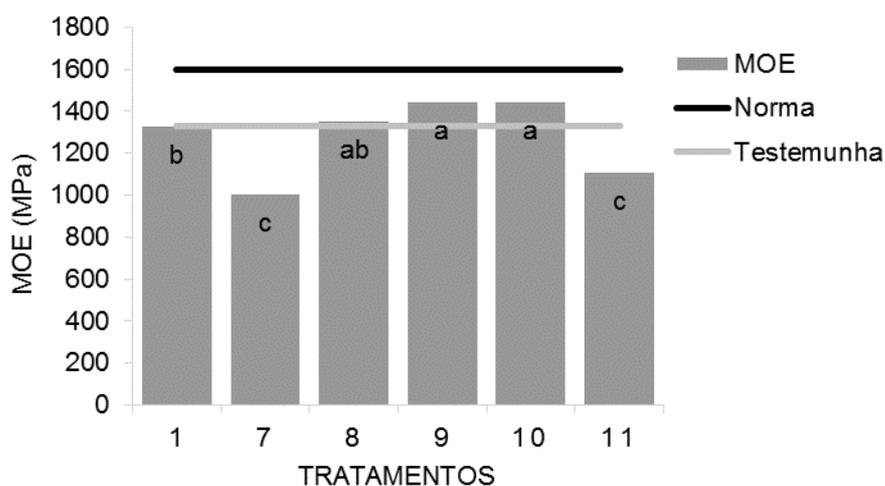


FIGURA 19 - VALORES DE MOE DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Os tratamentos T9 e T10 obtiveram valores maiores que a testemunha, e foram diferentes estaticamente. O tratamento T8 não se diferiu estaticamente da testemunha, enquanto que os tratamentos T7 e T11 foram menores e diferiram estatisticamente da testemunha. Nenhum dos tratamentos propostos do grupo 2 obteve os requisitos da norma para MOE.

Na Figura 20, estão os valores de módulo de ruptura do grupo 2 comparados com à testemunha e a norma (13 MPa).

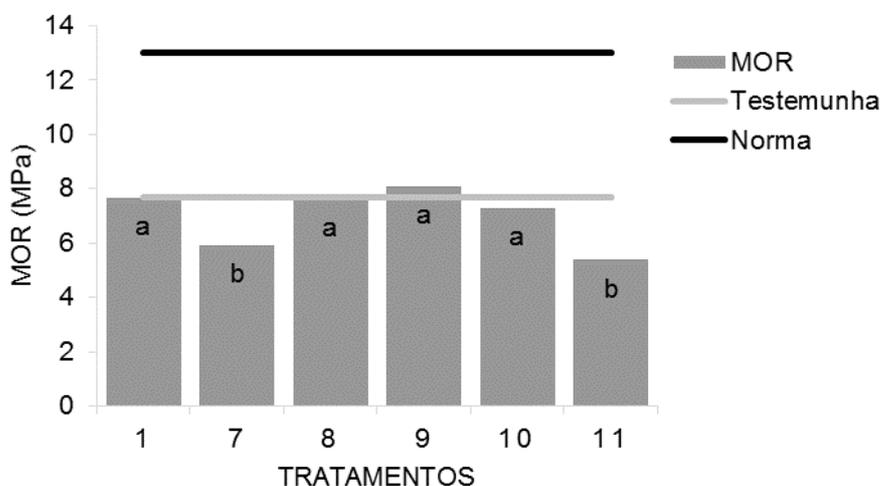


FIGURA 20 - VALORES DE MOR DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Os tratamentos T8, T9, T10 não diferiram estatisticamente da testemunha. Já os tratamentos T7 e T11, não obtiveram valores altos o suficiente para se igualar à testemunha. Nenhum dos tratamentos testados atingiu os requisitos mínimos da norma.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados do grupo 3 nos testes de flexão. Os maiores valores médios encontrados para MOE e MOR são, respectivamente, de 1390 MPa e 8,09 MPa. Os menores valores médios encontrados para MOE e MOR são respectivamente de 716 MPa e 3,83 MPa. Os valores médios do coeficiente de variação dos testes variam de 15,77% a 34,98%, e as massas específicas médias variaram de 0,68 a 0,69g/cm³.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^a (4,66)	1383 ^a (15,77)	8,12 ^a (20,83)
T12 50%MDF	0,68 ^a (5,13)	768 ^c (29,76)	3,81 ^d (34,98)
T13 50%Aglo	0,69 ^a (4,78)	1201 ^{ab} (18,78)	5,61 ^c (25,88)
T14 50%Com	0,68 ^a (6,34)	1352 ^{ab} (19,66)	6,97 ^b (27,15)
T15 50%Mad	0,68 ^a (3,74)	1304 ^{ab} (18,50)	5,98 ^c (23,84)
T16 50%Mix	0,68 ^a (5,68)	1156 ^b (19,82)	7,10 ^b (26,94)

NOTAS: ME: massa específica; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,683 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Os melhores resultados, dentre os tratamentos do grupo 3, para a propriedade de módulo de elasticidade foram dos tratamentos T13, T14, T15, porém esses tratamentos não diferiram estatisticamente do tratamento T16. Os menores resultados de MOE foram os apresentados pelo tratamento T12. Para a propriedade de MOR os tratamentos que obtiveram os maiores valores foram os tratamentos T14 e T16, e os menores valores foram os obtidos pelo tratamento T12.

Na Figura 21 estão a comparação dos tratamentos do grupo 3 com a testemunha e com a norma utilizada (1600 MPa).

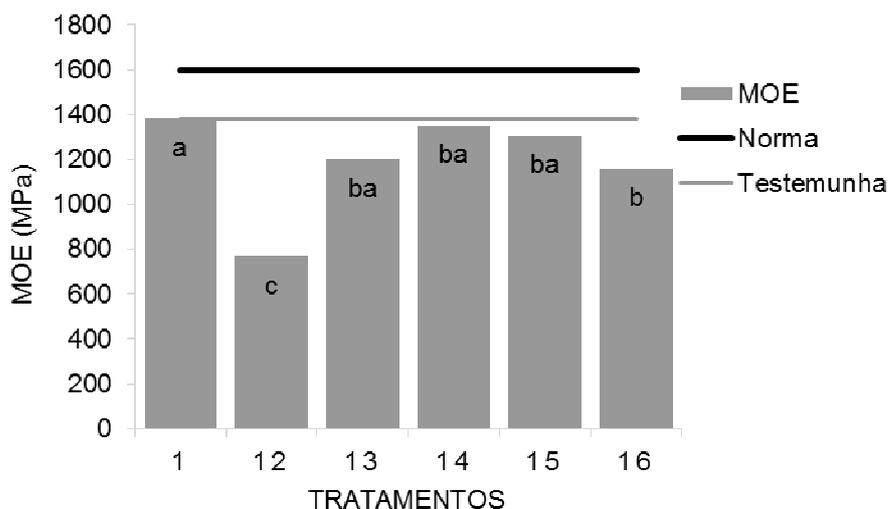


FIGURA 21 - VALORES DE MOE DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

É possível observar que os tratamentos T13, T14, T15 não foram significativamente diferentes da testemunha, enquanto que tratamentos T12 e T16 diferiram significativamente. Assim, assume-se que os tratamentos que não possuem diferença significativa com a testemunha, possuem aptidões iguais a da testemunha. Nenhum tratamento obteve resultados satisfatórios para norma utilizada.

Na Figura 22 estão os resultados médios de MOR dos tratamentos do grupo 3, comparados com à testemunha e à norma (13 MPa).

