



Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Florestal

VIABILIDADE TÉCNICA E PROPRIEDADES DE LAMINADOS MADEIRA-PLÁSTICO

Emanuela Camargo de Barros Lustosa

Brasília

Julho/2014.



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

Viabilidade Técnica e Propriedades de Laminados Madeira-Plástico

Estudante: Emanuela Camargo de Barros Lustosa 09/0137701

CPF: 035.948.191- 40

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília

Julho/2014.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Viabilidade Técnica e Propriedades de Compósitos Laminados
Madeira-Plástico**

Estudante: Emanuela Camargo de Barros Lustosa, matrícula 09/0137701

Mencão: SS

Aprovada por:



Divino Eterno Teixeira, PhD.

LPF/SFB

Membro da banca



Sandra Maria da Luz, Pós DR.

FGA/UnB

Membro da banca.



Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, DR.

EFL/UnB

Orientador.

Brasília, julho de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Torquato Lustosa e Luzanete Camargo, pelo amor, apoio e incentivo durante toda a minha vida, em especial à minha mãe pela educação diária, principalmente com relação aos princípios de vida que hoje carrego comigo e tento transferir a quem convivo, e também pelo seu exemplo de mulher guerreira e por me ensinar a ter grandes sonhos e me possibilitar trilhar os caminhos para realizá-los.

À minha irmã Danielle Camargo pelo amor, apoio, incentivo, brincadeiras e conversas que me ajudaram a crescer e contribuiu para a construção de objetivos de vida.

Ao meu namorado e melhor amigo Hugo Vaz que compartilha comigo uma vida feliz e de amor, sempre me ajudando e orientando, compartilhando sonhos e os realizando pouco a pouco.

Ao meu falecido padrasto Paulo Espíndola pelas conversas, me dando orientações em momentos difíceis e por acreditar que sou uma pessoa capaz.

Às minhas cadelas Tula e Lupi pela companhia e alegria de todo dia.

À Universidade de Brasília, em especial ao Departamento de Engenharia Florestal e seu corpo docente, por me proporcionarem uma educação de qualidade.

Ao meu orientador Prof. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi pela inspiração, confiança, dedicação, paciência e por ter me conduzido no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial o Juraci pelo grande auxílio na realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Produtos Florestais – Serviço Florestal Brasileiro, por permitirem o uso de sua serraria, especialmente aos funcionários da serraria pela confecção dos corpos de prova.

A todos meus queridos amigos que tive a oportunidade de conhecer e conviver durante esses anos de graduação, em especial Victória, Winnie, Juliana, Marina, Nickolas, Menic, Raika, Ana Luiza, Caroline, Joanna e Meghan.

RESUMO

Os resíduos plásticos se constituem em um dos grandes problemas atuais, entre esses resíduos, temos as sacolas plásticas de supermercados. Na busca para minimizar os impactos causados pela incorreta destinação desses materiais tem-se como alternativa a confecção de compósitos madeira-plástico. Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade da produção de painéis de lâminas paralelas (LVL) utilizando polietileno de alta densidade (PEAD) provenientes de sacolas plásticas de supermercado, tendo como objetivo específico avaliar o efeito da gramatura do painel sobre as propriedades físicas e mecânicas do compósito. Os painéis LVLs foram confeccionados a partir de lâminas de madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*). Para a confecção de cada painel foram utilizadas quatro lâminas de madeira de 165 x 500 mm, intercaladas com sacolas plásticas de supermercado, variando-se a gramatura utilizada: 150 g de plástico/m², 250 g/m² e 350 g/m². Cada conjunto foi levado à prensa até o ponto de fusão do PEAD (± 140 °C) durante 20 minutos com pressão adequada ao conjunto ($\cong 1$ MPa). Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância seguida por teste de Tukey a 5% de significância. Em seguida, foi feita análise de correlação de Pearson. Posteriormente os dados de velocidade de propagação de onda de tensão (v_0) e módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foram utilizados para gerar um modelo de regressão linear simples. De modo geral, os painéis compósitos laminados madeira-plástico apresentaram boa qualidade, demonstrando a viabilidade de sua produção. O incremento da quantidade de plástico no compósito acarretou em aumento da densidade. A densidade exerceu alta influência em grande parte das propriedades mecânicas e físicas avaliadas. Tendo em vista a realização da reciclagem de resíduos plásticos descartados deve-se optar por utilizar o tratamento 350 g/m² por proporcionar a reutilização de maior quantidade de resíduos e que em geral apresentou melhores propriedades físicas e mecânicas. A gramatura, quando retirado o efeito da densidade, exerceu influência apenas nas propriedades de velocidade (v_0), módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e dureza janka (f_H).

Palavras-chave: compósitos laminados madeira-plástico, painéis de lâminas paralelas, propriedades físicas, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Plastic debris is one of the biggest current problems; among that debris, there are the plastic grocery bags. In order to minimize the impacts caused by the incorrect disposal of such materials, there is as an alternative the production of wood-plastic composites. This work aims at assessing the viability of production of laminated veneer lumber (LVL) panels using high-density polyethylene (HDPE) from plastic grocery bags, with the specific objective of evaluating the effect of plastic grammage over the physical and mechanical properties of the composite. The LVL panels were produced from wood layers of *Trattinnickia burseraefolia*. For the production of each panel, four 165 x 500 mm layers interposed between plastic grocery bags were used, varying the grammage: 150 g of plastic/m², 250g/m² and 350g/m². Each set was taken to the machine press until reaching the HDPE melting point (± 140 °C) for 20 minutes with pressure adequate to the set ($\cong 1$ MPa). The outcomes were statistically analyzed by analysis of variance followed by Tukey's test at 5% of significance. Afterwards, the analysis of Pearson correlation was carried out. Then, dynamic elastic modules (E_d) and velocity (v_0) data were used to generate a simple linear regression model. In general, the wood-plastic composites panels presented good quality, showing viability for their production. The increase of plastic quantity in the composite brought about an increase of density. The density exercised a high influence on the majority of the evaluated mechanical and physical properties. Considering the recycling of disposed plastic debris, the 350 g/m² treatment may be applied, since it provides reutilization of higher debris quantities and generally presented better physical and mechanical properties. Upon removal of density effect, the grammage influenced only on velocity (v_0), dynamic elastic modules (E_d) and Janka hardness (f_H) properties.

Keywords: wood-plastic laminated composites, laminated veneer lumber, physical properties, mechanical properties.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	2
LISTA DE TABELAS	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVO	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. Painéis de lâminas Paralelas – LVL	7
3.2. Impactos dos resíduos plásticos	8
3.3. Caracterização do Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	10
3.4. Compósitos madeira-plástico	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Confeção dos Painéis	12
4.2. Ensaio	14
4.3. Análise Estatística	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1. Painéis laminados madeira-plástico	15
5.2. Valores Observados	17
5.2.1. Densidade	17
5.2.2. Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade	18
5.2.3. Velocidade e Módulo de Elasticidade Dinâmico pelo <i>Stress Wave Timer</i>	20
5.2.4. Parafuso	21
5.2.5. Dureza	22
5.2.6. Compressão Paralela	22
5.2.7. Cisalhamento	23
5.2.8. Inchamento em espessura e Absorção de água	26
5.3. Correlações	29
5.4. Valores estimados para mesma densidade	31
5.5. Estimativa das propriedades mecânicas com base na avaliação não-destrutiva	34
5.6. Algumas dificuldades encontradas durante o processo de produção	35
6. CONCLUSÕES	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Símbolos de identificação dos materiais plásticos segundo a norma ABNT NBR 13230, apud Coltro <i>et al.</i> (2008).	8
Figura 2. A) Símbolo de identificação do material PEAD; B) corte das partes grosseiras; C) abertura das sacolas.	13
FIGURA 3. Processo de confecção dos painéis LVL: A) Pesagem das sacolas plásticas; B) Preparação dos conjuntos que serão levados à prensa; C) Prensagem dos Painéis à ± 140 °C; D) Resfriamento dos laminados à temperatura ambiente.	13
FIGURA 4. Prensa hidráulica utilizada para confecção dos painéis, Laboratório de Engenharia e Tecnologia de Produtos Florestais, FAL – UnB.	14
FIGURA 5. Tratamento 1 – 150 g/m ² , linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.	16
FIGURA 6. Tratamento 2 – 250g/m ² , linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.	16
FIGURA 7. Tratamento 3 – 350g/m ² , linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.	16
FIGURA 8. Valores médios observados de densidade por tratamento.	17
FIGURA 9. Valores médios observados para módulo de ruptura (f_m).	19
FIGURA 10. Valores médios observados para módulo de elasticidade (E_m).	19
FIGURA 11. Valores médios observados de velocidade de propagação de ondas de tensão (v_0).	20
FIGURA 12. Valores médios observados para módulo de elasticidade dinâmico (E_d).	21
FIGURA 13. Valores médios observados para resistência ao arrancamento de parafuso.	21
FIGURA 14. Valores médios observados para dureza janka (f_H).	22
FIGURA 15. Valores médios observados de resistência à compressão paralela ($f_{c,0}$).	23
FIGURA 16. Valores médios observados para resistência ao cisalhamento na linha de cola ($f_{v,0}$).	24
FIGURA 17. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 150 g/m ²	25
FIGURA 18. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 250 g/m ²	25
FIGURA 19. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 350 g/m ²	25

FIGURA 20. Valores médios observados para inchamento em espessura no período de 2 h.	26
FIGURA 21. Valores médios observados para inchamento em espessura no período de 24 h.	27
FIGURA 22. Valores médios observados para absorção de água para o período de 2h.....	28
FIGURA 23. Valores médios observados para absorção de água para o período de 24h.....	28
FIGURA 24. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m ³) para velocidade de propagação (v_0).....	32
FIGURA 25. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m ³) para módulo de elasticidade dinâmico (E_d).....	33
FIGURA 26. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m ³) para dureza janka (f_H).	33
FIGURA 27. Análise de regressão linear para a predição do módulo de elasticidade (E_m) em função da velocidade de propagação da onda de tensão (v_0).	34
FIGURA 28. Análise de regressão linear para a predição do módulo de elasticidade (E_m) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d).....	35
Figura 29. A)Volume de sacolas de supermercado; B)Corte e abertura das sacolas; C) Distribuição das sacolas entre as lâminas.	35
Figura 30. A) Prensagem do compósito laminado madeira-plástico; B) Laminado após prensagem apresentando o deslocamento entre as lâminas.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Correlação de Pearson (r):.....	30
Tabela 2. Valores médios observados e valores médios estimados para mesma densidade (657,24 kg/m ³).....	31

APÊNDICE

Tabela 3. Valores obtidos para os ensaios mecânicos e físicos que foram utilizados para rodar estatística descritiva.....	42
Tabela 4. Valores médios observados por tratamento e seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação.	43
Tabela 5. Análise de variância para dados observados de densidade, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico, parafuso e dureza.	44
Tabela 6. Análise de variância para os valores observados de resistência à compressão paralela.	44
Tabela 7. Análise de variância para os valores observados de cisalhamento.	44
Tabela 8. Análise de variância para os resultados obtidos de inchamento em espessura e absorção de água para 2h e 24h.....	45
Tabela 9. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de módulo de ruptura, módulo de elasticidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico, parafuso e dureza.	45
Tabela 10. Teste de médias de Bonferroni para os resultados estimados de cisalhamento.	46
Tabela 11. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de compressão paralela. ..	46
Tabela 12. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de absorção de água para 2h e 24h.	47

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o CEMPRE, 6,5 milhões de toneladas de resinas termoplásticas foram consumidas e cerca de 21,7% dos plásticos foram reciclados no Brasil em 2011, representando aproximadamente 953 mil toneladas por ano. Segundo a ABRELPE (2012) no quadro sobre a participação dos principais materiais no total de RSU (resíduos sólidos urbanos) coletados no Brasil em 2012 os resíduos plásticos quantificaram 7.635.851 t/ano. Ainda, segundo a ABRELPE (2012), a reciclagem de plásticos no Brasil retrata o universo da indústria de reciclagem mecânica dos plásticos, a qual converte os materiais plásticos descartados pós-consumo em grânulos passíveis de serem utilizados na produção de novos artefatos plásticos.

A destinação final dos resíduos sólidos, principalmente plásticos, representa uma das grandes preocupações da sociedade atual. O desenvolvimento tecnológico crescente gera refugos em grande quantidade, prejudicando o meio ambiente e a população e nesse cenário a reciclagem tem sido uma promissora rota para desviar esses rejeitos dos lixões ou aterros sanitários e reduzir custos de produção, substituindo a matéria-prima virgem (BONELLI,1994).

Os polietilenos foram as resinas mais usadas em embalagens flexíveis em 2013. Dentre os polietilenos, de acordo com o estudo da Maxiquim, o PEAD (polietileno de alta densidade), aparece com 262 mil toneladas. O principal cliente é a indústria de higiene pessoal e limpeza doméstica, com 27% de participação e na seqüência vêm descartáveis que são representados, basicamente, pelas sacolas plásticas de supermercado (19%) e agropecuária (8%) os alimentos têm participação de apenas 4% (ABIEF, 2014).

Os resíduos plásticos se constituem em um dos grandes problemas atuais, entre esses resíduos, temos as sacolas plásticas de supermercados. Devido à frequente utilização de sacolas plásticas, principalmente por consumidores de supermercados, torna-se necessário um estudo sobre o reaproveitamento desse material para outros fins, em busca de minimizar os impactos causados pela incorreta destinação desses resíduos.

A fabricação de compósitos madeira-plástico tem-se tornado uma boa opção para o reaproveitamento de resíduos plásticos assim como resíduos madeireiros. Para Milagres (2004), esses produtos podem ser obtidos a partir de uma matriz contínua ou descontínua de resina termoplástica e partículas de madeira. Assim, os produtos obtidos associam as melhores qualidades de cada constituinte. No entanto, geralmente as madeiras que são utilizadas nesse processo se apresentam na forma de partículas ou farelos, com isso é preciso

avaliar a possibilidade da fabricação de compósitos madeira-plástico com a madeira em outras formas, como no formato de lâminas.

