



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

VINICIUS PEIXOTO TINTI

**EFEITOS DA TEMPERATURA E ADESIVOS NA QUALIDADE DE PAINÉIS
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2015

VINICIUS PEIXOTO TINTI

**EFEITOS DA TEMPERATURA E ADESIVOS NA QUALIDADE DE PAINÉIS
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: D. Sc. Fabricio Gomes Gonçalves.

Coorientador: D. Sc. Juarez Benigno Paes.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Tinti, Vinicius Peixoto, 1987-

T593e Efeitos da temperatura e adesivos na qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de eucalipto / Vinicius Peixoto Tinti. – 2015.

77 f. : il.

Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves.

Coorientadores: Juarez Benigno Paes.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Compensados de madeira. 2. Madeira – Produtos. 3. Propriedades tecnológicas. 4. Adesivos comerciais. 5. Taninos. I. Gonçalves, Fabricio Gomes. II. Paes, Juarez Benigno. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**EFEITO DA TEMPERATURA E ADESIVOS NA QUALIDADE DE PAINÉIS
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO**

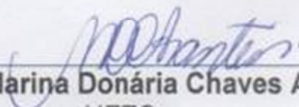
Vinicius Peixoto Tinti

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

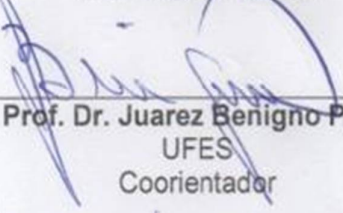
Aprovada em 29 de junho de 2015.



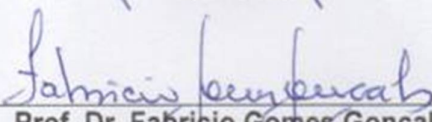
Dr. Michel Cardoso Vieira
UFRRJ
Examinador Externo



Prof.ª. Dra. Marina Donária Chaves Arantes
UFES
Examinador Interno



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
UFES
Orientador

A Deus, Pai todo poderoso, por me guiar e pelo dom da vida.

Aos meus pais, João Tinti e Juranir Peixoto Tinti, pelo amor, carinho, compreensão, amizade, incentivos em todos os momentos.

Aos meus amigos, que me apoiaram e ajudaram na realização deste trabalho.

Dedico.

“Não se mede o valor de um homem pelas suas roupas ou pelos bens que possui. O verdadeiro valor do homem está em seu caráter, em suas ideias e na nobreza dos seus ideais.”

Charlie Chaplin.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o Grande Arquiteto do Universo, o Pai Celestial, fonte de poder e glória, pela sabedoria, saúde, força e por iluminar a minha caminhada.

A minha mãe, Juranir Peixoto Tinti, pelo amor, carinho, conselhos e confiança na minha capacidade; a meu pai, João Tinti, pelo grande exemplo na minha vida, pela educação e incentivo nos momentos de dificuldade.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela oportunidade em cursar o mestrado. A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES), pela concessão da bolsa de estudo. Ao Programa do Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCFL).

A Serraria Santa Rita pela doação da serragem de eucalipto utilizada neste trabalho.

A Empresa Seta, pela doação do tanino, a empresa Momentive Química do Brasil Ltda. pela doação da ureia formaldeído (UF) e fenol formaldeído (FF), adesivos utilizados neste trabalho.

Ao Laboratório de Painéis, de Ciências da Madeira, de Biodeterioração e Proteção da Madeira, e de Química da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal e da Madeira (DEFM) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela produção dos painéis, realização dos ensaios físicos e mecânicos, ensaios biológicos, e extração química, sendo parte fundamental para a execução desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves, pela orientação, disposição, amizade, estímulo, ajuda na execução do trabalho e, sobretudo humildade nos momentos de dificuldade, sendo capaz de transmitir seus conhecimentos e experiência, os quais serão levados ao longo da minha vida.

Ao coorientador Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, pela disponibilidade de me atender sempre que necessitei, ajuda na execução do trabalho, amizade, disposição e conselhos tanto na parte acadêmica quanto pessoal, ensinamentos que levarei por toda vida.

Ao Prof. Dr. Mario Tomazello Filho por disponibilizar o Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira, do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), e ao Matheus Peres Chagas por auxiliar na realização do ensaio de Densitometria de Raios X.

Ao Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça pela ajuda nas análises estatísticas, meu muito obrigado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal e da Madeira (DEFM), que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Química, Gilson Barbosa São Teago e Luciano Dias, pelo auxílio na realização da parte química.

Ao técnico do laboratório José Geraldo Lima de Oliveira, pelo auxílio nos ensaios físicos e mecânicos, por sempre estar disposto para ajudar, pelas conversas e ensinamentos.

Aos marceneiros Elecy Palácio Constantino e Gilberto (Betinho) pela confecção dos corpos de prova.

Aos colegas da linha de pesquisa Tecnologia de Produtos Florestais, em especial: Dercilio Lopes, Victor Brocco, João Gabriel Silva, Denise Soranso, Lais Costa, Pedro Nicó Neto, Ana Carolina Boa, Brunela Rodrigues e a todos aqueles que colaboram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Às bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) Daniela Minini e Mayária Felberg, ao aluno de Engenharia Industrial Madeireira Alaor Coelho, e aluna de Engenharia Florestal Fernanda Catein, pela colaboração e dedicação durante as etapas de realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Vinicius Peixoto Tinti, (Vitória, Espírito Santo, 30 de abril de 1987), filho de João Tinti e Juranir Peixoto Tinti. Em 2004 concluiu o ensino médio no Colégio Ateneu no município de Vila Velha – ES. No segundo semestre de 2006 ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo, *campus* de Alegre, onde se graduou no curso de Engenharia Industrial Madeireira, em 2012. No primeiro semestre de 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na Universidade Federal do Espírito Santo, no município de Jerônimo Monteiro – ES. Submeteu-se à defesa de dissertação em 2015.

RESUMO

TINTI, Vinicius Peixoto. **Efeitos da temperatura e adesivos na qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de eucalipto**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves. Coorientador: Juarez Benigno Paes.