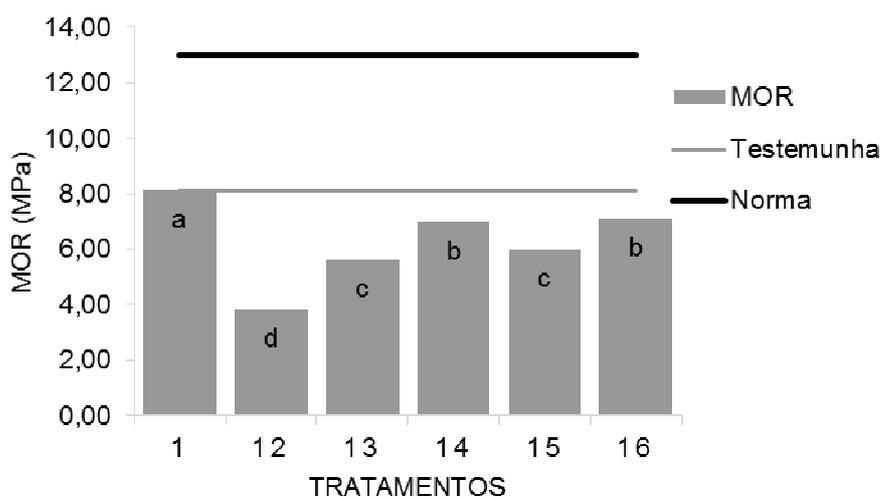


FIGURA 22 - VALORES DE MOR DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Nenhum dos tratamentos propostos atingiu valores estatisticamente iguais à testemunha. Nenhum tratamento proposto pelo grupo 3 atingiu as especificações da norma para o teste de MOE.

Levando em consideração todos os tratamentos desta pesquisa nos testes de flexão estática existem algumas afirmações podem ser feitas.

Um fator que deve ser considerado para analisar os resultados de MOE e MOR dos tratamentos, a geometria da partícula, é uma característica intrínseca ao teste de flexão estática, como citado por Bianche *et al.* (2012), Peixoto e Brito (2000), e Maloney (1993).

Nesse sentido, como o resíduo de MDF não possui muita elasticidade, como comprovada pelos resultados de MOE, pode-se inferir que isso pode ser explicado pelas partículas de MDF, que não possuem as mesmas estruturas da madeira, e sim de fibras. As poucas estruturas que existiam no resíduo foram as que remanesceram dos processos de produção das partículas. Os resultados do MDF para MOR foram também os menores dentre os resíduos testados, possivelmente explicado também pela sua formação particular. A adição de *Pinus*, no caso dos resíduos de MDF, significou um acréscimo considerável nas propriedades de MOE e MOR.

Na pesquisa sobre efeito do carregamento cíclico de painéis MDF e MDP de Del Menezzi, *et al.* (2011), os autores concluíram que os painéis de MDF possuem resistências menores que os painéis MDP quando aplicada carga prolongada, pois reduz-se suas resistências com o passar do tempo. Não foi possível classificar a quantia de carga que cada resíduo recebeu antes do início da pesquisa, mas esses resultados corroboram as conclusões de Del Menezzi *et al.* (2011) sobre a menor resistência do MDF comparadas ao MDP.

O resíduo de aglomerado apresentou resultados medianos para as propriedades de MOE e MOR, provavelmente resultado dos seus menores valores de índice de esbeltez, pois, segundo Suchsland e Woodson (1990), a geometria da partícula no painel é tão ou até mais influente que qualquer propriedade mecânica da fibra. No processo de formação foi possível notar uma geometria mais quadrangular das partículas de aglomerado, possivelmente resultado da partícula já ter sido reduzida anteriormente no processo de formação do aglomerado original. Essa formação mais quadrangular das partículas justifica os menores valores de índice de esbeltez pois essa característica está diretamente relacionada ao comprimento das partículas.

Outra particularidade das partículas do resíduo de aglomerado foram suas espessuras. Vital *et al.* (1992) afirmam para obter um painel com maior rigidez é necessário empregar partículas mais finas (0,3 mm), e neste caso a partícula de aglomerado apresentou a maior espessura, de 0,769 mm. Essa maior espessura pode ser explicada pela resina residual presente nas partículas provenientes de seu processo de formação original.

O resíduo de madeira maciça obteve bons resultados de MOE, certamente associados aos valores de índice de esbeltez das suas partículas, que está correlacionado com essa propriedade. Quanto maior o índice de esbeltez normalmente melhor serão os resultados de flexão estática (MOSLEMI,1974; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005a).

Na pesquisa de Weber (2011) utilizando resíduos da produção de painéis (MDP, MDF e compensado) com diferentes quantidades de resina (6% e 10%), no mesmo laboratório desta pesquisa, não encontrou para nenhum tratamento de seu delineamento os requerimentos prescritos pela norma EN 312 (2002). Desta forma, demonstra-se as complicações da reciclagem destes materiais para as propriedades de MOE e MOR.

Para essa faixa de espessura, a norma NBR 14810 que diz respeito a painéis de madeira aglomerada, exige valores de módulo de ruptura 18 MPa de carga, os quais não foram atingidos por nenhum tratamento desta pesquisa, incluindo a testemunha. Quanto a norma CS 236-66 (1968), requer-se aproximadamente 11,03 MPa de MOR e MOE aproximadamente 1723,69 MPa, dessa forma, nenhum tratamento desta pesquisa atingiu esses requisitos, incluindo a testemunha. Como demonstrado nas figuras, a norma EN 312 demanda 13 MPa de MOR e 1600 MPa de MOE, exigências não atendidas por nenhum tratamento, incluindo a testemunha.

Tendo em vista que a testemunha é a partícula utilizada pela indústria para produção de MDP, pode-se admitir que ela apresenta um nível de qualidade industrial mínimo, e a diferença entre a norma e a testemunha existe devido à produção laboratorial se distinguir da produção industrial. Dito isso, se admite neste estudo que, os tratamentos que se igualaram ou superaram estaticamente a testemunha, tem potencial para a produção industrial. Os tratamentos que atingiram tais valores foram os tratamentos T4, T5, T8, T9 e T10.

Dos 5 tratamentos citados como tratamentos com potencial, dois foram tratamentos homogêneos de compensado e de madeira maciça, e três foram

tratamentos com 25% de aglomerado, compensado e madeira maciça. Portanto, não existe nenhuma adição de 50% de resíduo que atinja esse parâmetro de validação, limitando assim, para o teste de flexão, a adição de resíduos em até 25%.

Como nenhum tratamento atingiu os requisitos da norma, incluindo a testemunha, uma alternativa para melhorar esses resultados de flexão estática é alterar o processo de produção de partículas. Com a diminuição da espessura da partícula, ocorre uma melhor distribuição das tensões do painel além de uma ocupação de espaços vazios dos painéis, assim melhorando as resistências a flexão (VITAL *et al.* 1992), mesma conclusão encontrada por Alves (2013).

Nas indústrias de painéis MDP são utilizadas matérias primas diferentes nas camadas internas das camadas externas. Nas camadas mais internas são utilizadas partículas de maiores dimensões, enquanto nas camadas mais externas as partículas são de menores dimensões, conferindo um melhor acabamento superficial ao painel (IWAKIRI *et al.*, 2005b). Essa escolha de diferentes camadas do painel também se dá devido as exigências nas diferentes posições do painel, pois segundo a lei de Navier, as camadas que sofrem maiores esforços mecânicos nas tensões de flexão são as mais externas.

Como observado nos resultados do teste de flexão estática, os painéis não obtiveram valores médios de MOR e MOE que atinjam os pré requisitos da norma EN, assim a matéria prima que se propõe essa pesquisa é mais indicada para preenchimento da camada interna de painéis MDP.

5.2.2.2 Ligação Interna

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados de ligação interna do grupo 1, tratamentos puros (100%). Os valores médios variaram de 0,96 a 0,18 MPa e os coeficientes de variação médios foram de 10,21 a 16,21%. As massas específicas médias variaram de 0,67 a 0,74g/cm³, variação alta o suficiente para haver diferença estatística entre os tratamentos, assim justificando a aplicação da ferramenta estatística ANCOVA, relacionando a massa específica com os resultados mecânicos.

TABELA 13 – VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 1 – TRATAMENTOS PUROS COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	LI (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,69 ^{bc} (4,73)	0,91 ^a (10,21)
T2 MDF	0,72 ^{ba} (5,8)	0,18 ^d (15,06)
T3 Aglo	0,70 ^{abc} (8,06)	0,75 ^b (16,21)
T4 Com	0,67 ^c (3,55)	0,36 ^c (14,99)
T5 Mad	0,72 ^{ab} (6,32)	0,96 ^a (12,33)
T6 Mix	0,74 ^a (4,85)	0,76 ^b (15,90)

NOTAS: ME: massa específica; LI: Ligação interna; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, na mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,705 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Os melhores resultados, dentre os resíduos, foram obtidos pelo tratamento T5, composto puramente por resíduos de madeira maciça, seguidos pelos tratamentos 6, 3, 4, 2, respectivamente e por ordem de grandeza.