Na produção de painéis de lâminas paralelas (LVL) um dos principais custos é o adesivo. Segundo Lima (2011), na confecção de painéis à base de madeira são empregados adesivos sintéticos, como ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, que representam o maior custo na produção de painéis reconstituídos de madeira. Para Renzo (2008), o alto preço desses adesivos é consequência do constante aumento do preço do petróleo e da expansão da produção de produtos reconstituídos de madeira, impulsionando estudos que buscam encontrar adesivos alternativos que sejam mais econômicos, menos danosos ao meio ambiente e que apresentem alta resistência.

Com a possibilidade de uso de resíduos plásticos, no caso as sacolas plásticas, como adesivo pode-se proporcionar a redução do custo de fabricação de painéis laminados e amenizar a questão do descarte inadequado dos resíduos plásticos, que tradicionalmente se constitui em um problema ambiental, assim proporcionando o seu reaproveitamento.

Neste trabalho optou-se pela confecção de compósito madeira-plástico com a utilização do polietileno de alta densidade advindo de sacolas plásticas de supermercado devido a sua fácil obtenção e o formato de folha o qual favorece uma distribuição mais homogênea entre as lâminas do painel que será produzido.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade da produção de painéis lâminas paralelas (LVL) utilizando polietileno de alta densidade (PEAD) proveniente de sacolas plásticas de supermercado como agente ligante, com a finalidade de apresentar uma nova alternativa para reciclagem de resíduos plásticos proporcionando o seu reaproveitamento para a fabricação de compósitos laminados madeira-plástico como alternativa à madeira maciça. Tem-se como objetivo específico avaliar o efeito da gramatura de plástico sobre as propriedades do compósito.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Painéis de lâminas Paralelas – LVL

Segundo Gabriel (2007), a madeira vivencia hoje a terceira geração de sua evolução, sendo a primeira geração composta dos produtos de madeira roliça (*round timber*) com processamento elementar; a segunda geração compreende os produtos de madeira serrada, eventualmente dimensionada e aplainada (*lumber e structural lumber*) e a terceira geração compreende os “produtos engenheirados à base de madeira”.

Os produtos engenheirados à base de madeira (*engineered wood products*) surgiram como uma alternativa a geração de produtos de madeira. Esses produtos são feitos à base de madeira que passaram, por um processo industrial que reduz a madeira a frações ou componentes mais elementares ou convenientes, para posterior reassociação buscando maior performance estrutural (PALMA; BALLARIN, 2011).

Com a necessidade de diminuir as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas surgiram os painéis de madeira (IPT, 2003). O painel de lâminas paralelas (LVL) é um dos principais produtos engenheirados. No entanto, no Brasil o LVL ainda não é produzido industrialmente, tornando esse produto alvo de pesquisas acadêmicas (PALMA; BALLARIN, 2011).

O LVL é um material composto de lâminas de madeira com a grã orientadas na mesma direção e unidas por adesivo que pode ser utilizado com grande versatilidade em soluções principalmente estruturais, onde grande resistência à flexão é requerida (GABRIEL, 2007; PALMA; BALLARIN, 2011).

Alguns dos principais usos do LVL são a confecção de paredes estruturais ou não estruturais, batentes de portas e janelas, corrimãos, degraus de escadas, pisos, estruturas de telhados, pontes, tampos de mesa, estruturas de móveis em geral e na América do Norte, 45% do LVL produzido é utilizado na fabricação de Vigas-I para sustentação de pisos (CARVALHO; LAHR, 2003). Para Souza (2009) os tipos e as propriedades dos adesivos, a espécie de madeira e as etapas de produção são alguns dos principais fatores que influenciam as propriedades mecânicas nos painéis de lâminas paralelas.

3.2. Impactos dos resíduos plásticos

O plástico é um material sintético constituído de macromoléculas e pertence a uma grande família, conhecida por polímeros, essas macromoléculas são cadeias formadas pela repetição de pequenas e simples unidades básicas, meros, ligadas covalentemente (CANDIAN, 2007). Ainda de acordo com Candian (2007), os polímeros podem ser divididos em dois grupos: os termoplásticos, os quais necessitam de calor para se tornarem moldáveis e ao esfriarem adquirem a forma geométrica em que foram moldados. Uma das principais características desses materiais é a possibilidade de repetição do ciclo de aquecimento e resfriamento, propriedade que proporciona a sua reciclagem e termorrígidos, que são plásticos que após o processo de cura não podem ser amolecidos por outro aquecimento.

De acordo com Coltro *et al.* (2008), muitos produtos feitos de plásticos apresentam um código de identificação da resina, o qual indica o tipo de plástico do qual o produto é feito, essa identificação facilita o processo de recuperação desses materiais quando descartados, pois, auxiliam no processo de separação, reciclagem e revalorização.

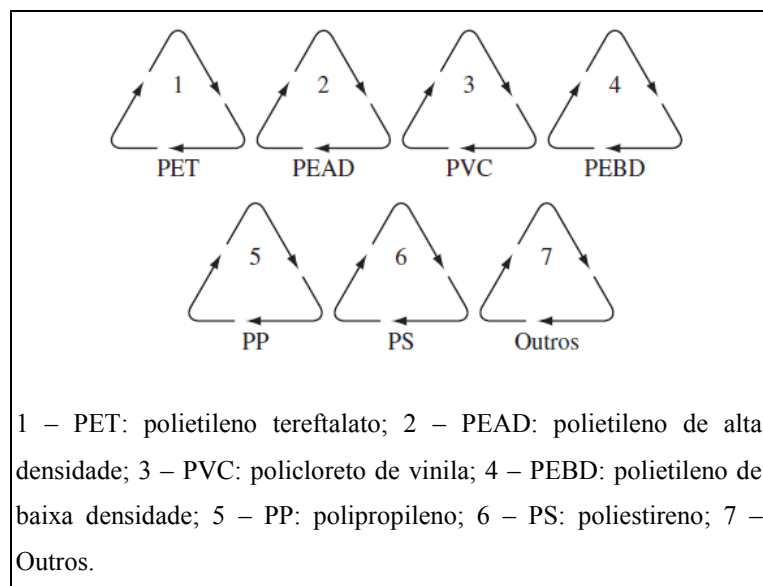


FIGURA 1. Símbolos de identificação dos materiais plásticos segundo a norma ABNT NBR 13230, apud Coltro *et al.* (2008).

Os resíduos poliméricos, pós-consumo, são compostos, basicamente, pelas resinas de PET (politereftalato de etileno), PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade), PVC (policloreto de vinila), PP (polipropileno) e PS (poliestireno) (MATOS; SCHALCH, 2007).

A substituição das embalagens de papel por embalagens plásticas iniciou na década de 70. A leveza, baixo custo, transparência, flexibilidade e capacidade de suportar peso sem

romper são algumas vantagens apresentadas pelas embalagens plásticas. Com isso, as sacolas descartáveis de plástico exercem a função de facilitar o transporte e proteger os produtos (SANTOS *et al.*, 2012).

A utilização de embalagens e materiais plásticos caracteriza um problema ambiental no momento do seu descarte, pois, a coleta seletiva não é uma atividade amplamente realizada e a reciclagem desses produtos ainda é pequena. As sacolas de supermercado em grande parte são feitas à base de PEAD e seu descarte na maioria das vezes é incorreto. O ciclo de vida das sacolas plásticas comumente se resume em sua aquisição principalmente em supermercados e levados para a residência do consumidor, onde na maioria das vezes é utilizada como saco de lixo, sendo assim encaminhadas para os aterros sanitários. Devido à sujeira e impurezas que estarão presentes nesse material descartado torna-se oneroso fazer a separação e reciclagem desse resíduo.

As sacolas plásticas apresentam impactos negativos devido à vida útil curta e baixa degradabilidade podendo demorar de 100 a 400 anos para sofrer o processo de degradação no meio ambiente pela ação de raios ultravioletas, umidade e calor, podendo assim, acarretar em entupimentos de vias públicas de drenagem, agravar problemas causados por chuvas fortes, além de outros problemas relacionados (SANTOS *et al.*, 2012).

O descarte inadequado das sacolas plásticas é nocivo ao meio ambiente, que ao serem depositadas em locais sem estrutura ecológica, podem ser carregadas pelo vento, podendo contaminar recursos hídricos. Bem como pode ser prejudicial à sobrevivência de espécies de animais aquáticos e terrestres. Outro problema gerado é o entupimento de bueiros que acaba por dificultar o escoamento da água e provocar enchentes (TONELLO *et al.*, 2011). Uma das alternativas para o reaproveitamento desses resíduos é a reciclagem, que consiste no reprocessamento de um material, de modo a fazê-lo voltar como matéria-prima para a fabricação de novos produtos (CANDIAN, 2007).

A reciclagem dos materiais plásticos oriundos de lixo urbano traz alguns benefícios sociais e econômicos para a sociedade, como: redução do volume de lixo que é encaminhado para os aterros sanitários; economia de energia e petróleo; geração de empregos e contribuição para redução da degradação ambiental como um todo (MILAGRES, 2004).

Existem três técnicas de reciclagem de plásticos: a mecânica, a química e a energética (CANDIAN, 2007).

A reciclagem mecânica é baseado na transformação física dos resíduos poliméricos em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de lixo,

solados, pisos, conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não alimentícias e muitos outros (CANDIAN, 2007; PLASTIVIDA, 2009).

A reciclagem química consiste na utilização de processos químicos para recuperar as resinas provenientes de resíduos poliméricos. Essa reciclagem permite tratar plásticos misturados, reduzindo custos de pré-tratamento, custos de coleta e seleção (CANDIAN, 2007; PLASTIVIDA, 2009).

A reciclagem energética consiste na recuperação de energia térmica nos resíduos poliméricos, aproveitando o alto poder calorífico contido nos plásticos para uso como combustível (CANDIAN, 2007; PLASTIVIDA, 2009).

Um processo de reciclagem mecânica, que está começando a ser utilizado atualmente no Brasil, à semelhança do Japão, Estados Unidos e de alguns países da Europa, é a reciclagem de resíduos plásticos misturados, para obtenção de perfis extrudados, de diferentes formas, que podem substituir economicamente diversos materiais, principalmente a madeira natural. Esses materiais são denominados "madeiras plásticas", sendo possível obter mourões de cerca, bancos de jardim, estacas para proteção costeira e produtos para a indústria de construção civil (BONELLI, 1994).

3.3. Caracterização do Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O polietileno de alta densidade (PEAD) é um dos plásticos mais consumidos no mercado mundial, principalmente devido a sua aplicação no setor de embalagens de rápido descarte (CRUZ *et al.*, 2008).

O polietileno é caracterizado pela sua grande versatilidade em relação à variedade dos processos de transformação e aplicação (CANDIAN, 2007).

De acordo com Coutinho *et al.* (2003), o PEAD é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, abrangendo os processamentos de moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção.

Milagres *et al.* (2006) apresentaram as principais características do PEAD, que são: densidade = 0,94 a 0,98 g/cm³; temperatura de transição vítrea (T_g) = -100 a 125 °C; temperatura de fusão (T_m) = 130 a 135 °C; resistência à tração = 152 a 786 kgf/cm². Com base nessas propriedades é possível o desenvolvimento de metodologia adequada à fabricação do compósito madeira-plástico.

3.4. Compósitos madeira-plástico

O termo compósito madeira-plástico refere-se a qualquer compósito que contenha madeira (de qualquer forma) e polímeros termofixos ou termoplásticos (CLEMONS, 2002). Ainda de acordo com Clemons (2002), os compósitos termoplásticos de madeira são na maioria das vezes simplesmente chamados como compósitos de madeira-plástico (*wood-plastic-composites*, *WPC*) com o entendimento de que o plástico utilizado é um polímero termoplástico.

Compósitos podem ser definidos como materiais formados de dois ou mais constituintes, com distintas composições, estruturas e propriedades e que estão separados por uma interface (MILAGRES, 2004). Ainda segundo Milagres (2004), os compósitos se destacam por possibilitar a combinação de materiais distintos, que podem se apresentar superior em algumas propriedades em relação aos componentes individuais.

De acordo com Corrêa (2004), os compósitos são produtos resultantes da mistura de dois ou mais constituintes, que apresentam diferentes forma e composição química e que são essencialmente insolúveis um no outro, com a finalidade de se obter qualidades superiores dos seus constituintes individualmente.

Segundo Milagres *et al.* (2006), grande parte dos resíduos plásticos são depositados em lixões, e por não apresentarem natureza biodegradável, irão permanecer nesses locais por muitos anos. Assim, a incorporação de resíduos plásticos na fabricação de compósito madeira-plástico pode contribuir para reduzir a poluição ambiental.

Os produtos feitos de materiais reciclados frequentemente oferecem resistência, durabilidade e rentabilidade equivalente aos produtos feitos a partir de materiais virgens, o painel ecológico feito a partir de madeira e material reciclado tem se mostrado uma das mais efetivas respostas à crescente demanda por materiais (PAULESKI *et al.*, 2007).

Segundo Correa *et al.* (2003), em alguns países, como os EUA e na Europa, têm legislações específicas que limitam a queima de derivados celulósicos, o que incentivou a busca de alternativas para o reaproveitamento desses resíduos. Agregado a esse fato, a escassez de madeira também tem provocado o surgimento de compósitos termoplásticos com madeira, os quais tem encontrado grande aceitação no mercado devido a sua leveza, versatilidade e baixo custo em comparação com a madeira in natura ou outros compósitos poliméricos reforçados com cargas minerais.