O objetivo da pesquisa foi avaliar a utilização de resíduo de serraria na produção de painéis aglomerados com adição de adesivos químicos comerciais modificados com tanino de *Acacia mearnsii* De Willd. O resíduo de madeira de eucalipto foi obtido em uma serraria existente na região do Caparaó, sul do Espírito Santo. Utilizou-se serragem proveniente de destopadeira, que foram analisadas quimicamente, quanto ao pH, capacidade tampão, extrativos e cinzas. A serragem foi seca ao ar até teor de umidade aproximado de 15%, e posteriormente peneirada, e foram utilizadas as partículas que transpassaram na malha de 4,0mm e ficaram retidas na de 2,0mm. As partículas foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até a umidade pré-estabelecida de 5%, e utilizadas para produção dos painéis com dimensões de 42,5 x 42,5 x 1,25 cm e densidade nominal de 700 kg m^{-3} . Foram determinadas nos adesivos comerciais puros (ureia e fenol formaldeído) e nas combinações destes com 10 e 20% de tanino diluído (solução tânica a 50% – tanino: água destilada), o teor de sólidos, pH e viscosidade. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial (7x2), sendo a temperatura em dois níveis e o adesivo em 7 níveis, e realizada a análise de variância para todos os ensaios, à exceção para a densitometria de raios X. Com os painéis aglomerados produzidos procedeu-se a avaliação das propriedades físicas e mecânicas, a biodeterioração por fungos e térmitas (cupim de madeira seca), e o perfil de densidade pela densitometria de raios X. A densidade aparente do painel ficou abaixo da nominal pré-estabelecida, fato explicado pela presença de casca nas partículas. Para o ensaio de inchamento em espessura após 2 horas, apenas quatro dos 14 adesivos ficaram abaixo do exigido pela Norma Comercial Americana 236-66, porém para o ensaio de inchamento em espessura após 24 horas, sete adesivos não atingiram o estabelecido pela norma. Para o módulo de ruptura (MOR) cinco adesivos não atingiram o regulamentado pela Norma Americana ANSI A208.1, e para módulo de elasticidade (MOE) apenas 3 adesivos apresentaram resultados satisfatórios de acordo com a mesma norma. A ligação interna obteve resultados dentro da Norma Americana ANSI A208.1. No arrancamento de parafuso na superfície apenas o adesivo tanino fenol formaldeído 80:20 (120°C) obteve valor abaixo da Norma Americana ANSI A208.1. Na deterioração causada pelo fungo *Postia placenta* os adesivos com 100% tanino formaldeído (120 e 140°C) tiveram a maior perda de massa e para o fungo *Trametes versicolor* a perda de massa foi alta (acima de 20%) para a maioria dos adesivos, exceto para fenol formaldeído (100%) e tanino fenol formaldeído (90:10). A avaliação do perfil de densidade aparente pelo ao longo da espessura pelo método de densitometria de raios X, mostrou alguma equivalência

entre os painéis, o que indicou certa homogeneidade pela proximidade entre as linhas do gráfico.

Palavras-chave: Partículas de madeira. Propriedades tecnológicas. Adesivos comerciais. Tanino.

ABSTRACT

TINTI, Vinicius Peixoto. **Effects of temperature and adhesive quality of particleboard made from eucalyptus wood waste.** 2015. Dissertation (Master of Forest Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Fabricio Gomes Gonçalves. Coadvisor: Juarez Benigno Paes.

The objective of the research was to evaluate the use of sawmill residue in the production of particleboard with adding commercial chemical adhesives modified tannin of *Acacia mearnsii* De Willd. Eucalyptus wood waste was obtained in an existing sawmill in Caparaó region, south of the Espírito Santo state. It was used sawdust from lumber trimmer, which were chemically analyzed for pH, buffer capacity, extractives and ash. The sawdust was dried in air until a moisture content of approximately 15%, and then sieved and the particles which were used in the pierced mesh were 4.0mm and 2.0mm retained on. The particles were dried in an oven at $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ until the preset humidity of 5% and used for the production of panels with dimensions of 42.5 x 42.5 x 1.25 cm and a nominal density of 700 kg m^{-3} . Were determined in pure commercial adhesives (phenol formaldehyde and urea), and combinations thereof with 10 to 20% of dilute tannin (tannin solution of 50% - tannin: distilled water), solids content, pH and viscosity. The statistical design was completely randomized in a factorial arrangement (7x2), and the temperature on two levels and the adhesive on 7 levels, and carried out the analysis of variance for all tests, except for the X-ray densitometry. With the produced particleboards proceeded to assess the physical and mechanical properties, biodeterioration by fungi and termites (dry-wood termites), and the density profile by X-ray densitometry. The bulk density of the panel was below the nominal predetermined, a fact explained by the presence of bark on the particles. For thickness swell test after 2 hours, only four of the adhesive 14 were below the standard required by the commercial American 236-6 but for the thickness swell test after 24 hours, seven adhesives have not reached the set by the standard. For the modulus of rupture (MOR) have not reached five adhesive regulated by the American Standard ANSI A208.1, and modulus of elasticity (MOE) only 3 adhesives showed satisfactory results according to the same standard. The internal connection obtained results within the American Standard ANSI A208.1. In screw pullout on the surface only the tannin phenol formaldehyde adhesive 80:20 (120°C) obtained value below the American Standard ANSI A208.1. In the deterioration caused by the fungus *Postia placenta* adhesives with 100% tannin formaldehyde (120 and 140°C) had the greatest loss of mass and the fungus *Trametes versicolor* mass loss was high (above 20%) for most adhesives except for phenol formaldehyde (100%) phenol and tannin formaldehyde (90:10). The evaluation of density profile with the technique of the X-ray densitometry showed homogeneity between the panels, observed by proximity of the lines of profiles.