No Figura 23 estão os valores médios de LI do grupo, comparados aos resultados e a norma EN 312 (0,4 MPa).

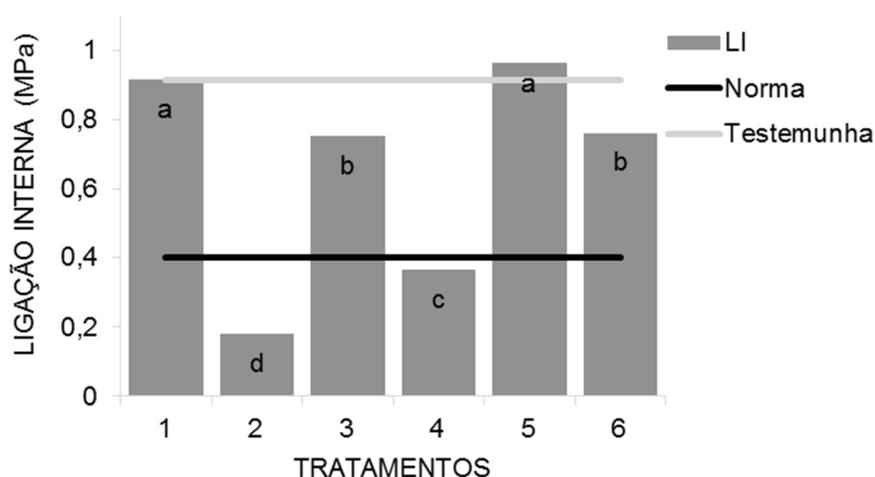


FIGURA 23 - VALORES DE LI DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
FONTE: O autor (2015)

Quanto a utilização da norma, assim como no teste de flexão estática, os requisitos foram baseados em função da finalidade do painel e da espessura real

dos corpos de prova, não a nominal dos corpos de prova como descritos na norma. Essa escolha foi tomada no sentido de comparar os resultados dos testes e as dimensões reais do corpo de prova, considerando-se então que esta seja uma avaliação mais fiel dos painéis.

A razão da mudança da faixa de espessura no teste de LI é que na confecção dos corpos de prova, para obter uma camada superficial mais homogênea os corpos de prova foram lixados, assim reduzindo a sua espessura para valores menores que 13 mm. Enquanto nos outros testes a espessura ficou no grupo de 13 a 20mm, no teste de ligação interna foi adequada no grupo 6 a 13mm.

É possível observar na figura, que o tratamento T5 possui valores médios de ligação interna maiores que a testemunha. Os tratamentos T3 e T6 foram inferiores estatisticamente em relação à testemunha, porém alcançaram os valores mínimos requeridos pela norma. Os tratamentos T2 e T4 não obtiveram valores mínimos requeridos pela norma utilizada (0,4 MPa).

Na Tabela 14 estão os resultados de ligação interna do grupo 2, tratamentos compostos pela adição de 25% de resíduos em um painel de *Pinus*. Os valores médios encontrados foram entre 0,92 e 0,61 MPa e os coeficientes de variância entre 8,61 a 13,51%. As massas específicas médias variaram de 0,69 a 0,73g/cm³, valores que se diferenciaram estatisticamente.

TABELA 14 – VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	LI (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,69 ^b (4,73)	0,91 ^a (10,21)
T7 25%MDF	0,70 ^{ab} (6,37)	0,61 ^b (12,98)
T8 25%Aglo	0,70 ^{ab} (4,31)	0,91 ^a (13,51)
T9 25%Com	0,70 ^{ab} (3,95)	0,89 ^a (13,45)
T10 25%Mad	0,71 ^{ab} (3,79)	0,92 ^a (8,61)
T11 25%Mix	0,73 ^a (2,91)	0,83 ^a (11,09)

NOTAS: ME: massa específica; LI: Ligação interna; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, na mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%. Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,706 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Os maiores valores médios de LI foram apresentados pelo tratamento T10, porém o único tratamento que diferiu estatisticamente deste foi o tratamento T7, que obteve menor resultado. Os demais tratamentos foram iguais estatisticamente ao tratamento T10 quanto à LI.

Na Figura 24 estão os resultados de LI dos tratamentos do grupo 2 comparados com à testemunha (0,91 MPa), com à norma (0,4 MPa) e entre si.

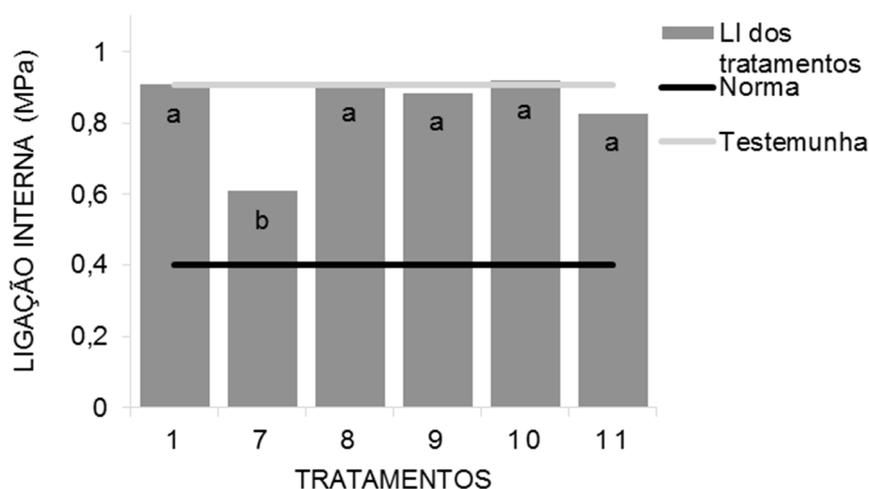


FIGURA 24 - VALORES DE LI DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Os tratamentos T8, T9, T10 e T11 não diferiram estatisticamente da testemunha. O tratamento T7 diferiu estatisticamente da testemunha com menores resultados, porém isso não impede a sua viabilidade, pois ele excedeu os requerimentos da norma utilizada.

Na Tabela 15 estão apresentados resultados médios de ligação interna dos tratamentos do grupo 3, adição de 50% de resíduos de RCD em um painel de *Pinus*. Os valores variaram de 0,93 a 0,49 MPa e o coeficiente de variação oscilou entre 9,16 e 14,96%. A massa específica média dos corpos de prova não foi diferente estatisticamente, e variou de 0,69 a 0,72 g/cm³.

TABELA 15 – VALORES MÉDIOS DE LIGAÇÃO INTERNA DOS TRATAMENTOS DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	ME (g/cm ³)	LI (MPa)
T1 <i>Pinus</i>	0,69 ^a (4,73)	0,92 ^a (10,21)
T12 50%MDF	0,72 ^a (5,45)	0,49 ^c (12,98)
T13 50%Aglo	0,72 ^a (5,06)	0,93 ^a (9,16)
T14 50%Com	0,72 ^a (3,90)	0,88 ^{ab} (13,68)
T15 50%Mad	0,71 ^a (5,71)	0,86 ^{ab} (14,96)
T16 50%Mix	0,71 ^a (5,06)	0,81 ^b (12,25)

NOTAS: ME: massa específica; LI: Ligação interna; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, na mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%; Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,711 g/cm³.

FONTE: O autor (2015)

Para o grupo 3 os maiores valores médios foram do tratamento T13, composto por 50% *Pinus* e 50% resíduo de aglomerado. O tratamento T12 apresentou menores valores.

Na Figura 25 estão os valores de ligação interna dos tratamentos do grupo 3 comparados à testemunha (0,92 MPa), à norma (0,4 MPa) e entre si. Os tratamentos 13,14 e 15 não diferiram estatisticamente da testemunha.