Um dos desafios à fabricação de compósitos madeira-plástico é a adesão entre as superfícies. A adesão envolve os fatores mecânicos e químicos que controlam a capacidade do

adesivo em unir as duas superfícies de madeira, a adesão mecânica ocorre quando se tem substratos porosos, como a madeira, no qual o adesivo atua preenchendo a rugosidade dos substratos e após a secagem ou solidificação formando ganchos mecânicos (*mechanical interlocking*), que os mantêm unidos (CORRÊA, 2004; FRIHART; HUNT, 2010).

Para melhorar a qualidade dos compósitos em relação à adesão entre as partículas podem ser realizados tratamentos nas superfícies dos materiais ou alterações no processo, como também operar com temperaturas de prensagem que promovam fusão do plástico, acarretando maior interação com a matriz madeireira (OLIVEIRA, 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Confeção dos Painéis

Os painéis laminados unidirecionais foram confeccionados a partir de lâminas de madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*) oriundas do trabalho de Arruda (2012). As lâminas com dimensões de 500 mm x 500 mm e com 3 mm a 4 mm de espessura, foram seccionadas em três lâminas de 165 mm x 500 mm. Depois disto, as lâminas foram aleatorizadas conforme a densidade para separação das lâminas a serem utilizadas em cada tratamento. Depois de separadas por tratamento, foram novamente aleatorizadas por painel, para que cada painel em cada tratamento apresentasse densidade semelhante.

Foram utilizadas somente sacolas plásticas que apresentavam o símbolo de identificação do material plástico PEAD. As sacolas tiveram suas partes mais grosseiras recortadas e foram abertas (Figura 2), a fim de proporcionar distribuição mais homogênea entre as lâminas.

Para a confeção de cada painel foram utilizadas quatro lâminas e intercaladas com sacolas plásticas de supermercado, aplicando-se gramatura semelhante à utilizada em painéis LVL convencionais (Figura 3). Os painéis foram confeccionados na prensa hidráulica Indumec (Figura 4) no Laboratório de Engenharia e Tecnologia de Produtos Florestais, localizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília.

Foram estudados três tratamentos variando-se a gramatura a ser utilizada: 150 g/m² de plástico, 250 g/m² e 350 g/m². Para cada tratamento foram manufacturados 4 painéis, totalizando 12 painéis laminados madeira-plástico. Cada conjunto foi levado à prensa com temperatura de ± 140 °C durante 20 minutos com pressão de $\cong 1$ MPa.



Figura 2. A) Símbolo de identificação do material PEAD; B) corte das partes grosseiras; C) abertura das sacolas.



FIGURA 3. Processo de confecção dos painéis LVL: A) Pesagem das sacolas plásticas; B) Preparação dos conjuntos que serão levados à prensa; C) Prensagem dos Painéis à $\pm 140\text{ }^{\circ}\text{C}$; D) Resfriamento dos laminados à temperatura ambiente.



FIGURA 4. Prensa hidráulica utilizada para confecção dos painéis, Laboratório de Engenharia e Tecnologia de Produtos Florestais, FAL – UnB.

4.2. Ensaios

Após a confecção dos painéis foram retirados 8 corpos-de-prova (CP) para cada tratamento, totalizando 24 CP's para cada um dos ensaios. Os ensaios realizados foram: flexão estática para obtenção do módulo de ruptura (f_m) e módulo de elasticidade (E_m), arrancamento de parafuso, dureza janka (f_H), inchamento em espessura (IE) e absorção de água (ABS) em 2 e 24 horas de imersão de acordo com a norma ASTM D1037 (2006); resistência à compressão paralela ($f_{c,0}$) de acordo com a norma ASTM D5456 (2006); cisalhamento na linha de cola ($f_{v,0}$), teste seco, de acordo com a norma EN 314-1 (2004).

Previamente aos ensaios foi realizada a avaliação não destrutiva do material, com a utilização do *Stress Wave Timer 239-A* da *Metriguard*, que mede o tempo de propagação de uma onda de tensão pelo corpo de prova, e tendo-se obtido o tempo foi determinada a velocidade de propagação da onda (v_0) e o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) segundo as equações a seguir (DEL MENEZZI *et al.*, 2010):

$$v_0 = \frac{L}{t * 10^{-6}}$$

$$E_d = \frac{v_0^2 * D}{g} * 10^{-5}$$

Onde:

v_0 = velocidade de propagação da onda (m/s);

E_d = módulo de elasticidade dinâmico (N/mm²);

L = distância percorrida pela onda (m);

t = tempo de trânsito da onda (μ s);

D = densidade da madeira (kg/m³);

g = aceleração da gravidade (9,804 m/s).

4.3. Análise Estatística

Inicialmente os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) seguida por teste de Tukey a 5% de significância para se identificar diferenças estatísticas entre as médias dos três tratamentos. Em seguida, foi feita análise de correlação de Pearson (r) entre as propriedades para se avaliar a adequação do modelo linear de regressão, tendo-se a gramatura como variável independente, visando obter modelos que expliquem a variação das propriedades. Posteriormente os dados de v_0 e E_d foram utilizados para gerar um modelo de regressão linear simples ($y = a + bx$), em que essas propriedades (v_0 e E_d) entraram como variáveis independentes (x) e as propriedades mecânicas (f_m , E_m , f_H , $f_{c,0}$, $f_{v,0}$) entram como variáveis dependentes (y). Para a análises de variância (ANOVA) e correlação de Pearson (r) foi utilizado o programa estatístico SPSS 20.0, para a análise de regressão linear simples foi utilizado o programa Excel 2007.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Painéis laminados madeira-plástico

Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os painéis confeccionados para cada tratamento. Pode-se observar que conforme aumento da quantidade de plástico no conjunto, houve aumento da espessura da linha de adesão e maior visibilidade. O plástico teve boa fluidez entre as fissuras de laminação, preenchendo os espaços vazios, contribuindo para a melhor adesão entre os componentes por meio do gancho mecânico formado.

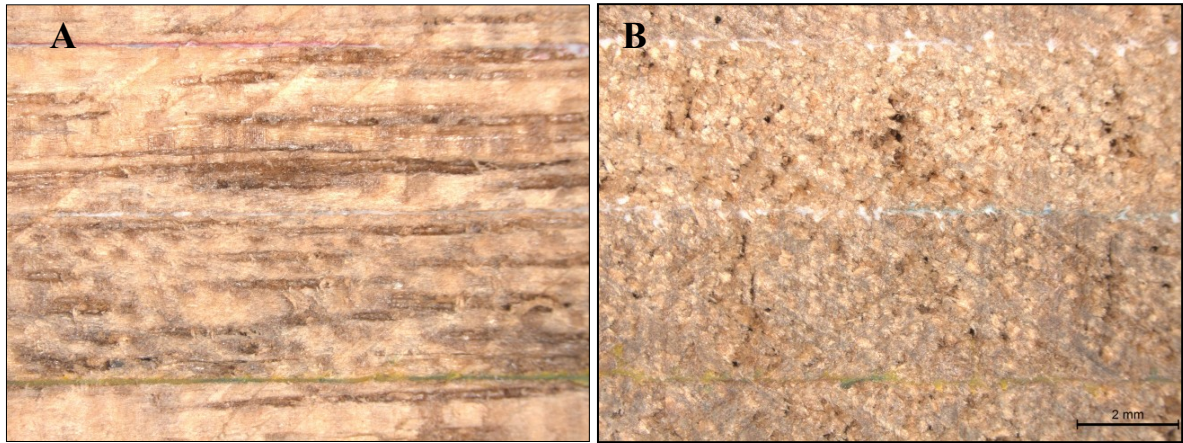


FIGURA 5. Tratamento 1 – 150 g/m², linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.

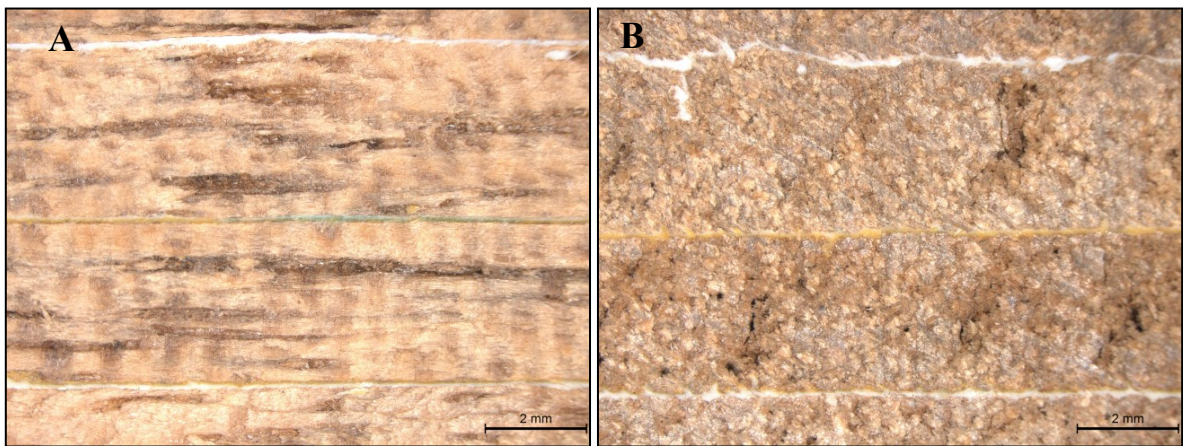


FIGURA 6. Tratamento 2 – 250g/m², linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.

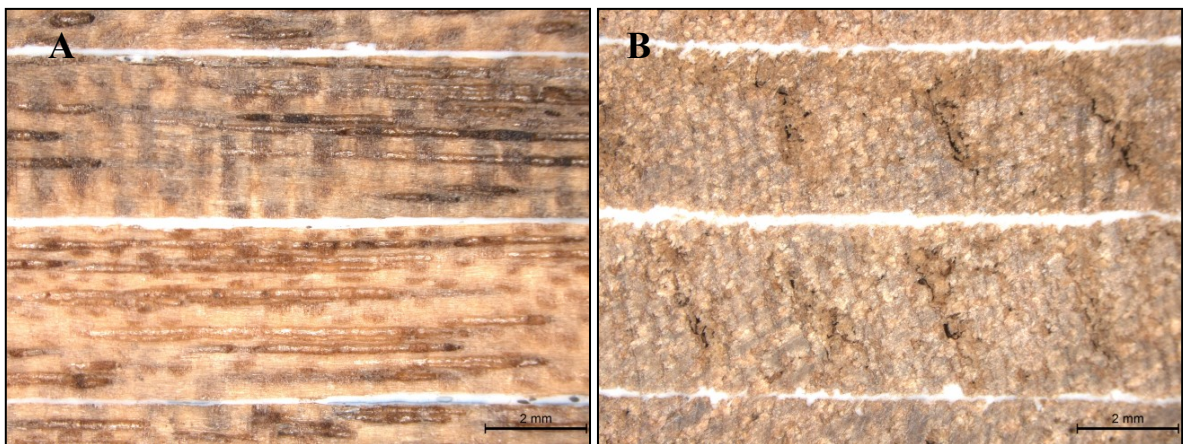


FIGURA 7. Tratamento 3 – 350g/m², linha de adesão: A) seção longitudinal; B) seção transversal.

5.2. Valores Observados

5.2.1. Densidade

O aumento da quantidade de plástico por tratamento no compósito laminado madeira-plástico acarretou em aumento da densidade, apresentando variação de 643,43 a 664,21 kg/m³, apresentando diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância, conforme apresentado na Figura 8.

A densidade pode estar diretamente relacionada com as propriedades mecânicas, estabilidade dimensional e perda e absorção de água. Como a maior parte das propriedades físicas e tecnológicas dependem da densidade, ela acaba servindo como parâmetro para classificação de um produto (PIO, 2002). Com isso tem-se a predição de que quanto maior a densidade do compósito laminado madeira-plástico maior serão as propriedades mecânicas e físicas que dependam da densidade. Portanto, para se avaliar apenas o efeito da gramatura sobre as propriedades mecânicas e físicas do compósito é preciso retirar o efeito da densidade, visto que essa influencia as propriedades do compósito. Essa análise será feita posteriormente (tópico 5.3).

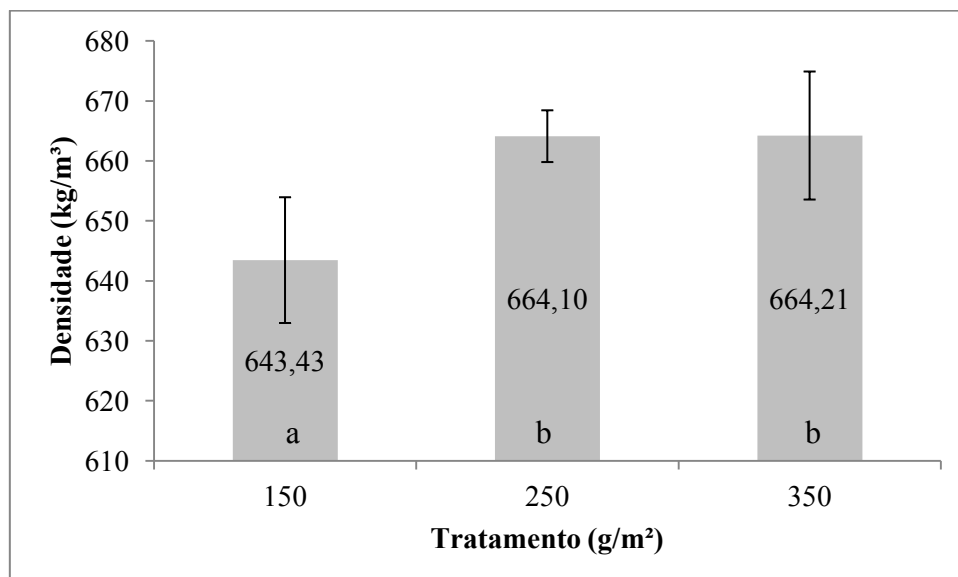


FIGURA 8. Valores médios observados de densidade por tratamento.