Keywords: Wood particles. Technological properties. Commercial adhesives. Tannin

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 RESÍDUOS.....	15
2.2 A MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS</i> SP.	17
2.2 OS ADESIVOS UREIA FORMALDEÍDO E FENOL FORMALDEÍDO.....	18
2.3 OS TANINOS E SUA IMPORTÂNCIA PARA INDÚSTRIA.....	20
2.4 PAINÉIS AGLOMERADOS	21
2.5 RESISTÊNCIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS A ORGANISMOS XILÓFAGO.....	24
2.6 TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO TANINO E DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA.....	28
3.1.1 Preparo dos resíduos (partículas)	28
3.1.2 Caracterização química e física dos resíduos de madeira	29
3.1.3 Caracterização química dos adesivos.....	30
3.2 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	31
3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E DE RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE AGENTES DEGRADADORES	32
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE MADEIRA.....	40
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ADESIVOS	42
4.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAINEL	43
4.4 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PAINEL	47
4.5 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA POR AGENTES DETERIORADORES	52
4.6 AVALIAÇÃO DO PERFIL DE DENSIDADE APARENTE POR DENSITOMETRIA DE RAIOS X	56
5 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICES	70

1 INTRODUÇÃO

Os painéis de partículas de madeira aglomerada podem ser fabricados com fragmentos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos, como bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz e de milho, aglutinados com adesivos sintéticos, naturais ou mistos, submetidos à prensagem a quente por tempo suficiente para a cura da resina (JUVENAL; MATTOS, 2002). As madeiras de folhosas ou de coníferas são fontes renováveis para a produção de aglomerados, em que a espécie utilizada é uma das variáveis mais importantes no processo (IWAKIRI et al., 2004).

Para obter qualidade nos painéis aglomerados de madeira, pesquisas têm sido direcionadas para a combinação de algumas variáveis, como teor de adesivo, umidade das partículas, aditivos, granulometria das partículas e ainda no processo de fabricação dos mesmos, como tempo de prensagem, temperatura e velocidade de fechamento da prensa (MACIEL et al., 2004; TOSTES et al., 2004; IWAKIRI et al., 2005; BRITO et al., 2006).

Na produção dos painéis aglomerados, o adesivo é o componente que representa o maior custo de produção. Para isso, é necessário se otimizar a quantidade a ser aplicada em função das propriedades pretendidas ao uso final, isto em função do teor de sólidos do adesivo e com base na massa seca das partículas, que varia de 5 a 10%. Os principais tipos de adesivos utilizados na produção de painéis aglomerados são ureia formaldeído (UF), fenol formaldeído (FF) e melamina formaldeído (MF) (IWAKIRI et al., 2005).

Para uso em ambientes externos, os painéis produzidos com adesivo à base de fenol formaldeído proporcionam melhores resultados, em função da boa resistência à umidade. Em ambientes internos, os adesivos mais utilizados na produção de painéis são à base de ureia formaldeído. Estudos mostram que o uso dos adesivos melamina formaldeído, resorcina formaldeído (RF) e também o tanino formaldeído (TF) possuem potencial para utilização em diferentes ambientes.

Apesar de alguns aspectos negativos, como sua baixa resistência coesiva e à umidade, o tanino pode ser eficiente na produção de painéis reconstituídos de madeira, a exemplo dos aglomerados, por intermédio de técnicas adequadas, como a redução da viscosidade, mediante adição de endurecedores (Albuquerque et al., 2005).

Os taninos estão presentes principalmente na casca de algumas espécies florestais, como *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp. e algumas leguminosas, dentre as quais se destaca a *Acacia mearnsii* De Willd, espécie cultivada no Sul do Brasil. Além de adesivos para a indústria de painéis de madeira (MORI et al., 2000), os taninos são utilizadas na perfuração de poços de petróleo (PAES et al., 2010), no tratamento de águas residuárias (SILVA, 1999) e na curtição de couro (PAES et al., 2006).

No desdobro de toras o rendimento é inferior a 50%, gerando uma quantidade considerável de resíduo. Portanto, sua utilização como matéria-prima no desenvolvimento de um produto diferenciado é de grande importância, contribuindo para possibilidades de novos mercados, sendo ainda pouco explorados.

Neste contexto, é interessante realizar estudos em relação à utilização dos resíduos lignocelulósicos madeireiros, com o propósito de novas possibilidades de uso para a produção de painéis aglomerados, que poderá representar uma alternativa viável e ambientalmente correta, uma vez existindo grande quantidade desta matéria-prima gerada rotineiramente na região do estudo, poderá haver uma redução da problemática ambiental.

Caso tenham um destino final inadequado, os resíduos gerados nos diversos tipos de indústrias madeireiras durante o processamento primário ou secundário da madeira sólida são potenciais poluidores do meio ambiente (CERQUEIRA et al., 2012).

Assim, a produção de painéis aglomerados com resíduos de serrarias é uma boa alternativa para utilização deste material, antes descartado no ambiente de forma inadequada. Proporcionando assim uma nova alternativa de matéria-prima, para esta produção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Utilizar resíduo proveniente de serraria na produção de painéis aglomerados com adição de adesivos químicos comerciais modificados com tanino de *Acacia mearnsii*.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar quimicamente o resíduo da indústria madeireira oriundo de destopadeira;
- Determinar as propriedades tecnológicas dos adesivos comerciais e de suas modificações com o tanino formaldeído;
- Produzir painéis aglomerados com adesivos à base de tanino (adesivo tanino formaldeído), adesivos sintéticos (ureia e fenol formaldeído) e suas modificações (combinações com 10 e 20% de tanino diluído);
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados;
- Analisar a resistência dos painéis à biodeterioração por fungos e térmitas xilófagos; e
- Obter os perfis de densidade aparente por densitometria de raios X.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS

Os resíduos são toda a sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização. É também todo material, ou produto destinado por seu proprietário ao abandono (LIMA; SILVA; VIEIRA, 2008).

Os resíduos lignocelulósicos provenientes de serrarias são classificados basicamente em três tipos (VALE; GENTIL, 2008):

- Serragem: encontrado na maioria das indústrias de madeira (serrarias). Gerado pelo processo de usinagem com serras;
- Cepilho: proveniente de indústrias beneficiadoras da madeira como, por exemplo, nas movelarias. Gerado nas plainas;
- Lenha: são resíduos maiores, como aparas, refilos, casca e roletes. Presente também em todas as indústrias madeireiras. Segundo Brito (1995) é o de maior representatividade.

Os resíduos de madeira podem ser utilizados em diversas aplicações. Lima e Silva (2005) citam a energia, painéis de partículas e fibras, briquetes, polpa e cargas para compostos poliméricos. No caso de painéis, são utilizados na produção de painéis de fibras ou partículas (aglomerado, chapas duras, *Medium Density Fiberboard* – MDF). No Brasil a utilização de resíduos para produção de painel aglomerado é pequena, se comparado a países como os Estados Unidos (BRITO, 1995). É importante lembrar que questões com relação ao tamanho e forma das partículas utilizadas devem ser adequadas ao processo, pois isto influenciará diretamente na qualidade do produto (LIMA; SILVA, 2005).