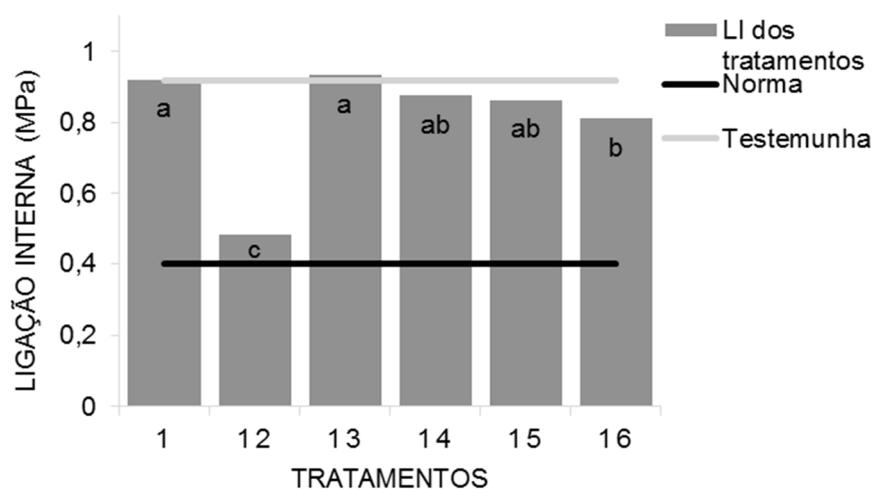


FIGURA 25 - VALORES DE LI DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
FONTE: O autor (2015)

O tratamento T16 não diferiu dos tratamentos T14 e T15. O tratamento com menor valor de LI foi o tratamento T12, mas mesmo ele obteve valores suficientes para ser aprovado pela norma utilizada, assim como todos os demais.

De forma geral podemos inferir algumas afirmações sobre os painéis produzidos através dos testes de ligação interna. Para painéis produzidos com a mesma quantidade de resina, a área superficial específica das partículas influi na ligação interna. A correlação entre a área superficial da partícula e da LI é referente a disponibilidade de resina do painel, no sentido que uma maior área superficial resultará numa menor disponibilidade de resina para o painel e conseqüentemente uma ligação interna menor. Essa é a conclusão de diversos autores, o teor de resina e a ligação interna estão relacionados Iwakiri (2005a), Maloney (1993), Kelly (1977) e Moslemi (1974). Porém, nesta pesquisa essa propriedade da geometria da partícula foi obtida de forma adaptada, tendo em vista que a massa específica da madeira utilizada foi a massa específica a granel, por isso o volume da partícula também foi utilizado para correlacionar a LI.

O resíduo de MDF apresentou os menores resultados de LI, dentre os tratamentos, mas a adição de *Pinus* proporcionou o aumento dessa propriedade, da forma que os tratamentos em que o resíduo de MDF foi utilizado como adição, tanto para 25 como para 50%, resultou em painéis aprovados pela norma. Os baixos valores de LI podem ser explicados pela baixa disponibilidade de resina no painel, resultado da presença de pó neste resíduo.

O resíduo de compensado não atingiu os requisitos da norma quando utilizado como único produto para a produção de um painel aglomerado. Contudo a adição de 25% ou 50% deste material se tornaram viáveis quando comparadas as normas.

Os resíduos de aglomerado e de madeira maciça obtiveram os melhores resultados, pois atingiram a norma nos painéis puros (grupo 1) e nas adições de 25% (grupo 2) e de 50% (grupo 3) de resíduo. A madeira maciça contudo foi o único dos resíduos que se igualou estatisticamente à testemunha em todas os delineamentos da pesquisa.

A superioridade dos resultados da testemunha e do resíduo de madeira maciça, para ligação interna, pode ser justificado pelo menor volume de suas partículas, ideia que é corroborado pela afirmação de Peixoto e Brito (2000), que

afirmam que partículas menores preenchem os espaços vazios e tornam os painéis homogêneos.

Observando o tratamento T6, composto pela mistura de todos os resíduos em partes iguais, podemos notar que este delineamento é favorável para esta propriedade de LI, já que os resíduos misturados obtiveram resultados aceitáveis para a norma em todas as proporções.

A norma CS 236-66 (1968) exige para um painel nas especificações deste trabalho, uma resistência de ligação interna de 70 psi, aproximadamente 0,48 MPa. Os tratamentos aprovados nessa norma, além da testemunha, foram: T3, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15 e T16.

Já quanto as exigências da norma brasileira NBR 14810-2 são de 0,4 MPa quanto à LI, para um painel de espessura entre 8 e 13 mm. Esse mesmo valor é exigido pela norma EN 312.

Os tratamentos que atingiram os requisitos da norma EN 312, foram, além da testemunha, os tratamentos T3, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15 e T16. Já os tratamentos que obtiveram resultados maiores ou iguais estatisticamente a testemunha foram os tratamentos T5, T8, T9, T10, T11, T13, T14 e T15.

Se considerarmos os esforços presentes na camada interna de um painel MDP, o teste que melhor apresenta as resistências desta camada é o teste de tração perpendicular (ligação interna). Essa afirmação é corroborada pelo fato de que é na camada interna onde ocorre a ruptura do corpo de prova deste teste, portanto a carga registrada reflete a resistência desta região.

Os resultados de ligação interna fortalecem a possibilidade desses resíduos serem utilizados como componentes da matéria prima para camada interna, vendo que com a exceção dos tratamentos T2 e T4, todos os tratamentos obtiveram os pré requisitos prescritos pela norma.

5.2.2.3 Arrancamento de parafuso

A partir deste ponto estão apresentados os resultados para arrancamento de parafuso. Os arrancamentos foram realizados em duas posições, no topo e na superfície, como descrito pela norma ABNT NBR 14810-3:2006.

Na Tabela 16 estão apresentados os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície do painel (APS) e arrancamento de parafuso no topo (APT),

assim como a massa específica média dos corpos de prova e o coeficiente de variação de para cada tratamento do grupo 1, painéis puros (100%).

TABELA 16 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 1 – TRATAMENTOS PUROS, COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	APS		APT	
	ME (g/cm ³)	CARGA (N)	ME (g/cm ³)	CARGA (N)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^a (6,60)	1183 ^a (13,16)	0,66 ^a (5,66)	1139 ^a (11,69)
T2 MDF	0,68 ^a (8,30)	466 ^e (24,50)	0,63 ^a (6,28)	341 ^e (21,40)
T3 Aglo	0,67 ^a (6,29)	794 ^c (16,60)	0,62 ^a (5,42)	606 ^d (17,48)
T4 Com	0,66 ^a (4,38)	735 ^d (11,22)	0,64 ^a (4,04)	571 ^d (14,87)
T5 Mad	0,66 ^a (6,25)	940 ^b (14,07)	0,63 ^a (5,70)	865 ^b (16,00)
T6 Mix	0,69 ^a (7,70)	808 ^c (20,19)	0,65 ^a (6,55)	758 ^c (14,80)

NOTAS: ME: massa específica; APS, arrancamento de parafuso na superfície; APT, arrancamento de parafuso no tipo; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%; Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,675 g/cm³ para APS e 0,636 g/cm³ para APT.

FONTE: O autor (2015)

Os valores de APS dos tratamentos com resíduos, variaram de 940 a 466 N, enquanto que as massas específicas variaram de 0,66 a 0,69 g/cm³ e não diferiram estatisticamente entre si. Já os valores de APT, dos tratamentos com resíduos, variaram de 865 a 341 N, e as massas específicas variaram de 0,63 a 0,65 g/cm³ não diferindo estatisticamente entre si.

Pelos valores da Tabela 16, observa-se que o melhor resíduo foi a madeira maciça nos testes de APS e APT. Os resíduos de aglomerado e a mistura de todos os resíduos, apresentaram resultados intermediários, pois foram maiores e diferiram estatisticamente do tratamento de compensado. Os menores resultados foram apresentados pelo tratamento T2, composto unicamente por MDF.

Na Figura 26 estão os resultados médios de APS do grupo 1, comparados à testemunha (1183 N) e à norma NBR 14810 (1020 N).