5.2.2. Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade

O módulo de ruptura (f_m) apresentou valores médios observados de 88,49 a 98,84 N/mm², não apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância pela análise de variância, conforme apresentado na Figura 9. O tratamento 250 g/m² apresentou maior valor médio de módulo de ruptura, já o tratamento 150 g/m² apresentou o menor valor médio de módulo de ruptura.

O módulo de elasticidade (E_m) apresentou valores médios observados de 9641 a 11158 N/mm², apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância, conforme Figura 10. O tratamento 350 g/m² apresentou maior valor médio módulo de elasticidade, já o tratamento 150 g/m² apresentou o menor valor médio para o módulo de elasticidade. Não foram encontrados dados sobre esse tipo de compósito na literatura, e assim foi feita uma comparação com compósitos laminados feitos com resinas termorrígidas, afim de estabelecer se o compósito produzido seria comparável àqueles.

Souza (2009) encontrou para painéis LVLs utilizando adesivo à base de fenol-formaldeído CR-7010, confeccionados com as espécies *Pinus oocarpa* e *Pinus Kesiya*, na posição *flatwise* os seguintes valores: módulo de ruptura (f_m) 85 e 94 N/mm²; módulo de elasticidade (E_m) 16199 e 17087 N/mm².

No estudo de Amorim (2013) sobre as propriedades de painéis LVLs produzidos a partir do agrupamento de lâminas de espécies madeireiras amazônicas (amescla, copaíba, curupixá, paricá e visgueiro), utilizando o adesivo PVA “crosslinking” MultiBond® X-080, com a realização do ensaio de flexão estática no sentido *flatwise*, encontrou valores de módulo de ruptura variando de 36,1 a 92,1 N/mm² e módulo de elasticidade variando de 4904 a 12380 N/mm².

Palma e Ballarin (2011) em estudo sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis*, utilizando resina à base de fenol-formaldeído CR-7010, na posição *flatwise*, encontraram valores de módulo de ruptura médio igual a 88,76 MPa e módulo de elasticidade médio 13114 MPa

Iwakiri *et al.* (2008), em estudo sobre a produção de painéis laminados unidirecional LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden, utilizando resina fenol-formaldeído, encontraram valores médios de módulo de ruptura variando de 925 a 1377 kgf/cm² (\cong 90,77 a 135,13 N/mm²), para o módulo de elasticidade encontrou valores médios de 127647 a 183103 kgf/cm² (\cong 12526,69 a 17968,89 N/mm²).

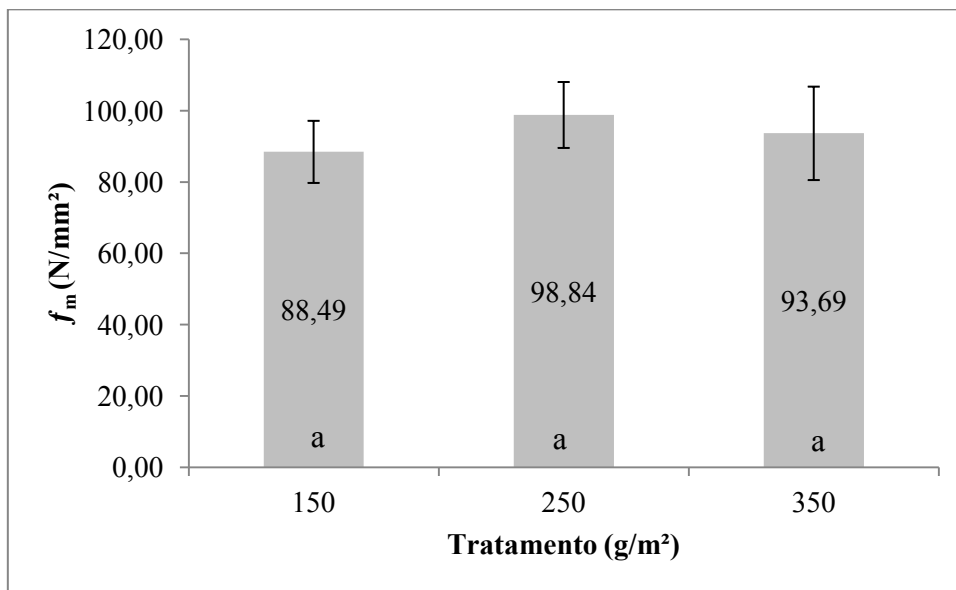


FIGURA 9. Valores médios observados para módulo de ruptura (f_m).

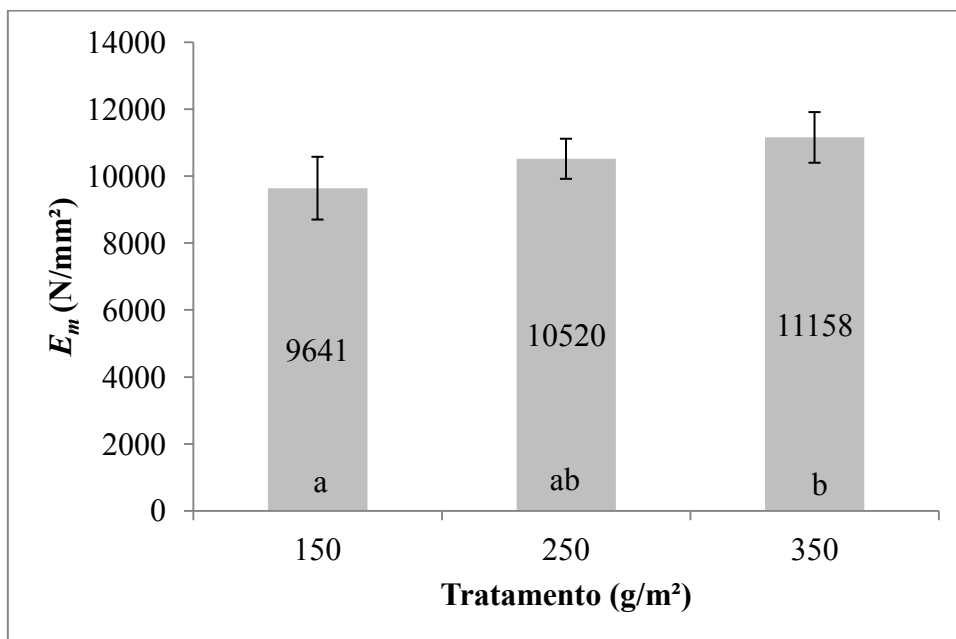


FIGURA 10. Valores médios observados para módulo de elasticidade (E_m).

5.2.3. Velocidade e Módulo de Elasticidade Dinâmico pelo *Stress Wave Timer*

Os valores médios observados para velocidade de propagação das ondas de tensão (v_0) variaram de 3776 a 3993 m/s, apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância, conforme apresentado na Figura 11. Os valores médios observados para o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) variaram de 9180 a 10589 N/mm², apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância, conforme apresentado na Figura 12. O tratamento 250 g/m² foi o que apresentou maior velocidade e maior módulo de elasticidade dinâmico.

Pela avaliação não destrutiva com a utilização do *Stress Wave Timer* da *Metriguard*, Souza (2009) encontrou os seguintes valores, posição *flatwise*, para os painéis LVLs de *Pinus oocarpa* e *Pinus Kesiya*: velocidade de propagação das ondas de tensão (v_0) 4775 e 4946 m/s; módulo de elasticidade dinâmico (E_d) 16512 e 17476 N/mm².

Amorim (2013), pela avaliação não destrutiva com a utilização do *Stress Wave Timer* da *Metriguard* encontrou os seguintes valores, posição *flatwise*, para os painéis LVLs, velocidade de propagação de ondas de tensão variando de 4265 a 4557 m/s; módulo de elasticidade dinâmico variando de 6629 a 15965 N/mm².

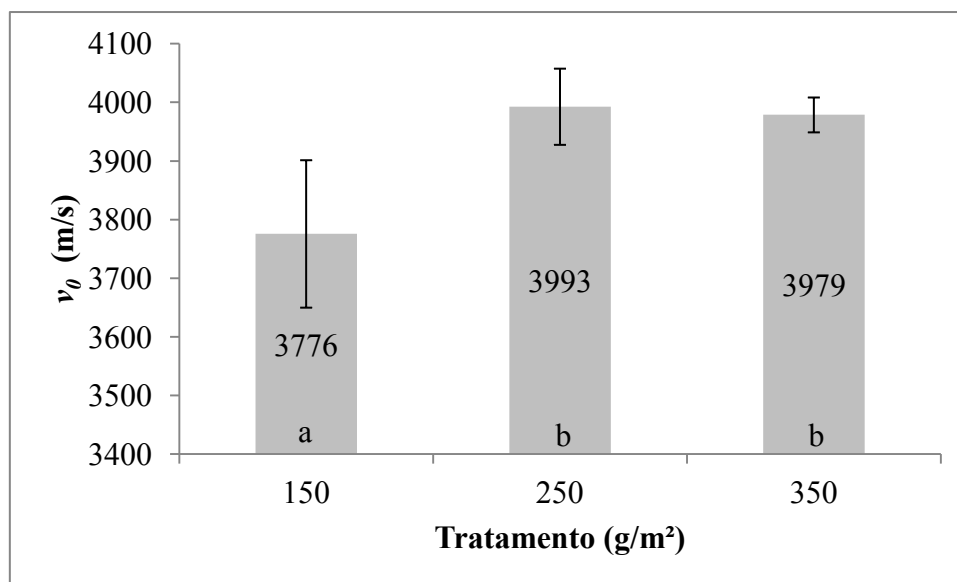


FIGURA 11. Valores médios observados de velocidade de propagação de ondas de tensão (v_0).

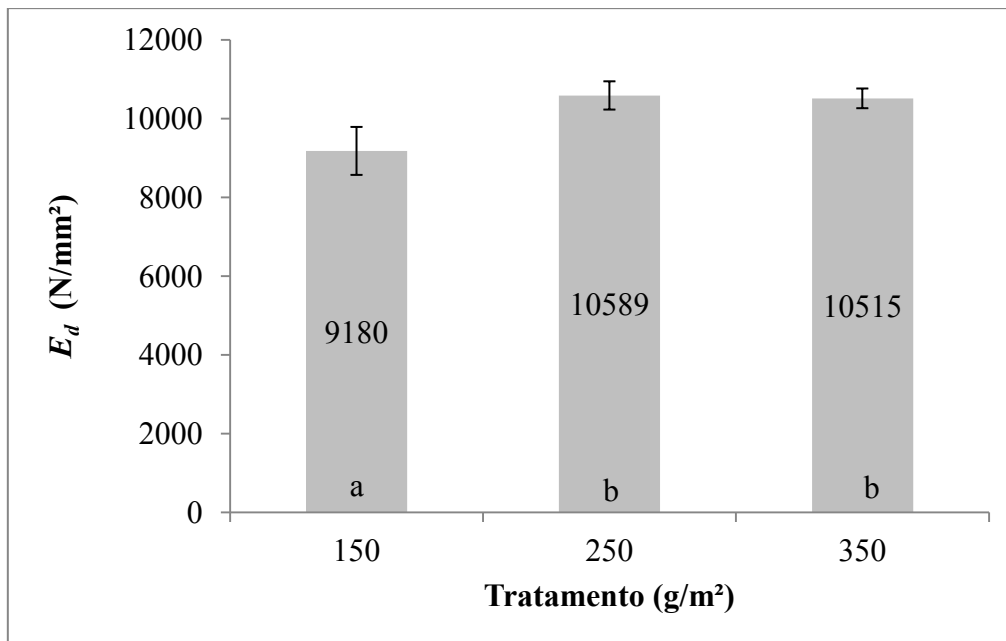


FIGURA 12. Valores médios observados para módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

5.2.4. Parafuso

Os valores médios observados de resistência ao arrancamento de parafuso variaram de 1524 a 1789 N, não apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância pela análise de variância, conforme apresentado na Figura 13. O tratamento 150 g/m² apresentou menor valor médio de resistência ao arrancamento de parafuso, já o tratamento 350 g/m² apresentou maior valor médio observado.

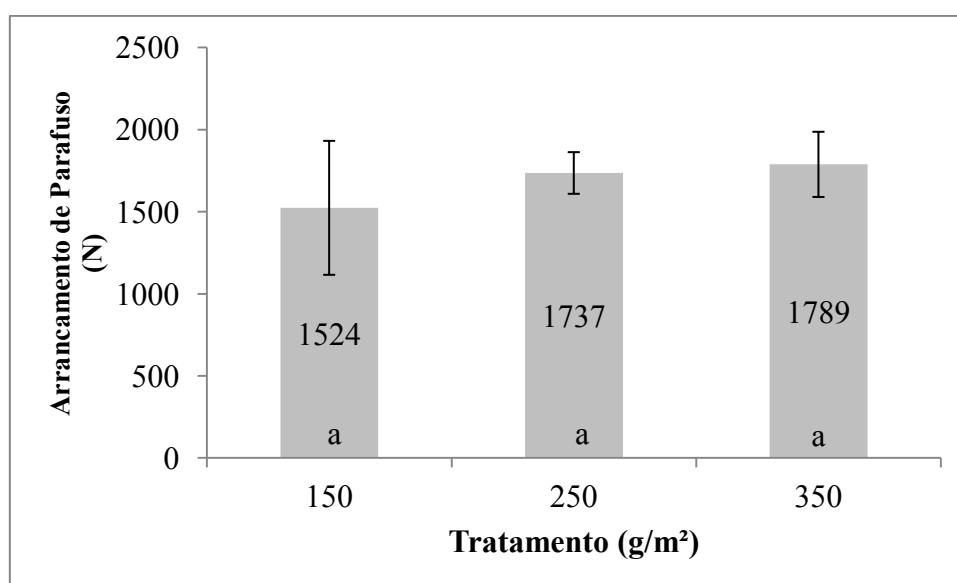


FIGURA 13. Valores médios observados para resistência ao arrancamento de parafuso.