Novos compostos a base de madeira permite o uso de matéria-prima de menor qualidade, desenvolvendo assim produtos “engenheirados”, mais homogêneos e de alto valor agregado. O crescente uso de produtos a base de compensados, aglomerados e chapas de fibras, é explicado pela escassez na oferta de madeira serrada (TEIXEIRA, et al., 1997). Assim, estudos sobre o melhor aproveitamento de resíduos florestais, agrícolas e urbanos (plástico, papel, papelão) para produção de painéis têm aumentado.

Na produção de aglomerado pode ser utilizado material florestal de desbaste e poda, costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas, pó-de-serra e

cavacos de plainas, cavacos de madeira de movelaria e carpintaria ou resíduos agrícolas como, bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz e palha de milho, puros ou misturados com partículas de madeira (MALONEY, 1977).

Gonçalves e Ruffino (1989) reciclaram serragem de diferentes granulometrias em várias etapas de indústrias de beneficiamento de madeira para fabricação de painéis aglomerados de três camadas, a camada interna feita com a serragem mais grossa e as externas feitas com serragem fina. O produto final foi um painel aglomerado para uso em móveis ou para construção civil.

Iwakiri et al. (2000) utilizaram costaneiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora*, e *Eucalyptus pilularis* na produção de painéis aglomerados e concluíram ser possível a utilização desta matéria-prima para uso industrial. Estes painéis apresentaram boa estabilidade dimensional e propriedades de módulo de ruptura e ligação interna, com valores médios acima do mínimo proposto pela Norma Comercial Americana CS 236-66.

Dacosta (2004) produziu painéis aglomerados usando como base resíduos lignocelulósicos resultante do processo mecânico, como casca, costaneiras, serragem, refilos, destopo e maravalhas de madeira de *Pinus elliottii*. Resultados mostraram que a utilização de partículas do tipo maravalha, misturada com maiores porcentagens de adesivo, em painéis de maior densidade, resultou em melhoria das propriedades. A mesma autora observou uma redução nas propriedades de resistência nos painéis produzidos em função dos resíduos apresentarem elevadas quantidades de cascas.

Santos et al. (2008) avaliaram em painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de tauari proveniente de uma serraria, as propriedades de inchamento em espessura, absorção de água, densidade aparente e teor de umidade. Os mesmos autores obtiveram bons resultados para estas propriedades, concluindo assim a viabilidade do reaproveitamento do resíduo para a fabricação de painéis aglomerados para serem utilizados em ambientes internos e externos.

2.2 A MADEIRA DE *EUCALYPTUS* SP.

No Brasil, o eucalipto foi introduzido com finalidade comercial em 1904, por Edmundo Navarro de Andrade. O propósito inicial dos plantios era para produzir dormentes, postes e lenha para as locomotivas das estradas de ferro paulistas. Entretanto, várias pesquisas desde então têm apresentado a versatilidade de uso da madeira de eucalipto (WILCKEN, et al. 2008).

Dentre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira nacional, as do gênero *Eucalyptus* estão entre as mais importantes. Essa importância é atribuída à velocidade de desenvolvimento de suas árvores, facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira (BATISTA et al., 2010).

Segundo Santos et al. (2007), o crescimento populacional no Brasil, interligado à atividade econômica, implica na busca de alternativas sustentáveis para a produção de matérias-primas. Nesse cenário, a madeira de eucalipto desempenha um importante papel, pois o País reúne vantagens para o desenvolvimento dessa árvore, como grandes áreas para fins silviculturais, condições de crescimento favoráveis e conhecimentos tecnológicos reconhecidos internacionalmente.

O segmento das florestas plantadas no Brasil vem apresentando aumento de produtividade florestal. Além dos fatores ambientais favoráveis para a silvicultura, novas tecnologias são utilizadas para aumentar a produtividade, como o melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Esse aprimoramento leva a nação a se destacar na produtividade florestal tanto de folhosas, quanto de coníferas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2013).

O potencial de utilização da madeira de eucalipto tem aumento nos últimos tempos, principalmente quando usa o conceito de floresta de múltiplo uso. Haverá desta forma, a possibilidade de explorar todo o potencial de sua madeira, que prima pela enorme amplitude de opções de utilização. Assim, devem crescer as opções de melhoramento das espécies (procedências, clonagens e híbridos), espaçamentos, idade de corte e técnicas silviculturais diferenciadas. Alguns usos tradicionais já estão consolidados, como lenha, carvão, escoras, celulose e móveis. No entanto, muitos outros usos para a madeira, como postes, dormentes, construção civil, movelaria, componentes estruturais, em telhados, por exemplo, que podem contribuir com um retorno econômico (SILVA, 2011).

Silva (2011) destacou que em se tratando de madeira de eucalipto, existem inúmeras opções na escolha das espécies, com grande variação entre estas, e cada uma apresenta suas exigências de clima e de solo, propriedades da madeira e opções de uso. O mesmo autor afirmou que se o objetivo for puramente econômico, visando à produção de madeira, a seleção das espécies deve considerar as exigências do mercado consumidor, prestando-se atenção quanto às características da matéria-prima a ser produzida para seu uso final.

2.2 OS ADESIVOS UREIA FORMALDEÍDO E FENOL FORMALDEÍDO

O adesivo é um componente importante, com implicações técnicas e econômicas significativas na utilização dos produtos à base de madeira (PIZZI, 1994a), com custo de 50% do preço total do produto final (CARNEIRO et al., 2004). De acordo com Kollmann et al. (1975), os adesivos de madeira são classificados como de origem natural (caseína, couro, osso, sangue e soja); sintéticos termorrígidos (ureia, fenol, melamina, resorcinol, tanino e epóxi), que são convertidos a um estado insolúvel, irreversível, por meio de reações químicas com ou sem aplicação de calor; e sintéticos termoplásticos (polivinil-cloreto – PVC, polivinil-acetato – PVA e elastômeros), com resistência apenas à mudanças físicas, modificando-se por ação do calor ou da evaporação de solventes.