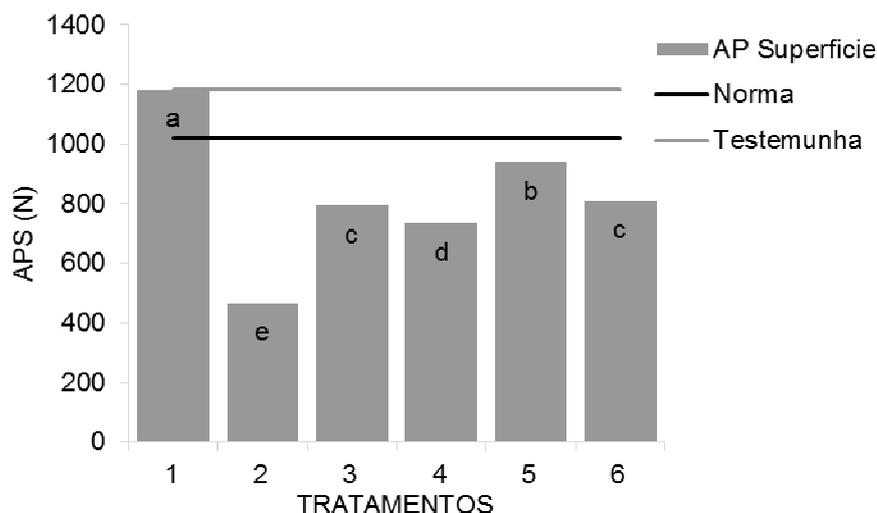


FIGURA 26 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

É possível observar que, fora a testemunha, nenhum tratamento foi aprovado nessa norma, e que nenhum tratamento do grupo 1 se igualou estatisticamente a testemunha para o teste de APS.

Na Figura 27 estão os resultados médios de APT do grupo 1, comparados com à testemunha (1139 N) e à norma NBR 14810 (800 N).

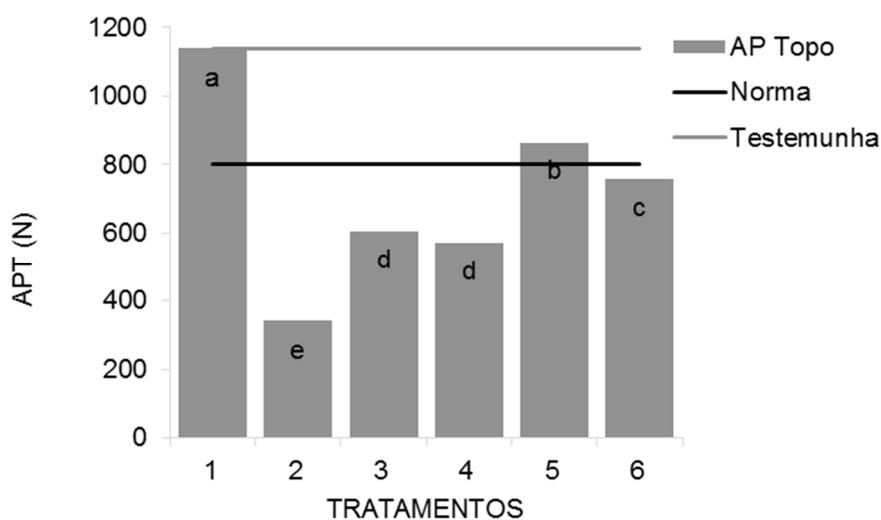


FIGURA 27 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 1 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Novamente, observa-se que nenhum tratamento se igualou à testemunha no teste de APT, e que apenas o tratamento T5 foi aprovado segundo os requisitos da norma.

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície do painel (APS) e arrancamento de parafuso no topo (APT), assim como a massa específica média dos corpos de prova e o coeficiente de variação de cada tratamento do grupo 2, adição de 25% de resíduos.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 2 – ADIÇÃO DE 25% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	APS		APT	
	ME (g/cm ³)	CARGA (N)	ME (g/cm ³)	CARGA (N)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^a (6,60)	1177 ^a (13,16)	0,66 ^a (5,66)	1122 ^a (11,69)
T7 25%MDF	0,66 ^a (7,69)	988 ^d (18,70)	0,60 ^c (6,68)	887 ^b (20,23)
T8 25%Aglo	0,66 ^a (5,46)	1078 ^{bc} (14,00)	0,64 ^{ab} (4,26)	1055 ^a (11,68)
T9 25%Com	0,67 ^a (6,26)	1092 ^b (15,32)	0,61 ^{bc} (5,11)	1008 ^{ab} (15,71)
T10 25%Mad	0,69 ^a (6,15)	1009 ^{cd} (17,03)	0,66 ^a (5,09)	1074 ^a (15,55)
T11 25%Mix	0,67 ^a (5,27)	951 ^d (14,39)	0,64 ^{ab} (4,47)	901 ^b (17,52)

NOTAS: ME: massa específica; APS, arrancamento de parafuso na superfície; APT, arrancamento de parafuso no tipo; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%; Valores ajustados por ANCOVA para massa específica aparente de 0,674 g/cm³ no APS e 0,634 g/cm³ no APT.

FONTE: O autor (2015)

Os valores, dos tratamentos com resíduos, de APS variaram de 1092 a 951 N, e as massas específicas variaram de 0,66 a 0,68 g/cm³ não diferindo estatisticamente entre si. Os valores de APT dos tratamentos com resíduos, variaram de 1074 a 887 N, enquanto que as massas específicas variaram de 0,63 a 0,65 g/cm³, não diferindo estatisticamente entre si.

O resíduo que apresentou os melhores resultados para adição de 25% no conjunto dos testes de APS e APT foi o compensado, seguido pelo resíduo de aglomerado. O resíduo de madeira maciça obteve valores intermediários, enquanto que os menores resultados foram obtidos pelos tratamentos MDF, assim como para a combinação de todos os resíduos.

Na Figura 28 estão os valores médios de APS do grupo 2, comparados à norma NBR 14810 (1020 N) e à testemunha (1177 N).

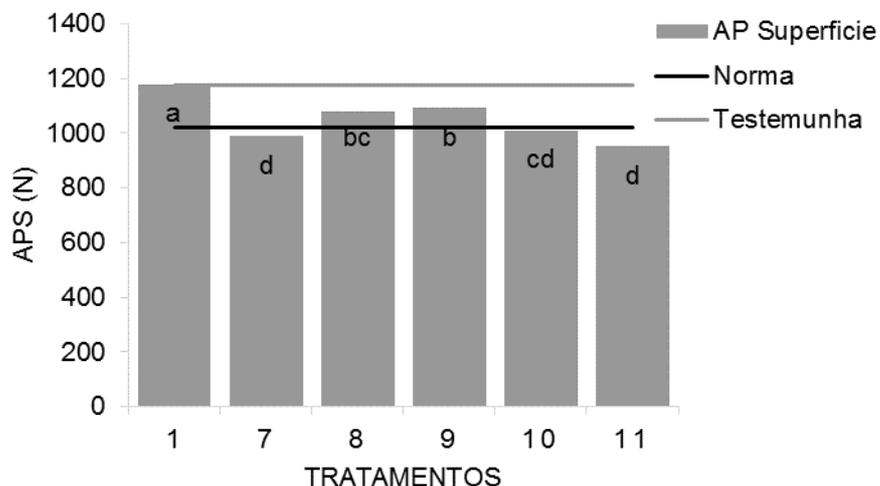


FIGURA 28 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFICIE DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Nenhum dos tratamentos se igualou estatisticamente à testemunha, além disso, fora a testemunha, somente os tratamentos T8 e T9 obtiveram os requisitos mínimos da norma utilizada.

Na Figura 29 estão os valores médios de APT do grupo 2, comparados à norma NBR 14810 (800 N) e à testemunha (1122 N).

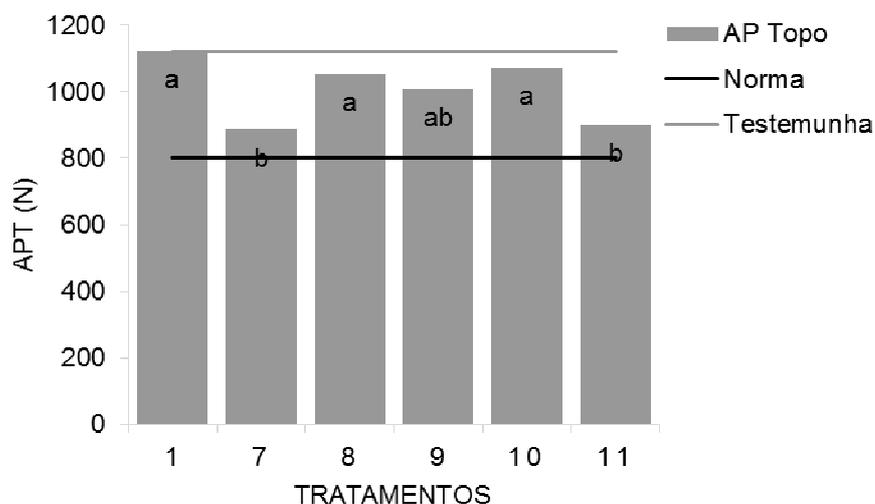


FIGURA 29 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 2 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Podemos observar que os tratamentos T8, T9 e T10 se igualaram estatisticamente a testemunha. Dentre os tratamentos compostos por 25% de resíduos e 75% de *Pinus*, todos obtiveram os requerimentos mínimos especificados pela norma utilizada.