5.2.5. Dureza

Os valores médios observados para o ensaio de dureza janka variaram de 3435 a 4554 N, apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância pela análise de variância, conforme apresentado na Figura 14. O tratamento 150 g/m² apresentou menor valor médio de dureza, já o tratamento 350 g/m² apresentou maior valor médio de dureza.

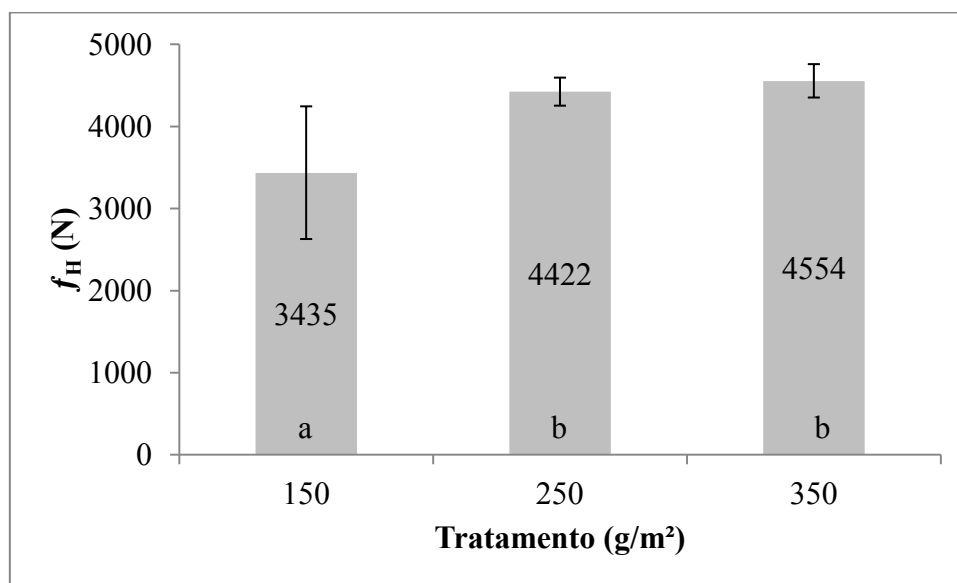


FIGURA 14. Valores médios observados para dureza janka (f_H).

5.2.6. Compressão Paralela

Os valores médios observados para o ensaio de compressão paralela ($f_{c,0}$) variaram de 51,76 N/mm² a 54,03 N/mm², não apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância pela análise de variância, conforme apresentado na Figura 15. Souza (2009) encontrou para painéis LVLs de *Pinus oocarpa* e *Pinus Kesiya* resistência à compressão paralela às fibras de 55 N/mm² e 57 N/mm².

Amorim (2013) encontrou para painéis LVLs resistência à compressão paralela variando de 19,8 a 51,7 N/mm². Palma e Ballarin (2010), em estudo feito com painéis LVLs confeccionados com uma mescla de lâminas de pinus tropicais (*P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*), utilizando o adesivo

resina fenol-formaldeído CR-7010, encontraram valores de resistência à compressão paralela variando de 38,35 a 46,84 MPa, tendo uma média de 42,22 MPa.

Palma e Ballarin (2011) no estudo de propriedades de painéis LVL com *Eucalyptus grandis*, encontraram valores de resistência à compressão paralela variando de 47,69 a 66,65 MPa, com média igual a 58,05 MPa.

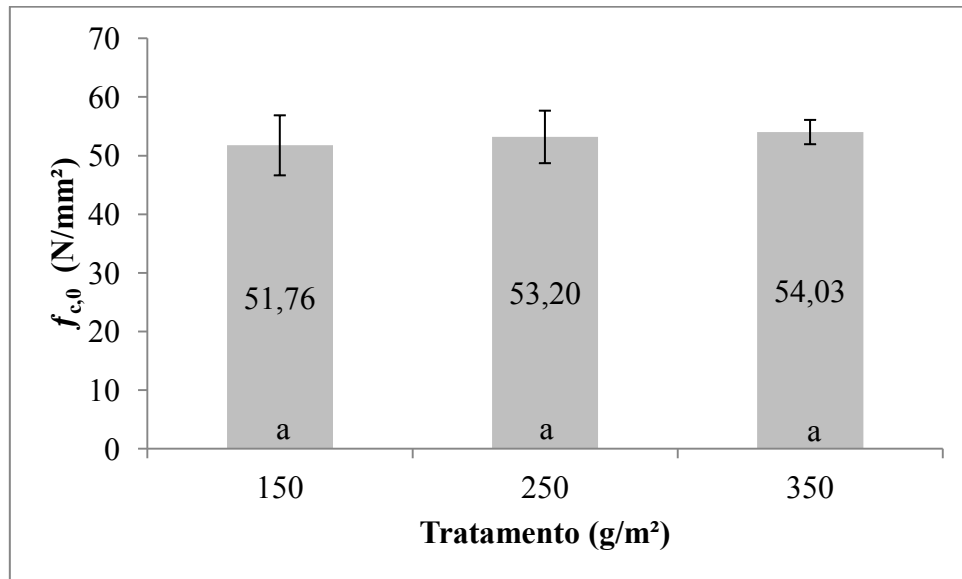


FIGURA 15. Valores médios observados de resistência à compressão paralela ($f_{c,0}$).

5.2.7. Cisalhamento

Os valores médios observados para o ensaio de cisalhamento na linha de cola ($f_{v,0}$) variaram de 2,05 N/mm² a 2,50 N/mm², não apresentando diferença estatística ao nível de 5% de significância pela análise de variância, conforme apresentado na Figura 16. Gabriel (2007), em estudo sobre o desempenho físico-mecânico de painéis LVL de pinus tropicais, utilizando adesivo à base de fenol-formaldeído, com lâminas previamente classificadas em classes de qualidade de acordo com os módulos de elasticidade por métodos não destrutivos, para painéis com 13 lâminas, encontrou valores médios de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento na condição seca variando de 5,07 a 6,70 MPa.

Souza (2009), encontrou para painéis LVLs de *Pinus oocarpa* e *Pinus Kesiya*, valores de cisalhamento paralelo à linha de cola ($f_{v,0}$) 9,8 N/mm² e 8,7 N/mm². Palma e Ballarin (2011) no estudo de propriedades de painéis LVL com *Eucalyptus grandis*, no plano

L-X, encontraram valores de resistência ao cisalhamento paralelo variando de 3,66 a 8,66 MPa, com média igual a 5,91 MPa.

Iwakiri *et al.* (2008), encontraram valores médios de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento, teste seco, variando de 27,69 a 69,61 kgf/cm² (\cong 2,71 a 6,83 N/mm²).

Iwakiri *et al.* (2012), em estudo sobre a produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina ureia-formaldeído, para o ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, no teste seco, obtiveram valores de 1,0 a 1,36 MPa.

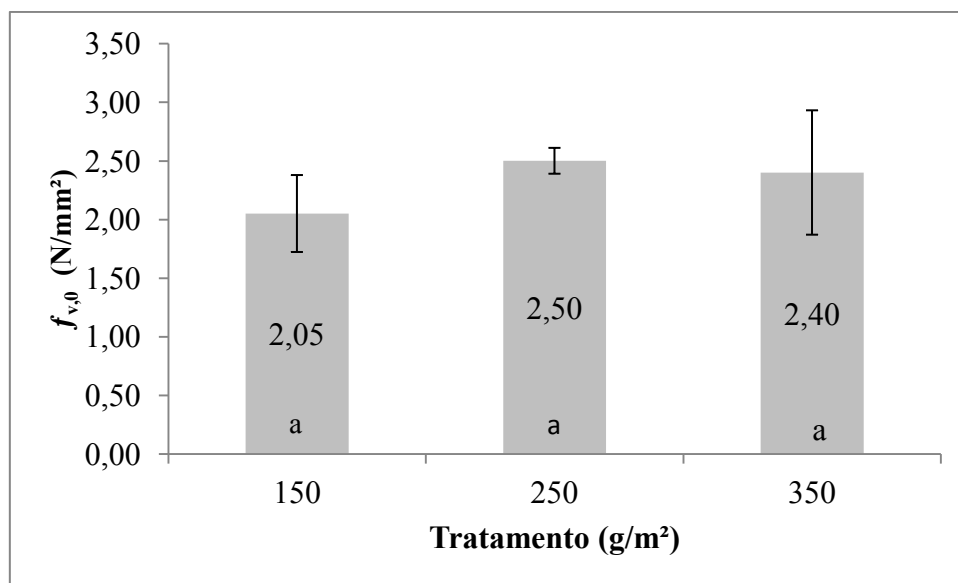


FIGURA 16. Valores médios observados para resistência ao cisalhamento na linha de cola ($f_{v,0}$).

Com a análise visual das rupturas de cisalhamento, Figuras 17, 18 e 19, observa-se que o tratamento 150 g/m², de forma geral, foi o que apresentou maior quantidade de ruptura na madeira quando comparado aos demais tratamentos. No tratamento 250 g/m² alguns corpos de prova apresentaram a ruptura quase inteira na linha de adesão, mas em outros corpos de prova a ruptura ocorreu na madeira, o mesmo aconteceu com o tratamento 350 g/m². Essa diferença do local de ruptura de cisalhamento dentro do mesmo tratamento pode ter ocorrido devido ao tingimento e escritos presentes nas sacolas plásticas, outro fator são as características das próprias lâminas utilizadas já que estas não foram previamente classificadas para a confecção dos painéis laminados madeira-plástico.



FIGURA 17. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 150 g/m².



FIGURA 18. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 250 g/m².



FIGURA 19. Rupturas de cisalhamento para o tratamento 350 g/m².

5.2.8. Inchamento em espessura e Absorção de água

Os valores médios observados para inchamento em espessura (%) variaram de 2,82% a 3,25% no período de 2h e de 5,50% a 6,18% no período de 24h. O tratamento 350g/m² apresentou menor percentual de inchamento em espessura para os dois períodos (2h e 24h), já o tratamento 250g/m² apresentou maior percentual de inchamento em espessura para os dois períodos (2h e 24h). No entanto, não houve diferença estatística ao nível de 5% de significância, conforme Figuras 20 e 21.

Segundo Pio (2002) quando se considera o efeito da umidade em painéis de madeira o fator mais importante talvez seja o inchamento em espessura, o qual pode ser afetado por diversas variáveis, como: espécie; densidade do painel; gramatura de cola; distribuição do adesivo e condições de prensagem.

Pio (2002), encontrou para os painéis de 15 anos valores médios de inchamento em espessura para o período de 2h valores variando de 5,52% a 7,11% e para os de 20 anos valores variando de 6,55% a 9,98%, já para o período de 24h os painéis de 15 anos apresentaram valores de 9,05% a 10,10% e para os de 20 anos valores de 8,26% a 10,69%.

Müller (2009) em estudo sobre a influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL, utilizando adesivo à base de fenol-formaldeído, encontrou valores médios para inchamento em espessura no período de 2h variando de 4,17% a 5,97% e para o período de 24h variando de 6,45% a 9,04%.

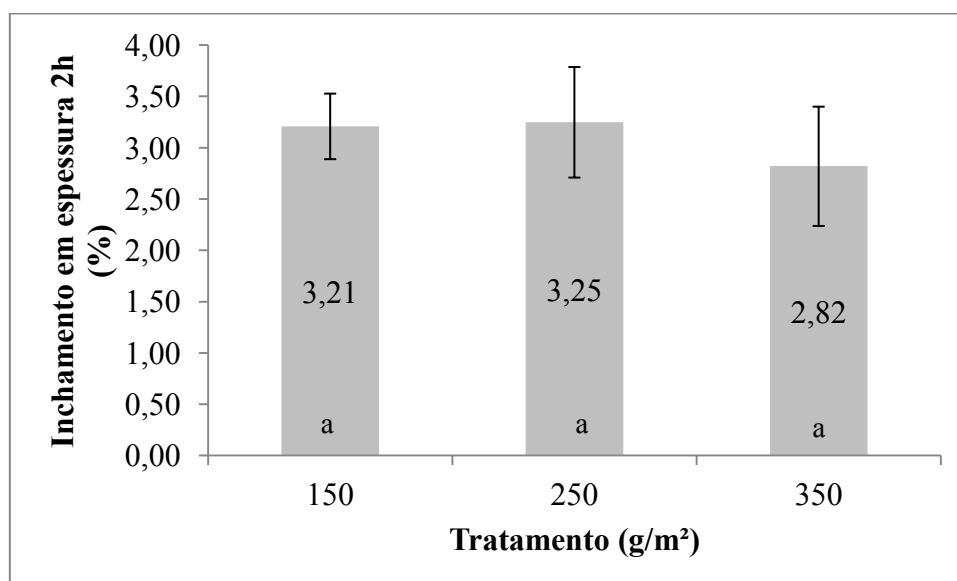


FIGURA 20. Valores médios observados para inchamento em espessura no período de 2 h.