Escolher o tipo certo de adesivo e as quantidades aplicadas é de fundamental importância no processo de produção de painéis, assim como a correta aplicação do adesivo, em termos de quantidade aplicada e distribuição uniforme sobre e entre as partículas (WILSON; KRAHMER¹, 1976 citado por MELO, 2009).

Os adesivos sintéticos são os mais utilizados na produção de painéis aglomerados, dentre eles se destacam a ureia formaldeído e fenol formaldeído. O primeiro é o preferido pelas indústrias em função do baixo custo e o menor tempo de reação na prensagem a quente, possuir linha de cola clara e fácil trabalhabilidade (MALONEY, 1977; ALBUQUERQUE et al., 2005), dureza, não inflamável e solúvel em água (PIZZI, 1994b).

As desvantagens da ureia são, baixa resistência à umidade e a liberação do formaldeído, que pode acarretar problemas de saúde. A adição de fenol, melamina

¹ WILSON, J. B.; KRAHMER, R. L. Particleboard: microscopic observations of resin distribution and board fracture. **Forest Products Journal**, Madison, v. 26, n. 11, p. 42-45, 1976.

ou tanino, são alternativas para melhorar a estabilidade dimensional; e a liberação de formaldeído pode ser controlada diminuindo a proporção deste em relação à quantidade de ureia utilizada (MALONEY, 1977; PIZZI, 1994b).

A ureia possui dois grupos amônia, estes grupos formam pontes metilênicas com os hidrogênios reativos do formaldeído, que permitem a condensação ácida das metilolureias solubilizando primeiramente e em seguida polimerizando o adesivo (PIZZI, 1994b). Este adesivo é também conhecido como aminoresina, por reagir com os grupos amina ou amida com aldeídos, geralmente o formaldeído. Segundo Roffael e Schneider² (1983), citado por MELO, (2009), 90% dos painéis aglomerados produzidos no mundo usam este tipo de adesivo, que possui coloração branca leitosa; teor de sólidos entre 64 a 66%; pH na faixa de 7,4 a 9,0; viscosidade de 300 a 1.000cp; temperatura de cura na entre de 95 a 115°C; (ALBUQUERQUE et al., 2005).

Segundo Albuquerque et al. (2005), a resina fenol formaldeído apresenta como característica a alta resistência à umidade, com classificação de uso externo. Os mesmos autores citaram que as resinas fenólicas são obtidas por meio de reação químicas de vários fenóis com formaldeído, por meio de dois métodos descritos a seguir:

a) O primeiro método consiste na reação de fenol, geralmente produzido por síntese de benzeno, com fartura de formaldeído e na presença de um catalizador ácido, razão molar de formaldeído:fenol na faixa de 1,8:1 a 2,2:1, referenciada como “resol”.

b) Segundo método é utilizada a reação do fenol em excesso com formaldeído, na presença de um catalizador ácido, com razão molar de 0,8:1 a 1:1, tendo referência como “novolac”. O produto deve ser moído para se obter um pó fino e adiciona-se 15% de hexamilenetetramina. Quando é prensado, ocorre liquefação formando amônia, atuando como catalizador na reação do formaldeído, gerando uma resina termoestável.

O adesivo fenol formaldeído possui coloração marrom avermelhada; teor de sólidos entre 48 a 51%; pH na faixa de 11 a 13; viscosidade entre 300 a 600cp; temperatura de cura na faixa de 130 a 150°C; e vida útil em armazenamento de 4 a 5 meses à temperatura de 20°C (ALBUQUERQUE et al., 2005). Porém tem um

² ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, A. Untersuchun über den Einflub von Kochsalz als Bindemittelzusatz auf Eigenschaften von Spanolatten. **Holz-Zentralblatt**, v. 109, n. 103, p. 1414-1415, 1983.

custo relativamente alto, sendo em torno de 2,5 vezes maior que o da resina ureia formaldeído, em função da sua resistência a umidade. No mercado, a resina fenol ureia formaldeído é uma alternativa mais barata e resistente à umidade (Kollmann et al., 1975).

De acordo com Pizzi (1994a), o fenol formaldeído é um adesivo normalmente líquido que necessita de temperaturas iguais ou superiores a 140°C para cura. Pode ser fornecido também em pó e em forma de película, que elimina as operações de mistura e espalhamento.

2.3 OS TANINOS E SUA IMPORTÂNCIA PARA INDÚSTRIA

Os taninos são substâncias naturais produzidas pelas plantas, com função de proteção contra ataques de agentes bióticos como insetos, microrganismos e outros herbívoros (PAES et al., 2010). Estes mesmos autores afirmaram que os taninos estão distribuídos em diversas partes dos vegetais como folhas, frutos, ramos e troncos em diferentes épocas conforme sua fisiologia, variando a quantidade de acordo com o gênero e espécie, conferindo assim maior ou menor resistência ao ataque de patógenos ou pragas. Os taninos podem ser utilizados como substitutos do fenol ou outros compostos sintéticos para produzir adesivos (PIZZI, 1980).

Os componentes químicos não fenólicos presentes nos extratos tânicos como açúcares, aminoácidos, gomas e pectinas interferem na qualidade de colagem dos taninos (WEISSMANN, 1985). Os produtos químicos utilizados para extração também é um fator que interfere nesta qualidade (GONÇALVES, 2000).

O tanino reage de forma satisfatória com o formaldeído, sendo assim empregado como adesivo, uma vez que surgem policondensados de alta massa molecular. Os adesivos a base de tanino formaldeído (TF) podem ser empregados na fabricação de painéis de madeira aglomerada com boas propriedades tecnológicas, conferindo uma boa resistência à umidade, com isto, o painel produzido com este adesivo pode ser utilizado em áreas externas sujeitas a variação de umidade (ROFFAEL; DIX³, 1994 citado por VIEIRA et al., 2011).

Vários autores citam a utilização de taninos na forma de solução ou em mistura com adesivos sintéticos. Uma das restrições de se usar o tanino como

³ ROFFAEL, E.; DIX, B. Tannine als Bindemittel für Holzwerkstoffe. **Holz-Zentralblatt**, v. 120, n. 6, p. 90-93, 1994.

adesivo está na alta viscosidade, o que implica em uma solução limitada de 45% para uso por sistema de atomização (MORI et al., 1999; TOSTES et al., 2004; SOUZA, 2006).