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície do painel (APS) e arrancamento de parafuso no topo (APT), assim como a massa específica média dos corpos de prova e o coeficiente de variação de cada informação, do grupo 3, painéis com adição de 50% de resíduo.

TABELA 18 – VALORES MÉDIOS DOS TESTES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DO GRUPO 3 – ADIÇÃO DE 50% DE RESÍDUO COMPARADOS À TESTEMUNHA

TRATAMENTO	APS		APT	
	ME (g/cm ³)	CARGA (N)	ME (g/cm ³)	CARGA (N)
T1 <i>Pinus</i>	0,68 ^a (6,60)	1198 ^a (13,16)	0,66 ^a (5,66)	1132 ^a (11,69)
T12 50%MDF	0,66 ^a (9,44)	831 ^e (24,37)	0,63 ^{ab} (7,33)	794 ^c (22,12)
T13 50%Aglo	0,68 ^a (5,86)	951 ^d (11,73)	0,64 ^a (5,67)	932 ^b (11,58)
T14 50%Com	0,70 ^a (5,89)	1035 ^{bc} (13,87)	0,66 ^a (4,26)	963 ^b (13,62)
T15 50%Mad	0,69 ^a (6,70)	986 ^{cd} (15,94)	0,66 ^a (5,86)	997 ^b (16,50)
T16 50%Mix	0,66 ^a (6,24)	1068 ^b (13,17)	0,60 ^b (4,40)	1018 ^{ab} (14,25)

NOTAS: ME: massa específica; APS, arrancamento de parafuso na superfície; APT, arrancamento de parafuso no tipo; (...) coeficiente de variação em %; Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, dentro da mesma coluna, são estatisticamente iguais entre si ao nível de probabilidade de 95%; Valores ajustados por ANCOVA para uma massa específica aparente de 0,681 g/cm³ para APS e 0,640 g/cm³ para APT.

FONTE: O autor (2015)

Os valores de APS, dos tratamentos com resíduos, variaram de 1068 a 831 N, enquanto que as massas específicas variaram de 0,66 a 0,7 g/cm³ não diferindo estatisticamente entre si. Da mesma forma, os valores dos tratamentos com resíduos, de APT variaram de 1018 a 794 N, e as massas específicas variaram de 0,60 a 0,66 g/cm³ não diferindo estatisticamente entre si.

As melhores adições de 50% no conjunto dos testes de APS e APT foram dos tratamentos de resíduos de compensado (T14) e da mistura de todos os resíduos

(T16). Os menores resultados foram apresentados pelo tratamento composto pela adição de 50% de MDF.

Na Figura 30 estão os valores médios de APS do grupo 3, comparados à norma NBR 14810 (1020 N) e à testemunha (1198 N).

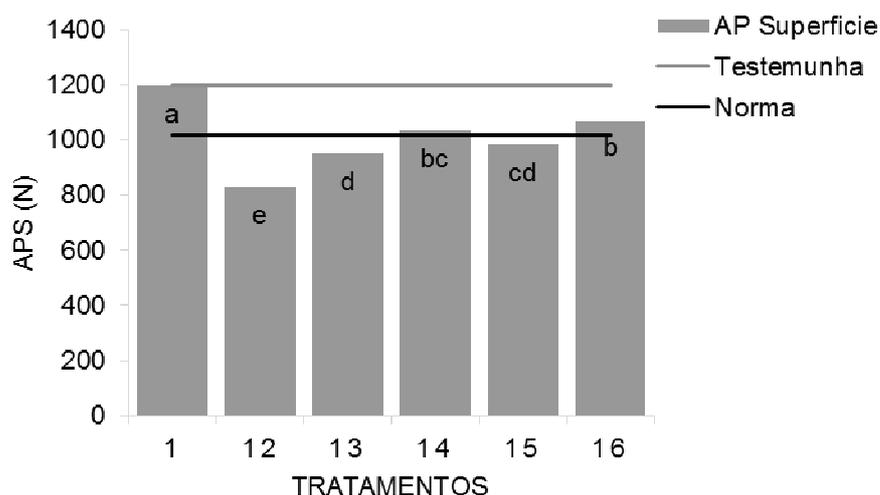


FIGURA 30 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA
 FONTE: O autor (2015)

Podemos observar que nenhum dos tratamentos se igualou estatisticamente à testemunha. Além da testemunha, os tratamentos T16 e T14 atingiram os requisitos da norma para o teste de APS.

Na Figura 31 estão os valores médios de APT do grupo 3, comparados à norma NBR 14810 (800 N) e à testemunha (1131 N).

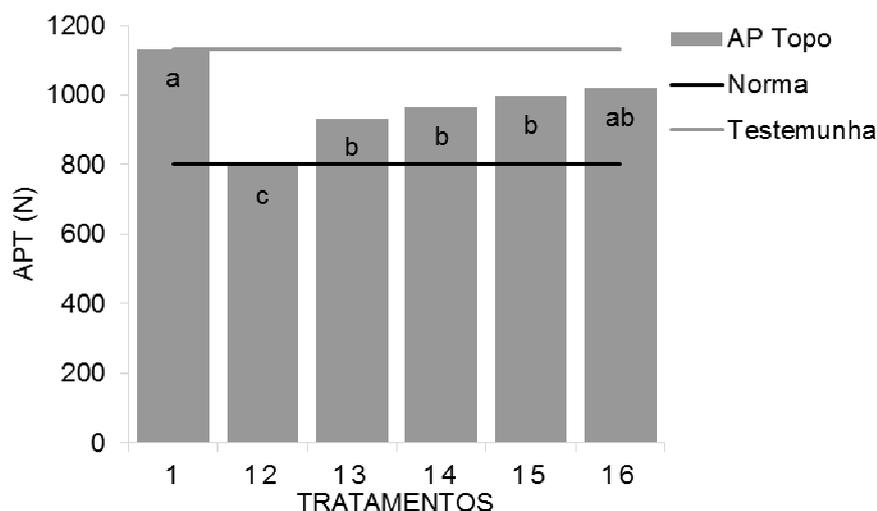


FIGURA 31 - VALORES DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO GRUPO 3 COMPARADOS À TESTEMUNHA E À NORMA

FONTE: O autor (2015)

O tratamento T16 foi o único que se igualou estatisticamente à testemunha. Com a exceção do tratamento T12, todos os tratamentos desse grupo atingiram os requerimentos da norma para o teste de APT.

De forma geral, pode-se afirmar com os testes de arrancamento de parafuso na superfície e no topo dos painéis produzidos, as seguintes hipóteses.

A superioridade dos resultados de arrancamento de parafuso na superfície em relação ao arrancamento de topo pode ser explicado pela autora Weber (2011) que afirma que, como o parafuso de topo é fixado exclusivamente no centro do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação, favorece os resultados superiores na superfície. Essa afirmação também corrobora a idéia de que a massa específica e o perfil de densidade estão relacionados com o arrancamento de parafuso.

Os resíduos de MDF, assim como em todos os testes mecânicos, foram os que apresentaram os menores resultados tanto para APS quanto para APT.

Os resíduos utilizados como fonte pura se mostraram desfavoráveis, observando que os menores resultados foram os do grupo 1.

A adição do *Pinus* em até 75% aumentou os resultados para os tratamentos de resíduos, com a exceção dos tratamentos de resíduos mistos, 11 e 16. Esse aumento de resistência possivelmente é explicado pela alta taxa de compactação do *Pinus*, pois, com a exceção do MDF, foi o material que apresentou menor massa específica a granel, resultando na maior taxa de compactação.