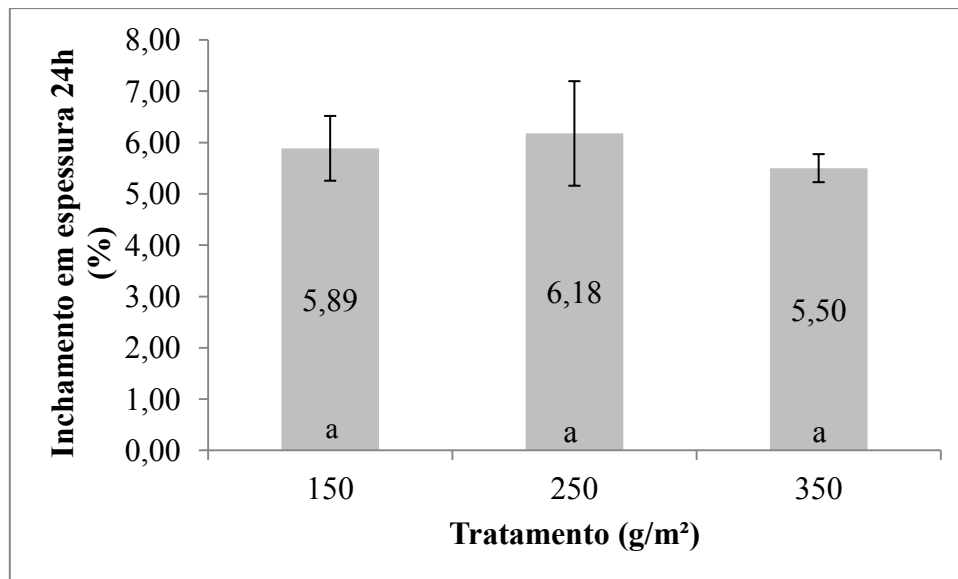


FIGURA 21. Valores médios observados para inchamento em espessura no período de 24 h.

Os valores médios observados para absorção de água (%) variaram de 17,78% a 19,77% no período de 2h e de 43,82% a 49,48% no período de 24h. O tratamento 350 g/m² apresentou menor percentual de absorção de água para os dois períodos (2h e 24h), já o tratamento 150g/m² apresentou maior percentual de absorção de água para os dois períodos (2h e 24h), estando de acordo com Pio (2002), quanto menor a densidade, maior a absorção de água. Houve diferença estatística ao nível de 5% de significância, conforme Figuras 22 e 23. Como o plástico é material hidrofóbico, acaba por atuar como impedimento à penetração da água no compósito, então, maior quantidade de plástico acarreta em menor absorção de água no compósito.

Pio (2002), encontrou para os painéis de 15 anos valores médios de absorção de água para o período de 2h valores variando de 4,82% a 5,84% e para os de 20 anos valores variando de 3,24% a 4,14%, já para o período de 24h os painéis de 15 anos apresentaram valores de 14,08% a 18,14% e para os de 20 anos valores de 10,35% a 11,97%.

Müller (2009) encontrou valores absorção de água no período de 2h variando de 5,07% a 22,68% e para o período de 24h variando de 22,19% a 42,55%.

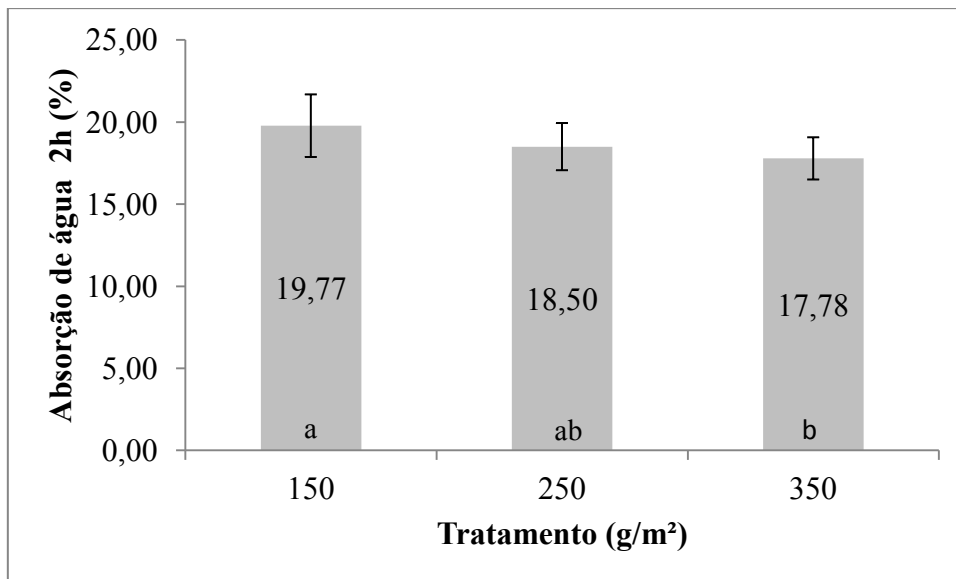


FIGURA 22. Valores médios observados para absorção de água para o período de 2h.

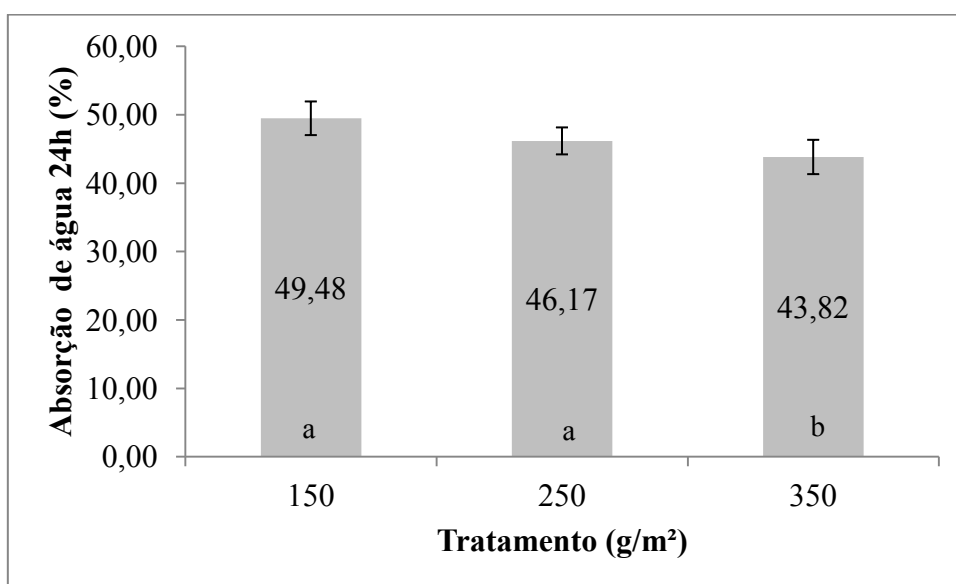


FIGURA 23. Valores médios observados para absorção de água para o período de 24h.

5.3. Correlações

A tabela a seguir que apresenta as correlações, demonstra que a densidade está exercendo influencia em algumas propriedades mecânicas e físicas do compósito laminado madeira-plástico, que são: módulo de ruptura (f_m), módulo de elasticidade (E_m), velocidade (v_0), módulo de elasticidade dinâmico (E_d), dureza (f_H), cisalhamento ($f_{v,0}$) e absorção de água (ABS). Portanto, é preciso retirar o efeito da densidade para se obter apenas o efeito da gramatura sobre as propriedades do compósito laminado madeira-plástico.

Para obter a anulação do efeito da densidade e deixar prevalecer apenas o efeito da gramatura foi preciso realizar uma análise estatística fatorial, adotando a densidade como fator covariante, passando a assumir apenas o efeito da adição de plástico no compósito laminado madeira-plástico.

Tabela 1. Correlação de Pearson (r):

		densi	fm	em	velsw	ed	parafuso	dureza	compr	cisal	ie2h	abs2h	ie24h	abs24
densi	Pearson Correlation	1	,458*	,718**	,574**	,735**	,218	,604**	,355	,543**	-,149	-,590**	,059	-,721**
fm	Pearson Correlation	,458*	1	,543**	,279	,347	,148	,250	----	----	----	----	----	----
em	Pearson Correlation	,718**	,543**	1	,586**	,669**	,060	,351	----	----	----	----	----	----
velsw	Pearson Correlation	,574**	,279	,586**	1	,977**	,108	,324	----	----	----	----	----	----
ed	Pearson Correlation	,735**	,347	,669**	,977**	1	,156	,428*	----	----	----	----	----	----
parafuso	Pearson Correlation	,218	,148	,060	,108	,156	1	,598**	----	----	----	----	----	----
dureza	Pearson Correlation	,604**	,250	,351	,324	,428*	,598**	1	----	----	----	----	----	----
compr	Pearson Correlation	,355	----	----	----	----	----	----	1	----	----	----	----	----
cisal	Pearson Correlation	,543**	----	----	----	----	----	----	----	1	----	----	----	----
ie2h	Pearson Correlation	-,149	----	----	----	----	----	----	----	----	1	,077	,704**	,341
abs2h	Pearson Correlation	-,590**	----	----	----	----	----	----	----	----	,077	1	-,267	,873**
ie24h	Pearson Correlation	,059	----	----	----	----	----	----	----	----	,704**	-,267	1	-,057
abs24	Pearson Correlation	-,721**	----	----	----	----	----	----	----	----	,341	,873**	-,057	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level.

** . Correlation is significant at the 0.01 level.

5.4. Valores estimados para mesma densidade

Foram estimados os valores médios para as propriedades que sofreram moderada a alta influência da densidade, apresentadas no item anterior (5.3) com base numa densidade padrão (657,24 kg/m³). Depois de realizado o teste das médias com os valores estimados obteve-se que as propriedades módulo de ruptura, módulo de elasticidade, cisalhamento e absorção não apresentaram diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância.

Tabela 2. Valores médios observados e valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m³).

	Tratamento (g/m ²)	Média Observada	Média Estimada
Módulo de Ruptura (N/mm ²)	150	88,48 a	93,89 a
	250	98,84 a	96,16 a
	350	93,69 a	90,97 a
Módulo de Elasticidade (N/mm ²)	150	9641,33 a	10290,31 a
	250	10519,69 ab	10197,73 a
	350	11157,66 b	10830,63 a
Arrancamento de Parafuso (N)	150	1524,25 a	1462,70 a
	250	1736,50 a	1767,03 a
	350	1788,87 a	1819,88 a
Cisalhamento (N/mm ²)	150	2,05 a	2,22 a
	250	2,50 a	2,39 a
	350	2,40 a	2,32 a
Absorção 2h (%)	150	19,77 a	18,74 a
	250	18,50 ab	19,00 a
	350	17,78 b	18,30 a
Absorção 24h (%)	150	49,48 a	47,75 a
	250	46,17 a	47,03 a
	350	43,82 b	44,69 a

Os valores médios estimados para a velocidade de propagação (v_0) variaram de 3769 a 3996 m/s, apresentando diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância, sendo que o tratamento 150 g/m² apresentou menor valor médio estimado e o tratamento 250 g/m² apresentou o maior valor médio observado, conforme apresentado na Figura 24.

Os valores médios estimados para módulo de elasticidade dinâmico (E_d) variaram de 9359 a 10500 N/mm², apresentando diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância, sendo que o tratamento 150 g/m² apresentou menor valor médio estimado e o tratamento 250 g/m² apresentou o maior valor médio observado, conforme apresentado na Figura 25.

Os valores médios estimados para dureza janka (f_H) variaram de 3518 a 4512 N, apresentando diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% de significância, sendo que o tratamento 150 g/m² apresentou menor valor médio estimado e o tratamento 350 g/m² apresentou o maior valor médio observado, conforme apresentado na Figura 26.

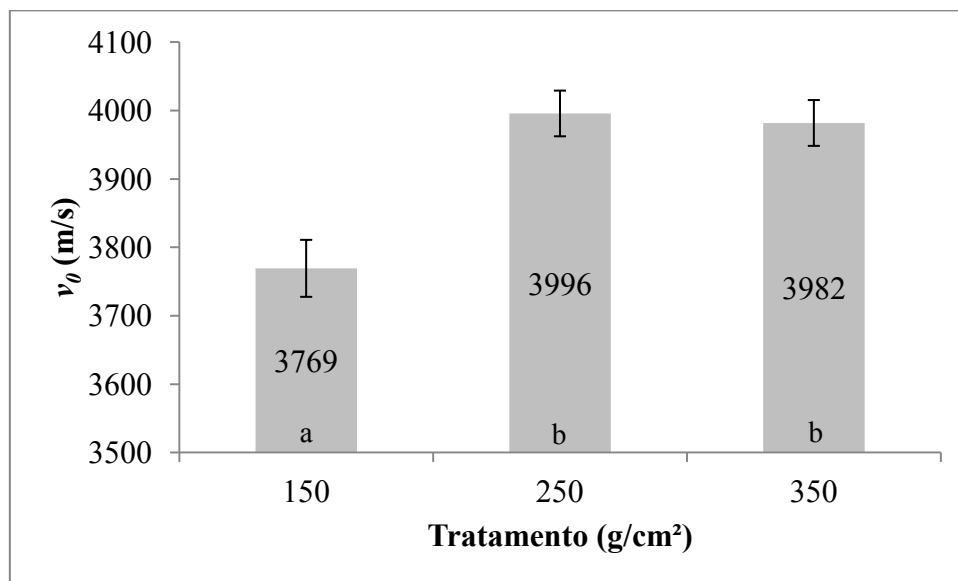


FIGURA 24. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m³) para velocidade de propagação (v_0).