Adicionar taninos a adesivos sintéticos não é simples, pois o alta massa molecular dos taninos confere altos valores de viscosidade, inviabilizando a aplicação do adesivo em algumas situações. Os taninos condensados reativos formam agregados moleculares por meio de pontes de hidrogênio, contribuindo para o aumento da viscosidade (PIZZI; MITTAL, 1994). De maneira geral, o que se encontra na literatura é uma adição de até 10% de taninos em adesivos sintéticos, sem alterar negativamente as propriedades da colagem (FERREIRA et al., 2009; SILVA et al., 2012).

Outras fontes de taninos como, *Mimosa caesalpiniaefolia* (GONÇALVES et al., 2003), *Eucalyptus* spp. (VITAL et al., 2004), *Acacia mearnsii* (GONÇALVES; LELIS, 2009), *Anadenanthera peregrina* (CARNEIRO et al., 2009), *Anadenanthera colubrina* (PAES et al., 2010; PAES et al., 2013), *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa arenosa* (PAES et al., 2006), *Pinus oocarpa* (FERREIRA et al., 2009; VIEIRA et al., 2011; VIEIRA et al., 2014) e *Acacia mangium* (HONG et al., 2009). Destacando as duas últimas espécies com potencial para as indústrias, podendo exaltar no quesito ambiental, pois sua obtenção é sustentável.

2.4 PAINÉIS AGLOMERADOS

Painel aglomerado é um termo técnico para painéis produzidos com partículas de materiais lignocelulósicos (geralmente madeira), unidos com adesivo sintético (IWAKIRI et al. 2005), na presença de calor e pressão em prensa quente (MALONEY, 1996). Pizzi (1994b) cita que painéis de partículas são produtos fabricados com madeira triturada (com medidas padronizadas) pura ou com adição de outros materiais lignocelulósicos, unidos por adesivos sintéticos ou naturais, na presença de calor, pressão e temperatura.

Os painéis de madeira aglomerada foram patenteados em 1901, a primeira produção industrial ocorreu na Alemanha em 1941 em função da escassez de madeira sólida na Segunda Guerra (POLETO et al. 2003). Os mesmos autores citam que o primeiro registro de produção de painéis de partículas utilizando resíduos de serragem foi em 1943 com duas pequenas empresas. Na Alemanha em 1944, com a

evolução tecnológica, as primeiras máquinas foram desenvolvidas para a indústria de painéis de partículas. A produção continuou abrangendo outros países da Europa, Estados Unidos, América do Sul, incluindo o Brasil, que em 1966 teve a primeira fábrica de painéis aglomerados em Curitiba, Paraná.

A temperatura de produção dos painéis aglomerados varia de 130 a 160°C e pressão de 14 a 35 kgf cm⁻², com teor de umidade final entre 5 e 12% (WATAI, 1987). Bernardo (1988) afirmou que os painéis aglomerados podem ser produzidos com densidade entre 250 a 1.200 kg m⁻³, sendo a densidade média a mais usual, entre 400 a 800 kg m⁻³.

A razão de compactação ideal para produção de um painel aglomerado está na faixa de 1,3 a 1,6 (KOLLMANN et al., 1975; MALONEY, 1977), por isto, espécies de baixa massa específica são mais recomendadas (DIAS et al., 2005). A razão de compactação é a relação entre a massa específica do painel e da madeira utilizada; esta razão define o grau de densificação do painel e interfere nas propriedades físicas, mecânicas e biológicas dos mesmos (IWAKIRI et al. 2005; KOLLMANN et al., 1975).

Segundo Vital (1979), vários fatores afetam as propriedades dos painéis aglomerados dentre eles se destacam a geometria das partículas; espécies utilizadas na produção; densidade da madeira; tempo de prensagem e quantidade e qualidade do adesivo. A geometria ou granulometria das partículas está diretamente ligada com a área de contato entre as partículas e o consumo de adesivo (MALONEY, 1977). Variando as dimensões destas partículas cria-se a possibilidade de produzir diferentes tipos de painéis com propriedades adequadas para cada aplicação (IWAKIRI et al., 2005).

A propriedade de ligação interna consiste na adesão entre as partículas de madeira formadas pelo painel aglomerado. De acordo com Peixoto e Brito (2000), partículas de menor granulometria resultam em painéis de madeira aglomeradas com menor ligação interna, ao passo que com partículas maiores originam painéis mais resistentes à flexão estática. Os mesmos autores descrevem que a razão entre o comprimento e a espessura das partículas (coeficiente de esbeltez) ideal deve está na faixa de 200. Ainda citando os mesmos autores, em estudo com duas granulometrias de partículas de *Pinus taeda*, concluíram que com a alterada da granulometria, é necessário a verificação de outras variáveis do processo, em especial a proporção de adesivos.

A espécie florestal utilizada na produção de painéis é uma das mais importantes variáveis do processo. Ela está diretamente ligada a todas às outras variáveis no processo de produção, e determina o quanto o painel reduz em massa específica (MENDES et al., 2002). Esta também influencia sobre o tempo de prensagem. As partículas que são comprimidas carregam as características anatômicas da espécie, e isto influencia na resistência à compactação nas condições de pressão e temperatura (MATOS, 1988).

Hillig et al. (2002) afirmaram que a densidade da madeira interfere diretamente na densidade do painel e na taxa de compressão. Assim como a densidade da madeira, a densidade do painel tem grande influência nas propriedades mecânicas. Os mesmos autores explicaram que um aumento da densidade do painel, em geral, resulta no aumento da resistência à flexão e à tração.

Painéis produzidos com espécies de baixa densidade apresentam maior resistência à flexão e ligação interna, porém outras propriedades são afetadas como resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura (ALBERTO, 1992). Isto é explicado, pois para uma determinada massa de partículas de uma espécie de baixa densidade, a mesma ocupa um volume maior em vista de uma mesma massa de partículas de uma espécie de maior densidade. Na hora da prensagem, os colchões com partículas de menor densidade ficam em contato relativamente maior, em função da maior taxa de compressão, resultando em melhor adesão entre as partículas. Ao passo, para painéis produzidos com partículas de alta densidade, o fator que comanda a resistência do painel é a quantidade de adesivo. Assim, para se atingir determinado valor de resistência com madeira de maior densidade, deve-se aumentar a densidade do painel (ALBERTO, 1992).