A norma CS 236-66 (1968) exige, para um painel com as especificações próximas aos dessa pesquisa, cargas de 225lbs, aproximadamente 1001N, na superfície. Exigência atendida, além da testemunha, pelos tratamentos T8, T9, T10, T14 e T16. Da mesma forma, a norma CS 236-66 (1968) exige, para um painel com as especificações próximas aos dessa pesquisa, cargas de 160lbs, ou aproximadamente 712N, no topo. Exigência atendida, além da testemunha, pelos tratamentos T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15 e T16.

Os tratamentos que atingiram os requisitos mínimos da NBR 14810-2 para o teste de APS foram os tratamentos: T8, T9, T14, T16, assim como a testemunha. Os tratamentos que atingiram os requisitos mínimos da NBR 14810-2 para o teste de APT foram os tratamentos: T5, T7, T8, T9, T10, T11, T13, T14, T15, T16, além da testemunha.

Nenhum dos tratamentos propostos com resíduos se igualou estatisticamente à testemunha nos testes de APS. Os tratamentos propostos com resíduos que se igualaram estatisticamente com à testemunha nos testes de APT foram os tratamentos: T8, T9, T10 e T16.

5.2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral foi possível resumir os resultados dos testes físicos e mecânicos dos tratamentos na Tabela 19, onde vemos que o único tratamento aprovado pelas normas ou pela comparação com à testemunha foi o tratamento 8, composto de 75% de *Pinus* e 25% de aglomerado. Podemos também destacar que o mais promissor dos tratamentos puros de resíduos foi o T5, composto de 100% de madeira maciça.

TABELA 19 - RESULTADOS FÍSICO E MECANICOS DOS TRATAMENTOS COMPARADOS COM SUAS RESPECTIVAS NORMAS E TESTEMUNHA

TRAT	PROPRIEDADES AVALIADAS													
	AA	IE			MOR		MOE		LI		APS		APT	
	≤ T1	≤ T1	EN	NBR	≥ T1	EN	≥ T1	EN	≥ T1	EN	≥ T1	NBR	≥ T1	NBR
T1				X						X		X		X
T2		X		X										
T3	X	X		X					X					
T4					X		X							
T5	X	X		X	X		X		X	X				X
T6	X	X		X	X				X					
T7									X					X
T8	X	X		X	X		X		X	X		X	X	X
T9	X				X		X		X	X		X	X	X
T10	X				X		X		X	X			X	X
T11	X	X							X	X				X
T12									X					
T13	X	X		X			X		X	X				X
T14							X		X	X		X		X
T15	X	X		X			X		X	X				X
T16		X	X						X			X	X	X

Notas: AA: Absorção de Água; IE: Inchamento em Espessura; MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; LI: Ligação Interna; APS: Arrancamento de Parafuso na Superfície; APT: Arrancamento de Parafuso no Topo; ≤ T1: Menor ou igual estatisticamente à testemunha; ≥ T1: Maior ou igual estatisticamente à testemunha; X: Fator de comparação que foi aprovado; Células Claras: Resultados satisfatórios para a coluna; Células Escuras: Resultados insatisfatórios para a coluna.

Fonte: O autor (2015)

Uma alternativa para melhorar as propriedades desses painéis, e assim viabilizar a utilização dos componentes do resíduo de construção e demolição, é aumentar a quantidade de resina. Com o aumento da disponibilidade de resina no compósito aumenta as interações e as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Em contrapartida resultaria num aumento no custo, mas tratando se de uma matéria prima com custos relativos baixos, a viabilidade pode ser alcançada.

Se considerarmos a utilização desses tratamentos como matéria prima para camada interna podemos, considerando apenas o teste de ligação interna, podemos afirmar que, com a exceção do tratamento T2 (100% MDF) e T4 (100% compensado), todos os tratamentos podem ser usados.

6 CONCLUSÕES

Com a presente pesquisa, podemos apresentar as seguintes conclusões acerca do uso de resíduo de construção e demolição para a produção de painéis aglomerados:

- A madeira presente nos resíduos de construção e demolição possuem potencial para servirem de matéria prima para produção de painéis aglomerados;
- Os tratamentos propostos na pesquisa, com a exceção do MDF e compensado na composição pura (100%), são indicados para utilização como matéria prima para camada interna de painéis MDP;
- Dentre os produtos de madeira segregados no resíduo, a madeira maciça é o mais indicado para ter a sua utilização pura (100%) em um painel aglomerado;
- Os tratamentos com adição de 25% do resíduo se apresentaram como uma melhor opção do que os tratamentos com adição de 50% de resíduo;
- Dentre as adições propostas na pesquisa, o tratamento composto de 25% de resíduo de aglomerado e 75% de partículas de pinus foi indicado para utilização, pois obteve os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas propostas ou igualdade estatística em relação à testemunha.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, apresenta-se a seguir algumas recomendações para futuros estudos:

- Quantificação e classificação dos resíduos que chegam a recicladora com a intenção de mensurar a disponibilidade da matéria prima utilizada nessa pesquisa;
- Avaliação química dos resíduos de madeira de construção e demolição, com a intenção de melhor caracterizar a madeira;
- O desenvolvimento de diferentes metodologias para o processamento do resíduo de MDF;
- Produção de painéis aglomerados com diferentes adições de resíduos, para aprofundar a compreensão das interações entre *Pinus* e os resíduos. Recomendam-se adições inferiores a 25%;
- A utilização de partículas com geometrias diferentes, com menor largura, com a intenção de obter os requisitos mínimos de módulo de ruptura e de módulo de elasticidade prescritos pelas normas.

REFERÊNCIAS

ALBIN, R. A. Determinacion del pH en diversas especies de los renovales de la provincial de Valdivia. **Bosque**, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1975.

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALVES, L. S. **Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de são José do rio preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe, p. 114, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Números**. 2014a. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>> Acesso em 13/11/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Nossos Produtos – MDF**. 2014b. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php>> Acesso em 15/11/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **ESTUDO SETORIAL 2009 ANO BASE 2008**. Disponível em <<http://www.abimci.com.br/estudos-setoriais/>>. Acesso em 14 janeiro 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922**. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14810 – 2 – Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos**. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14810 – 3 – Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio**. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - ABNT. **NBR 15316-1: Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2006.

BARBOSA, A. M.; **Avaliação da qualidade dos painéis mdf comercializados na região de pelotas**. 68 pg. Monografia. (Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630. 2012.

BIDONE, F. R. A. (Coord.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 282p, 2001.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Malabar, Florida, Krieger Publishing Company. 711 p., 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 303, de 20 de março de 2002** – Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. Brasília, 2002.

BRASIL. **Lei no 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 5, 8 jan. 2007. Seção 1, p. 3-7. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: set. 2014.

BROOKS, D. R.; WILEY, E. O. **Evolution as entropy**. Chicago, University of Chicago Press, 1988.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

CARVALHO, A. **Madeiras portuguesas - estrutura anatómica, propriedades, utilizações**. Vol I, Lisboa: Instituto Florestal, 340p, 1996.

COMMERCIAL STANDARD. **CS-236**: Mat formed wood particleboard. San Francisco: CS, 1966.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

COSTA, B. C.; CAMPOS, C. N.; DUARTE, M. A. H.; CHAVES, M. G. A. M.; GRIZZO, L. T.; TANOMARU-FILHO M. Análise físico-química do MTA e do cimento Portland associado a quatro diferentes radiopacificadores. **Revista de Odontologia da UNESP**, Araraquara, v. 43, n. 4, p. 228-235. 2014.

CRAIGHEAD, P.W.; Waxes and water-soak test for Wood panels. **Proceedings**, In: International Particleboard Composite Materials Symposium, 25th Washington State University, Proceedings, 1991. p. 181-204.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas de partículas aglomeradas.** 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DANTAS, T. R.; **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção civil (RCC) no município de Angicos (RN).** 47 f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2011.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SANTOS, C. M. T.; FERRAZ, J. M.; MARTINS, S. A.; MELO, R. R.; SIQUEIRA, M. L.; PAZETTO, V. M. F. Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão de painéis comerciais de MDF e MDP. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 403-409. 2011

DELESPINASSE. B. F. M. **Simulação de análise de investimentos na indústria de compensados no Brasil.** 71 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras). Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012. Brasília, 2013, 147 f.