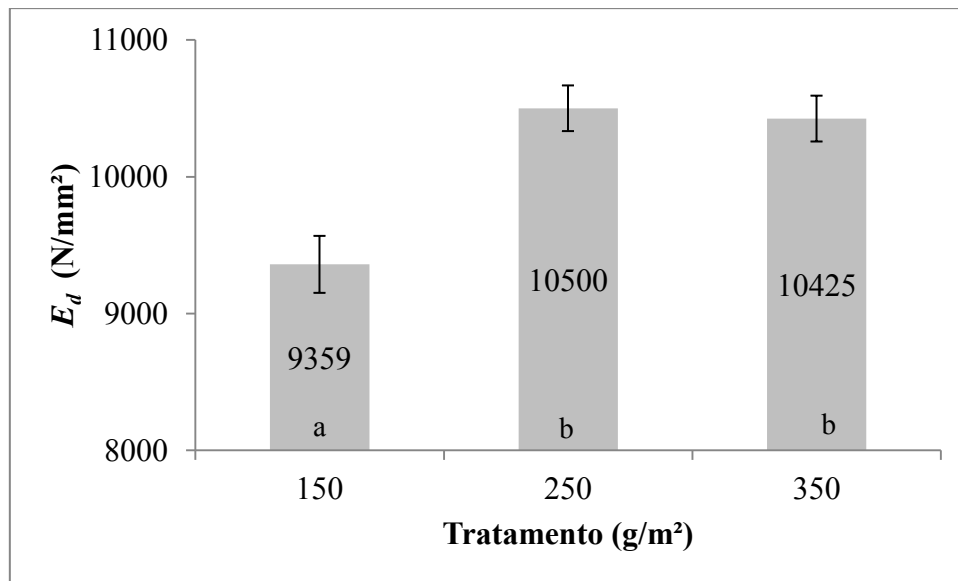


FIGURA 25. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m³) para módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

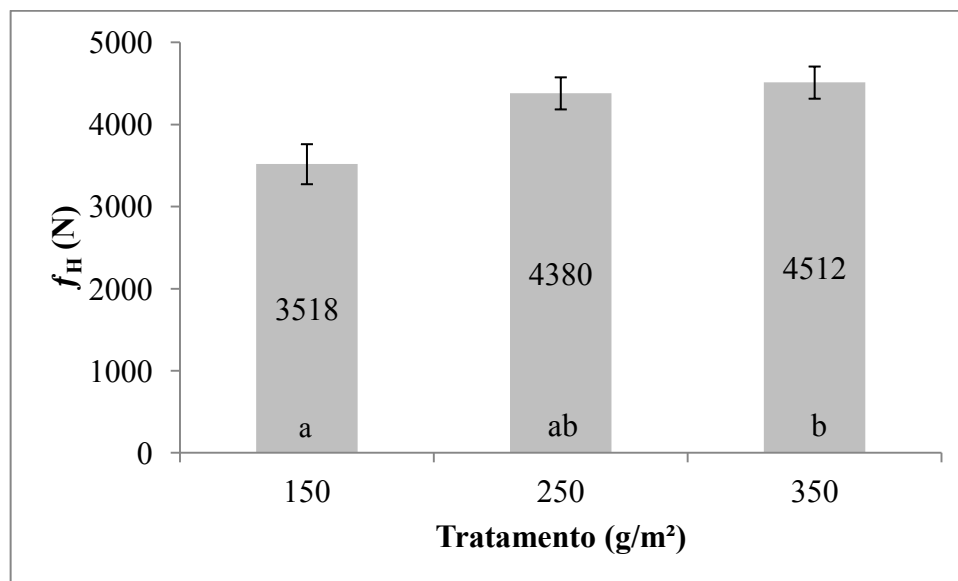


FIGURA 26. Valores médios estimados tendo a densidade como fator covariante (densidade = 657,24 kg/m³) para dureza janka (f_H).

5.5. Estimativa das propriedades mecânicas com base na avaliação não-destrutiva

Os dados de v_0 e E_d foram utilizados para gerar um modelo de regressão linear simples ($y = a + bx$), em que as propriedades (v_0 e E_d) entram como variáveis independentes (x) e as propriedades mecânicas ($f_m, E_m, f_H, f_{c,0}, f_{v,0}$) entram como variáveis dependentes (y). Inicialmente foram analisadas as variáveis de forma agrupada, para todos os tratamentos como um só grupo e posteriormente foi analisada separadamente por tratamento.

Os modelos obtidos por tratamento não foram significativos. No entanto, quando avaliado todos os tratamentos como um só grupo apenas as regressões entre v_0 e E_m e entre E_d e E_m foram significativas ao nível de 1%. Foi identificado que a velocidade de propagação (v_0) explicou 34,35% da variação dos dados de módulo de elasticidade (E_m) conforme apresentado na Figura 27, e o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) explicou 44,73% da variação dos dados de módulo de elasticidade (E_m), conforme apresentado na Figura 28. O coeficiente de determinação obtido com a análise de regressão para predição do E_m em função do E_d foi superior ao coeficiente de determinação obtido para a predição do E_m em função da v_0 , no entanto, usando a velocidade de propagação não é necessário medir a densidade do compósito laminado madeira-plástico, proporcionando economia de tempo e trabalho.

Souza (2009) avaliando a predição das propriedades mecânicas pela avaliação não-destrutiva encontrou para os painéis LVLs confeccionados com *Pinus kesiya*, encontrou para a regressão E_m em função de E_d valor de $R^2 = 0,586$ e para E_m em função de v_0 valor de $R^2 = 0,476$.

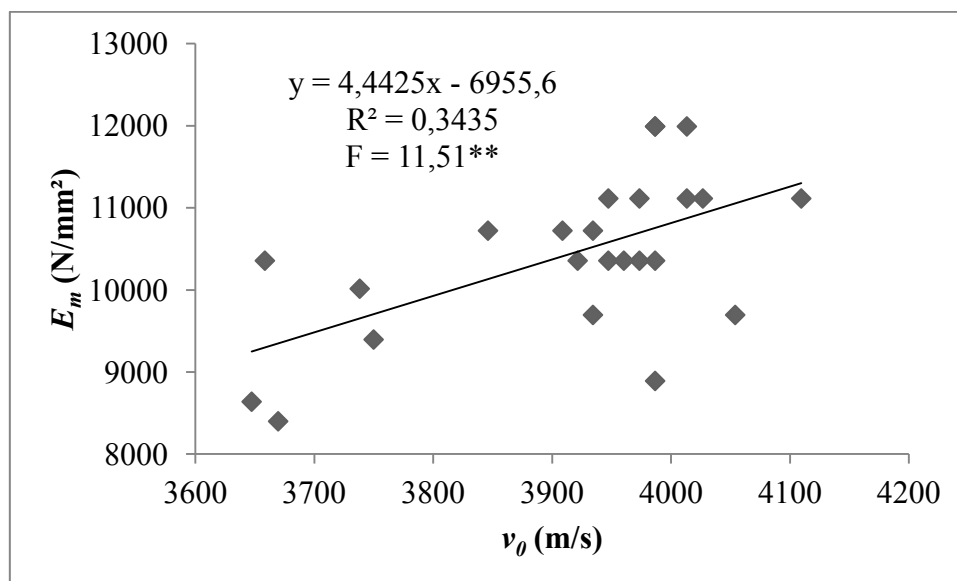


FIGURA 27. Análise de regressão linear para a predição do módulo de elasticidade (E_m) em função da velocidade de propagação da onda de tensão (v_0).

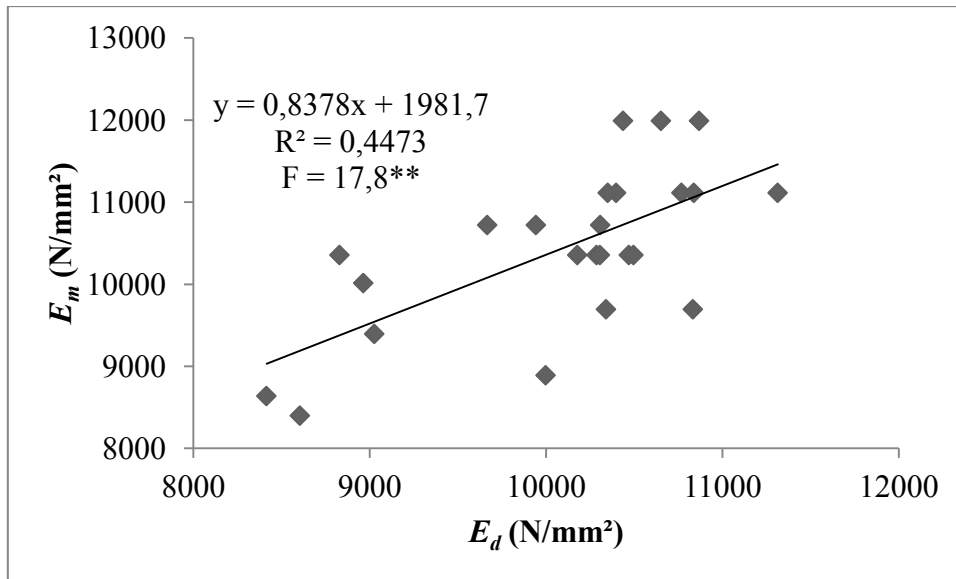


FIGURA 28. Análise de regressão linear para a predição do módulo de elasticidade (E_m) em função do módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

5.6. Algumas dificuldades encontradas durante o processo de produção

O volume de sacola utilizado para se atingir a gramatura desejada é elevado, sendo oneroso a realização das etapas de corte e abertura das sacolas. A distribuição das sacolas entre as lâminas de madeira acaba por apresentar sobras nas laterais dos laminados devido ao seu grande volume (Figura 29).



Figura 29. A) Volume de sacolas de supermercado; B) Corte e abertura das sacolas; C) Distribuição das sacolas entre as lâminas.

Outra dificuldade encontrada foi no momento de prensagem do painel, pois, quando os pratos da prensa se encontram acaba provocando o deslocamento das lâminas, resultando em perda de área útil do laminado madeira-plástico (Figura 30).

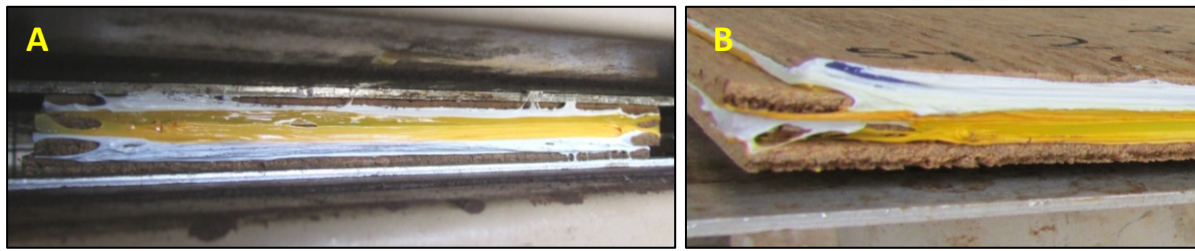


Figura 30. A) Prensagem do compósito laminado madeira-plástico; B) Laminado após prensagem apresentando o deslocamento entre as lâminas.

6. CONCLUSÕES

De modo geral, os painéis compósitos laminados madeira-plástico apresentaram boa qualidade, o material plástico teve boa fluidez entre as lâminas, não apresentando bolhas. É tecnicamente viável produção de painéis lâminas paralelas (LVL) utilizando polietileno de alta densidade (PEAD) advindo de sacolas plásticas de supermercado como agente ligante, proporcionando o reaproveitamento dos resíduos, contribuindo para a diminuição do problema ambiental gerado pelo descarte inadequado desse material.

O incremento da quantidade de plástico no compósito acarreta em aumento da densidade. A densidade exerceu alta influencia em grande parte das propriedades mecânicas e físicas avaliadas. Tais relações entre a densidade e as propriedades podem resultar em ganho de resistência do material compósito. A gramatura, quando retirado o efeito da densidade, exerceu influencia apenas nas propriedades de velocidade (v_0), módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e dureza janka (f_H), sendo assim, recomenda-se a utilização do tratamento 350g/m².

Tendo em vista a realização da recuperação de resíduos plásticos descartados deve-se optar por utilizar o tratamento com maior densidade, ou seja, o que apresenta maior quantidade de plástico (350 g/m²) por proporcionar a reutilização de maior quantidade de resíduos, sem considerar critérios econômicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEF, Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis, **POLIETILENOS SÃO AS RESINAS MAIS USADAS EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS**, março/2014.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL**, 2012.

ARRUDA, L. M., **MODIFICAÇÃO TERMOMECÂNICA DA MADEIRA DE AMESCLA (*Trattinnickia burseraefolia* (MART.) WILLD.): EFEITO SOBRE AS PROPRIEDADES DE LÂMINAS E COMPENSADO**, Dissertação Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. ASTM D 1037, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard specification for evaluation of structural composite lumber products. ASTM D 5456. 2006.

BONELLI, C. M. C., **Perfil de Recicladora de Plástico**, Reciclagem e Negócios – Plástico Granulado, CEMPRES – Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1994.

CANDIAN, L. M., **ESTUDO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE RECICLADO PARA USO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS**, Dissertação Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CARVALHO, A. M.; LAHR, F. A., **PAINÉIS LAMINADOS ESTRUTURAIS, LVL'S, REMADE - REVISTA DA MADEIRA**, Edição N°71 – Maio de 2003.

CEMPRES, Plásticos, Fichas Técnicas, **Compromisso Empresarial Para a Reciclagem**, 2011.

CLEMONS, C., Wood-Plastic Composites in the United States – The Interfacing of Two Industries, **Forest Products Journal**, Vol. 52, nº 6, June 2002.

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. C., Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 119-125, 2008.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S.; RAZZINO, C. A.; HAGE JR., E., Compósitos Termoplásticos com Madeira, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003.

CORRÊA, G. R., **Desenvolvimento, Produção e Caracterização de Compósitos de Madeira-Plásticos para Aplicação na Indústria Moveleira**, Dissertação Mestrado, UFOP – CETEC- UEMG, Belo Horizonte, Rede Temática em Engenharia de Materiais, 2004.

CRUZ, S. A.; FARAH, M.; ZANIN, M.; BRETAS, R. E. S., Avaliação das Propriedades Reológicas de Blendas de PEAD Virgem/PEAD Reciclado, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 144-151, 2008.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R., Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão, **Acta Amazonica**, vol. 40(2), p. 325-332, 2010.

EUROPEAN STANDARD. BS EM 314-1: Plywood – Bonding Quality, 2004.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G., **Wood Handbook – Wood as an engineering material**, chapter 10: Adhesives with Wood Materials – Bond Formation and Performance, Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, General Technical Report FPL-GTR-190, Madison, WI: U.S., 2010.