De acordo com Maloney (1977), espécies de baixa densidade (300 a 500 kg m⁻³) são preferidas para a produção de painéis, em função da madeira pouco densa permitir no momento da compressão um painel de média densidade, que garante um bom contato entre as partículas, permitindo assim uma boa ligação. Com isto, espécies mais densas não podem ser usadas para produzir painel de média densidade, pois não atingem boa ligação, porém podem ser utilizadas para produzir painéis de densidade mais elevada.

O tempo de prensagem é denominado entre o intervalo de tempo no momento que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até o momento

em que a prensa é aberta (MATO, 1988). O mesmo autor afirmou que este termo é usado para definir as condições nas quais as partículas são prensadas e consolidadas, sendo elas a temperatura, pressão e tempo de prensagem. Nesta fase do processo ocorre a consolidação do material, em que são definidas as propriedades finais do produto. No aspecto econômico, esta fase ganha importância em função do consumo de energia.

Segundo Iwakiri (1989), a eficiência da transferência de calor, a espessura do painel, a temperatura de prensagem e a distribuição da umidade no colchão de partículas são fatores que interferem no tempo de prensagem. Cloutier (1998) relatou que as indústrias do Canadá utilizam temperatura de prensagem de 200 a 220°C e tempo de prensagem de 3 a 6 minutos, dependente da espessura do painel.

Com o incremento do tempo de prensagem as propriedades de ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura (HSE, 1974), o inchamento em espessura (MATOS, 1988) também são aumentadas.

O pH e os extrativos presentes na madeira podem interferir na cura do adesivo e assim na qualidade dos painéis produzidos (MARRA, 1992). Cada espécie de madeira possui sua característica em relação de acidez, que pode interferir negativamente na cura do adesivo ureia formaldeído, que ocorre em meio ácido. Com isto, uma espécie com alta acidez pode gerar uma pré-cura do adesivo, afetando as propriedades do painel (MALONEY, 1977; IWAKIRI et al., 2005). De maneira oposta, na colagem com adesivo fenol formaldeído, o pH baixo da madeira pode retardar a cura do mesmo (KELLY, 1977). Seguindo este raciocínio, temos a capacidade tampão da madeira, que é a capacidade que a mesma resiste a variação de pH do meio (ALMEIDA, 2009).

Segundo Mendes (2001), a maior quantidade de adesivo favorece uma melhor adesão, uma vez que a disponibilidade de adesivo por área superficial das partículas aumenta, conseqüentemente aumenta a ligação interna, e assim maiores valores médios de módulo de elasticidade (MOE).

2.5 RESISTÊNCIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS A ORGANISMOS XILÓFAGOS

A degradação biológica, de acordo com Rocha (2001), é causada por organismos xilófagos, em que os mais importantes são os fungos e os insetos

(isópteras e coleópteras), os quais são responsáveis por grande parte dos danos causados à madeira e seus materiais reconstituídos.

Mendes e Alves (1988) mencionaram que o fator mais importante na deterioração por fungos é o teor de umidade da madeira, acima de 20% considerado ótimo para seu desenvolvimento entre 40 e 75%. Afirmaram ainda a existência de outros fatores que influenciam no desenvolvimento dos fungos na madeira (temperatura entre 25 e 30°C; teor de oxigênio, que pode ser determinante e o pH do meio estar entre de 3 e 6).

Segundo Kaneko (2004), os fungos apodrecedores se dividem podridão parda e de podridão branca. Esta nomenclatura está relacionada como fica a madeira ataca pelos mesmos. Na podridão parda, à exemplo do fungo *Postia placenta*, a degradação ocorre principalmente nos carboidratos (celulose e hemiceluloses), consumindo em pouca quantidade a lignina. Assim a madeira adquire uma cor amarronzada e escura, apresentando rachaduras longitudinais e transversais (semelhantes a carvão), aumenta a contração, o colapso ou pode ser facilmente desagregada e reduzida a pó.

Já os fungos de podridão branca consomem tanto celulose e hemiceluloses quanto a lignina, porém a lignina é consumida de forma mais rápida e intensa. Com isto, a madeira adquire uma descoloração e torna-se mais clara que o normal, sem rachaduras, mesmo em ataque intenso, mantém as dimensões externas, não contrai e nem sofre colapso, apresentando textura esponjosa (CLAUSEN, 2010).

Estes fungos que degradam a lignina são denominados de ligninolíticos, à exemplo do fungo *Trametes versicolor*, o mais comum, e que deixa a superfície da madeira com a aspecto esbranquiçado e quebradiça em função da presença de polissacarídeos nela presentes (MENDES; ALVES, 1988; MARTÍNEZ et al., 2005).

Gonçalves et al. (2014) avaliaram a degradação de painéis encolados com ureia formaldeído e tanino pelo fungo *Trametes versicolor*, em diferentes tratamentos (razão de compactação e proporção de tanino em pó adicionado às partículas com ureia formaldeído) e afirmaram que os painéis demonstraram resistência ao ataque do mesmo. Segundo os autores, de modo geral, foi observado uma tendência de melhoria da resistência dos painéis com o aumento da razão de compactação, porém sem nenhuma relação com o aumento da proporção de taninos a resina ureia formaldeído.

A espécie *Cryptotermes brevis* (Kalotermitidae), cupim de madeira seca, é encontrada em ambiente doméstico (BANDEIRA et al., 1998). Segundo Edward e Mill (1986), no Brasil esta espécie foi encontrada inicialmente nas regiões Sudeste e Norte. Ataca preferencialmente móveis, podendo estender para componentes de madeira estrutural, como o madeiramento de telhados e guarnições. Sua principal característica é viver em madeiras com baixa umidade, por volta de 12% (LEPAGE, 1986). O ninho é construído em galerias escavadas na madeira, suas fezes são secas e peletizadas, apresentando a cor da madeira da qual se alimentam (OLIVEIRA et al., 1986), e de uma forma geral possuem poucos indivíduos na colônia.

Lelis (2000) mencionou que os cupins são caracterizados como insetos sociais possuindo, de acordo com Gonçalves e Oliveira (2006), o hábito de se alimentarem preferencialmente de celulose, atacando por esta razão papéis, livros, estruturas de madeira, compensados e aglomerados.