EUROPEAN STANDARD. **EN 310.** Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 312.** Particleboards – Specifications, 2003.

EUROPEAN STANDARD. **EN 317.** Determination of swelling in thickness after immersion in water, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 319.** Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 322.** Determination of moisture content. English version. 1993.

EUROPEAN STANDARD. **EN 323.** Determination of density. English version. 1993.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material.** Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p., 2010.

GLASSER, W. A. Chemical products from lignocellulosics. **Materials Research Society Bulletin**, v. 19, n. 2, p. 46-48, 1994.

HAIGLER, C. H. The functions and biogenesis of native cellulose. In: NEVELL, T. P.; ZERONIAN, S. H. (Ed.). **Cellulose Chemistry and its Applications.** England: Ellis Horwood, p. 30-83, 1985.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, 2002.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de *Pinus*, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010, 219 p.

IRANMAHBOOB, J.; NADIM, F.; MONEMI, S. Optimizing acid-hydrolysis: a critical step for production of ethanol from mixed wood chips. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, p. 401-404. 2002.

IVANOV, I. V.; SADOWSKI, T.; FILIPIAK, M.; KNEC, M. Experimental and numerical investigation of plywood progressive failure in CT tests **Budownictwo i Architektura**, v. 2, p. 79–94. 2008.

IWAKIRI, S. **A influência das variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. 130 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis "*waferboard*". **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 65-69. 1990.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2001.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005a.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p.323-328. 2005b.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71. 2011.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 102 f. Tese (livre-docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards.** U.S. Forest Production Laboratory. General Technical Report FPL-10, 1977.

KLOCK, U. MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira.** Manual didático, 3º Ed. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2005.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. **Principles of wood science and technology II. Wood based materials,** New York, 703 p, 1975.

KRETSCHMANN, D. E.; WINANDY, J.; CLAUSEN, C.; WIEMANN, M.; BERGMAN, R.; ROWELL, R.; ZERBE, J.; BEECHER, J.; WHITE, R.; MCKEEVER, D.; HOWARD, J. Wood. In: Kirk-Othmer **Encyclopedia of Chemical Technology.** New York: John Wiley & Sons, Inc. 60 p., 2007.

LAHR, F. A. R.; CALIL JR, C.; GONÇALVES, D.; CHRISTOFORO, A. L. Sistema estrutural e construtivo do módulo (m) em madeira como instrumento de aproximação social na promoção da cidadania de crianças e jovens socialmente vulneráveis. **Revista de Cultura e Extensão Universitária,** São Paulo, n.10, p. 85-102. 2013.

LANGE, L. C.; SIMÕES, G. F.; FERREIRA, C. F. A.; SILVA, F. V. B. Implantação e operação de um aterro sustentável para pequena comunidade. IN: CASTILHOS JR. *et al.* **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades (coletânea de trabalhos técnicos).** Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2002.

LAQUATRA, J; PIERCE, M; Waste management at the residential construction site. **Cityscape: A Journal of Policy Development and Research.** Ithaca, v. 16, n. 1. 2014.

LILGE, D. S. **Desempenho de duas espécies florestais em combinação com casca de arroz na fabricação de painéis cimento-madeira.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LIMA, A. J. M. **Utilização de resíduo de *Pinus* spp e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural.** 282 f. Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LOPES, C. S. D. ; LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322. 2011.

LOPES, F. P.; PEREIRA, P. M.; HAMAYA, R. M. Análise da contaminação em resíduos de madeira na Construção civil. Curitiba. 84f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1993.

MARQUES, O. B.; OLIVEIRA, R. M. S. de; PIKANÇO, A. P. Resíduos da construção civil: geração e alternativas para reciclagem em um canteiro de obras de pequeno porte. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 2, p. 143-156. 2013.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1992.

MARTÍNEZ, A. T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUEÑAS, F. J.; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; MARTÍNEZ, M. J.; GUTIÉRREZ, A.; DEL RIO, J. C. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, v. 8, n. 3, p. 195-204, 2005.

MATOS, J. L. M. de; KEINERT JR, S. Estudo do ciclo da prensa para a produção de painéis *waferboard* – Parte I – Efeito sobre as propriedades de resistência. **Floresta**, Curitiba, v. 18, n, 12, p. 62-71. 1988.

MATTOS, R.L.G., Gonçalves, R.M., Chagas F.B. **Painéis de madeira no brasil: panorama e perspectivas**, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

MEDEIROS, P. A.; SILVA, J. D.; CASTILHOS JR, A. B. Balanço hídrico em aterros de resíduos sólidos urbanos escala experimental de laboratório. IN: CASTILHOS JR. et al. **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades (coletânea de trabalhos técnicos)**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2002.

MEDVED, S.; RESNIK, J. Influence of particle size on the surface covered with adhesive at particles from beech wood. **Wood research**, v.49, n. 1, p. 33 – 40, 2004.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 4, n. 2. 2013.

MENDES. L. M. **Pinus spp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; MENDONÇA, L. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MORI, F. A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v. 20, p. 329-336. 2014.

MORAIS, G. M. D. de. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídio para uma gestão sustentável.** 201 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** London: Southern Illinois University Press, 1974.

PALMA, H. A. L. **Determinação de parâmetros elásticos e de resistência e a influência da madeira nas propriedades de compensado de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 171 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60-67. 2000.

PIERRE, F. C.; BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 321-328. 2014,

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PRATT, T. H. **Electrostatic Ignitions of Fires and Explosion.** Marietta, Burgoyne Incorporated, Consulting Scientists & Engineers. 1997

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R.M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Boca Raton: CRC Press, 2005.

SANTOS, J. A.; DUARTE, C. Degradação e proteção superficial da madeira em exterior. **Corrosão e Protecção de Materiais**, Lisboa, v. 32, n. 1. 2013.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437-446, 2009.

SAEZ, P.; DEL RIO MERINO, M.; AMORES, C.; GONZALEZ, A. European legislation and implementation measures in the management of construction and demolition waste. **The Open Construction and Building Technology Journal**, n. 5, p. 156-161. 2011.

SCHALLER, C.; ROGEZ, D. New approaches in wood coating stabilization. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 4, n. 4, p. 401-409. 2007.

SCHWARTZ, F. E.; ANDERSON, R. L.; KAGDER, A.G. Resin distribution and how variations affect board quality. In: Particleboard Symposium, 2th, **Proceedings**, Washington State University, 1968. p. 7-30.

SELLERS Jr. Plywood, In: BUSCHOW, K.H.J. *et al.* **Encyclopedia of Materials Science and Engineering**. Pergamon Press, Londres Inglaterra, 1985.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JUNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p.13-22. 2004.

SINDUSCON-SP. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. Vários colaboradores. Tarcísio de Paulo Pinto, coordenador. São Paulo: Obra Limpa: I&T: SindusCon-SP, 2005.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry – fundamentals and applications**. London: Academic Press, 1993.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E. **Fiberboard manufacturing practices in United States**. Washington, DC: USDA, 1987.

THOMAS, R. J. Wood structure and chemical composition. In: GOLDSTEIN, I. S. **Wood technology: chemical aspects**. Washington, D. C.: American Chemical Society, 1977.

TORQUATO, P. L. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no BRASIL. Curitiba**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TORRELL, R.; HILLIG E.; CORRADI, G. M.; IWAKIRI S. Influência da adição de serragem nas propriedades tecnológicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9 n. 1. 2013.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 260 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 553 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 494 p. 1991.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273. 2011.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p.88-96. 1992.

WARDROP, A. B. Occurrence and formation in plants. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. **Lignins, occurrence, formation, structure and reactions**. New York, John Wiley, 1971.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados**. 87 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZENID, G. J.; NAHUZ, M. A. R.; ANDRADE, M. J.; MIRANDA, C.; FERREIRA, O. P.; BRAZOLIN, S. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 84. 2004.

ZENID, J. Z. **Madeira: uso sustentável na construção**. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas : SVMA, 2009.

ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, n. 3, p. 191-197, 1998.