GABRIEL, M. S. C., **Desempenho físico-mecânico de painéis LVL de Pinus tropicais da região de São Paulo**, Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2007.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, **Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil**, São Paulo, 2003.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; BRAZ, R. L.; CASTRO, V. G.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO, E.; RANCATTI, H.; SANCHES, F. L., Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina ureia-formaldeído, **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 809 - 816, out./dez. 2012.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G.; TORQUATO, L. P.; BRONOSKI, M.; NISHIDATE, M. M., Produção de painéis laminados unidirecional – LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden E *Eucalyptus dunnii* Maiden, **Floresta e Ambiente**, v.15, n.2, p. 01 - 07, 2008.

LIMA, N. N., **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia**, Tese Doutorado, Universidade Federal de Lavras, 2011.

MATOS, T. F. L.; SCHALCH, V., Composição dos Resíduos Poliméricos, Pós-consumo, Gerados no Município de São Carlos, SP, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 4, p. 346-351, 2007.

MILAGRES, E. G., **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades**, Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MILAGRES, E. G.; VITAL, B. R.; LÚCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S., Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades, **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.463-470, 2006.

MÜLLER, M. T., **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL**, Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

OLIVEIRA, F. V., **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polietileno e embalagens cartonadas**, Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

PIO, N. S., **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**, Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2002.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W., **Compressão e cisalhamento paralelo às fibras de painéis LVL de *Pinus tropicais***, XII EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, LAVRAS/MG – 25 a 28 de julho de 2010.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W., PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAINÉIS LVL DE *Eucalyptus grandis*, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 559-566, jul.-set., 2011.

PAULESKI, D. T.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; RIZZATTI, E., Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 157-170, abr-jun, 2007.

PLASTIVIDA, Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos, **Reciclagem: Reciclagem Mecânica**, 2009.

RENZO, R., **Painel estrutural de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona**, Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras (UFLA), 2008.

SANTOS, A. S. F.; FREIRE, F. H. O.; COSTA, B. L. N.; MANRICH, S., Sacolas Plásticas: Destinações Sustentáveis e Alternativas de Substituição, **Polímeros**, vol. 22, n. 3, p. 228-237, 2012.

SOUZA, F., **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não-destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) com madeira de *Pinus oocarpa* e *P. kesiya***, Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2009.

TONELLO, D.; GUISSONI, L. S.; RIZZO, M. R.; RIBEIRO, S. P.; TISOTT, S. T., A polêmica da redução e extinção do uso das sacolas plásticas nos supermercados, **Periódico Eletrônico – Fórum Ambiental da Alta Paulista**, V. 07, N. 04, 2011.

APÊNDICE

Tabela 3. Valores obtidos para os ensaios mecânicos e físicos que foram utilizados para rodar estatística descritiva.

Tratamento	densi	fm	em	velsw	ed	cisal	compr	parafuso	dureza	IE 2h	Abs 2h	IE 24h	Abs24h
150	653,44	96,03	10720,59	3846,15	9666,23	2,56	53,37	808,77	3536,46	3,72	18,52	6,74	47,47
150	650,73	90,71	10720,59	3908,79	9942,31	1,69	53,69	968,02	1841,04	3,12	20,16	6,00	48,74
150	629,02	83,83	8890,24	3986,71	9997,50	1,67	44,33	1588,11	2808,49	3,34	19,96	6,46	49,35
150	641,85	83,68	9394,33	3750,00	9026,07	1,83	48,39	1670,4	3899,29	3,23	18,45	5,96	47,51
150	632,48	83,53	8637,44	3647,42	8414,33	2,07	51,60	1727,28	3716,56	2,80	23,11	5,14	54,25
150	638,92	75,18	8398,62	3669,72	8604,25	2,05	46,60	1703,36	3237,35	2,91	21,94	4,82	52,17
150	641,41	103,02	10013,74	3738,32	8963,66	2,08	59,52	1947,75	4042,73	2,99	17,98	5,99	48,66
150	659,61	91,93	10355,11	3658,54	8828,75	2,46	56,60	1780,97	4394,73	3,56	18,07	5,98	47,70
250	660,14	96,46	10355,11	3947,37	10286,14		58,10	1611,19	4272,73	2,68	16,60	5,06	44,09
250	669,86	96,74	11112,80	4109,59	11313,06	2,48	53,58	1909,77	4583,45	3,28	17,67	5,62	45,25
250	658,71	101,30	10355,11	3986,71	10469,42	2,67	54,73	1555,15	4351,32	3,32	18,78	6,56	44,50
250	665,83	102,20	10720,59	3934,43	10306,90	2,51	51,78	1855,24	4430,14	3,19	17,86	6,68	44,08
250	659,09	81,57	9694,15	4054,05	10832,38	2,37	52,79	1696,83	4587,84	2,69	20,60	5,13	48,91
250	667,96	93,09	9694,15	3934,43	10339,84	2,41	46,11	1651,67	4644,14	2,80	20,45	5,41	48,60
250	664,02	108,13	11112,80	4026,85	10767,44	2,45	48,80	1832,83	4162,25	4,09	18,73	7,12	47,27
250	667,18	111,25	11112,80	3947,37	10397,16	2,62	59,68	1778,63	4342,67	3,94	17,31	7,83	46,69
350	674,69	76,91	11990,13	4013,38	10867,41	2,94	53,75	1884,01	4316,48	2,78	17,60	5,41	43,16
350	656,63	102,92	11990,13	3986,71	10436,46	1,94	57,01	1812,59	4205,33	2,58	17,11	5,25	43,42
350	670,15	106,51	11990,13	3986,71	10651,25	2,45		1513,33	4500,44	3,28	16,70	5,89	44,12
350	644,58	72,80	10355,11	3973,51	10177,06	2,90	53,89	1621,89	4637,10	3,45	18,18	5,77	45,38
350	670,10	86,65	10355,11	3921,57	10305,33	1,76	50,69	1590,78	4781,61	3,02	18,78	5,20	45,01
350	655,51	99,92	11112,80	3973,51	10349,72	1,69	52,60	1950,09	4755,38	3,42	20,31	5,43	48,20
350	669,15	99,59	10355,11	3960,40	10495,49	2,86	55,88	2096,45	4591,44	1,99	16,35	5,78	40,40
350	672,84	104,24	11112,80	4013,38	10837,57	2,68	54,38	1842,03	4642,49	2,04	17,23	5,27	40,89

*Onde: densi = densidade (kg/m^3); fm = módulo de ruptura (N/mm^2); em = módulo de elasticidade (N/mm^2); velsw = velocidade de propagação da onda de tensão (m/s); Ed = módulo de elasticidade dinâmico (N/mm^2); cisal = resistência ao cisalhamento na linha de cola (N/mm^2); compr = resistência à compressão paralela (N/mm^2); parafuso = resistência ao arrancamento de parafuso (N); dureza = dureza janka (N); IE = inchamento em espessura (%) para 2h e 24h; Abs = absorção de água (%) para 2h e 24h.

Tabela 4. Valores médios observados por tratamento e seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação.

	Tratamento (g/m ²)	Média	Desvio Padrão	CV %
Densidade (Kg/m ³)	150	643,43	10,49	1,63
	250	664,10	4,32	0,65
	350	664,21	10,67	1,61
Módulo de Ruptura (N/mm ²)	150	88,49	8,71	9,85
	250	98,84	9,25	9,36
	350	93,69	13,10	13,99
Módulo de Elasticidade (N/mm ²)	150	9641,33	937,71	9,73
	250	10519,69	599,16	5,70
	350	11157,67	757,37	6,79
Velocidade SW (m/s)	150	3775,71	125,74	3,33
	250	3992,60	64,95	1,63
	350	3978,65	29,73	0,75
Módulo de Elasticidade dinâmico Ed (N/mm ²)	150	9180,39	609,15	6,64
	250	10589,04	358,53	3,39
	350	10515,04	250,38	2,38
Arrancamento de Parafuso (N)	150	1524,25	407,93	26,76
	250	1736,50	126,86	7,31
	350	1788,88	198,51	11,10
Dureza Janka (N)	150	3434,50	807,95	23,52
	250	4421,75	170,67	3,86
	350	4553,51	203,46	4,47
Compressão Paralela (N/mm ²)	150	51,76	5,12	9,89
	250	53,20	4,48	8,42
	350	54,03	2,07	3,83
Cisalhamento (N/mm ²)	150	2,05	0,33	15,99
	250	2,50	0,11	4,41
	350	2,40	0,53	22,08
Inchamento 2h (%)	150	3,21	0,32	9,96
	250	3,25	0,54	16,58
	350	2,82	0,58	20,61
Inchamento 24h (%)	150	5,89	0,63	10,73
	250	6,18	1,02	16,49
	350	5,50	0,27	4,96
Absorção 2h (%)	150	19,77	1,91	9,64
	250	18,50	1,44	7,77
	350	17,78	1,28	7,23
Absorção 24h (%)	150	49,48	2,46	4,97
	250	46,17	1,97	4,27
	350	43,82	2,51	5,72

Tabela 5. Análise de variância para dados observados de densidade, módulo de ruptura, módulo de elasticidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico, parafuso e dureza.

	Source	Type III Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamento	densi	2290,150	2	1145,075	14,167	,000
	fm	428,776	2	214,388	1,931	,170
	em	9274142,255	2	4637071,127	7,678	,003
	velsw	235788,570	2	117894,285	16,912	,000
	ed	10056192,965	2	5028096,483	26,826	,000
	parafuso	314185,583	2	157092,792	2,124	,145
	dureza	5984567,717	2	2992283,859	12,411	,000
Error	densi	1697,393	21	80,828		
	fm	2332,070	21	111,051		
	em	12683252,979	21	603964,428		
	velsw	146393,203	21	6971,105		
	ed	3936108,712	21	187433,748		
	parafuso	1553352,375	21	73969,161		
	dureza	5063122,209	21	241101,058		
Total	densi	10371325,131	24			
	fm	213360,248	24			
	em	2637585224,961	24			
	velsw	368357790,315	24			
	ed	2459722439,102	24			
	parafuso	69864105,000	24			
	dureza	421720237,410	24			

Tabela 6. Análise de variância para os valores observados de resistência à compressão paralela.

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamento		19,889	2	9,944	,569	,575
Error		349,390	20	17,469		
Total		64858,849	23			

Tabela 7. Análise de variância para os valores observados de cisalhamento.

	Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamento		,856	2	,428	3,065	,069
Error		2,794	20	,140		
Total		126,403	23			

Tabela 8. Análise de variância para os resultados obtidos de inchamento em espessura e absorção de água para 2h e 24h.

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tratamento	ie2h	,897	2	,449	1,844	,183
	abs2h	16,273	2	8,136	3,319	,056
	ie24h	1,842	2	,921	1,828	,185
	abs24	129,305	2	64,653	11,958	,000
Error	ie2h	5,112	21	,243		
	abs2h	51,476	21	2,451		
	ie24h	10,575	21	,504		
	abs24	113,539	21	5,407		
Total	ie2h	235,534	24			
	abs2h	8447,224	24			
	ie24h	834,927	24			
	abs24	52120,105	24			

Tabela 9. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de módulo de ruptura, módulo de elasticidade, velocidade, módulo de elasticidade dinâmico, parafuso e dureza.

Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
fm	150	250	-2,275	7,210	1,000
		350	2,919	7,229	1,000
	250	150	2,275	7,210	1,000
		350	5,194	5,090	,959
	350	150	-2,919	7,229	1,000
		250	-5,194	5,090	,959
em	150	250	92,578	473,465	1,000
		350	-540,319	474,709	,805
	250	150	-92,578	473,465	1,000
		350	-632,898	334,242	,219
	350	150	540,319	474,709	,805
		250	632,898	334,242	,219
velsw	150	250	-226,421*	60,522	,004
		350	-212,518*	60,681	,007
	250	150	226,421*	60,522	,004
		350	13,903	42,725	1,000
	350	150	212,518*	60,681	,007
		250	-13,903	42,725	1,000
ed	150	250	-1140,940*	302,630	,004

		350	-1065,534*	303,425	,007
	250	150	1140,940*	302,630	,004
		350	75,406	213,641	1,000
	350	150	1065,534*	303,425	,007
		250	-75,406	213,641	1,000
parafuso	150	250	-304,326	195,237	,404
		350	-357,182	195,750	,249
	250	150	304,326	195,237	,404
		350	-52,857	137,827	1,000
	350	150	357,182	195,750	,249
		250	52,857	137,827	1,000
dureza	150	250	-862,648	354,188	,073
		350	-993,759*	355,119	,033
	250	150	862,648	354,188	,073
		350	-131,111	250,039	1,000
	350	150	993,759*	355,119	,033
		250	131,111	250,039	1,000

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Tabela 10. Teste de médias de Bonferroni para os resultados estimados de cisalhamento.

Dependent Variable		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
150	250	-,170	,270	1,000
	350	-,094	,254	1,000
250	150	,170	,270	1,000
	350	,076	,189	1,000
350	150	,094	,254	1,000
	250	-,076	,189	1,000

Tabela 11. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de compressão paralela.

Dependent Variable		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
150	250	1,532	2,931	1,000
	350	,431	2,850	1,000
250	150	-1,532	2,931	1,000
	350	-1,101	2,120	1,000
350	150	-,431	2,850	1,000
	250	1,101	2,120	1,000

Tabela 12. Teste de médias Bonferroni para os valores estimados de absorção de água para 2h e 24h.

Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
abs2h	150	250	-,262	1,028	1,000
		350	,448	1,030	1,000
	250	150	,262	1,028	1,000
		350	,709	,726	1,000
	350	150	-,448	1,030	1,000
		250	-,709	,726	1,000
abs24	150	250	,720	1,477	1,000
		350	3,057	1,480	,156
	250	150	-,720	1,477	1,000
		350	2,338	1,042	,109
	350	150	-3,057	1,480	,156
		250	-2,338	1,042	,109