Ribeiro et al. (2014) avaliaram a resistência de painéis aglomerados confeccionados com madeira de pinus e cedro australiano (*Toona ciliata*) ao ataque do cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em condições de laboratório. De acordo com os autores, painéis produzidos com madeira de *Toona ciliata* apresentaram maior resistência em relação àquele produzido com madeira de *Pinus* sp., e que a substituição de 50% da madeira de pinus pela madeira de cedro na composição de painéis aglomerados resultou em desgaste similar aos painéis produzidos com 100% de *Toona ciliata*, indicando haver substâncias nocivas presentes nos extrativos dessa madeira, principalmente limonóides.

Ribeiro et al. (2014) ao avaliarem a resistência de painéis aglomerados comerciais de *Eucalyptus* sp. (100%), *Eucalyptus* sp. (50%) + *Pinus* sp. (50%) e aglomerado de bagaço de cana produzidos na China, encontraram resultado satisfatório no painel aglomerado de bagaço de cana-de-açúcar, dos três materiais este foi o menos atacado com média de 0,19% de deterioração, contra 1,97% de *Eucalyptus* + *Pinus* e 2,78% para *Eucalyptus* puro. Este fato pode ser explicado pela constituição química do bagaço de cana-de-açúcar possuir componentes minerais como a sílica a qual desgasta as mandíbulas dos insetos (PAULA et al., 2009; BELINI et al., 2012).

2.6 TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Uma das técnicas utilizadas para avaliação não destrutiva em painéis reconstituídos de madeira é a densitometria de raio X, pois permite uma avaliação da qualidade dos painéis (BELINI et al., 2009), apresentando resultados precisos uma vez que as leituras são realizadas a intervalos micrométricos. Esta técnica também é muito utilizada em madeira de folhosas para a caracterização de anéis de crescimento (TOMAZELLO FILHO et al., 2008; CASTRO, 2011; SILVA, 2014;) e coníferas (CASTRO, 2011).

É comum aplicar a densitometria de raios X para análise de madeira juvenil e adulta e da massa específica da madeira ao longo da variação anatômica (BELINI, et al., 2011). Porém esta técnica também é aplicada em painéis, como por exemplo, painéis de média densidade e estruturais (WANG et al., 2006; WANG et al., 2007; BELINI et al., 2009; TOMAZELLO FILHO et al., 2010). A técnica permite ainda avaliar danos em madeira atacada por fungos (TOMAZELLO FILHO et al., 2008) e presença de sílica em painéis à base de bagaço de cana-de-açúcar e partículas de madeira de eucalipto (BELINI et al., 2012).

Gonçalves (2012) ao utilizar a técnica de densitometria de raio X nos painéis aglomerados de partículas de madeira de *Acacia mangium* com quatro diferentes razões de compactação (1,39; 1,55; 1,73 e 2,00) e quatro porcentagens de substituição de tanino em pó (0; 10; 20 e 30%) ao adesivo ureia formaldeído, encontrou resultado dos perfis de densidade aparente que indicou as faces superior e inferior apresentando densidade mais elevada em relação a região interna do painel. Este modelo de perfil de densidade está relacionado com a dimensão das partículas de madeira de *Acacia mangium* e com a maior quantidade de tanino em pó aplicada, após o encolamento com ureia formaldeído, resultando em um perfil de densidade aparente de baixa homogeneidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E ORIGEM DO TANINO E DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA

Os experimentos foram desenvolvidos nos Laboratórios de Painéis de Madeira, Química da Madeira e Biodeterioração e Proteção da Madeira, instalados no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no município de Jerônimo Monteiro, Espírito Santo.

Para a produção dos painéis aglomerados, foi utilizado tanino comercial fornecido pela empresa Seta localizada na cidade de Estância Velha, RS, produtora e exportadora do produto, sendo este extraído de cascas de *Acacia mearnsii* de Willd, e os adesivos ureia formaldeído e o fenol formaldeído fornecido pela empresa Momentive Química do Brasil Ltda. localizada na cidade de Curitiba, PR.

O resíduo lignocelulósico proveniente de destopadeira foi obtido na serraria Santa Rita, localizada em Dores do Rio Preto, região do Caparaó, sul do estado do Espírito Santo, sendo totalmente de madeira de *Eucalyptus* spp. Estes resíduos eram uma mistura de serragem com casca.

Durante a obtenção do resíduo lignocelulósico, também foram coletadas amostras de madeira para determinação das propriedades físicas e químicas. Da mesma forma, procedeu-se a caracterização química e de cinzas para a casca.

3.1.1 Preparo dos resíduos (partículas)

O resíduo lignocelulósico foi disposto no Laboratório de Painéis para uma secagem prévia, pois este se encontrava com umidade acima de 30%. Sendo misturado constantemente para não ocorrer ataque por fungos, esta etapa durou 45 dias.

Após, o resíduo lignocelulósico atingir umidade aproximada de 15%, foram classificadas por meio de peneira vibratória, sendo utilizado aquele que transpassou a malha de 4,0 mm e ficaram retidas na malha de 2,0 mm. O resíduo não passou por qualquer tipo de fragmentação, e foi seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingir a

umidade pré-estabelecida de 5%. Depois, foi armazenado em sacos plásticos hermeticamente fechados para não absorver umidade do ambiente (Figura 1).

Figura 1 – Preparo do resíduo lignocelulósico. A = Secagem ao ar; B = Secagem em estufa; C = Peneirador; D = Casca; E = Resíduo lignocelulósico retido na malha de 2 mm; F= Armazenagem do resíduo lignocelulósico pronto para produção dos painéis aglomerados.



3.1.2 Caracterização química e física dos resíduos de madeira

Os resíduos (casca, partículas mais casca e madeira) foram analisados quanto ao pH e a capacidade tampão, extrativos e cinzas, valores estes importantes para a produção de painéis à base de madeira. Todas as análises químicas foram provenientes de uma amostra composta, sendo realizadas três duplicatas, obtidas ainda durante a secagem ao ar.

Solubilizaram-se cinco gramas de resíduo (base seca), em 150 mL de água destilada, sob refluxo (100°C), por 20 minutos e à temperatura ambiente (23°C), por 24 horas. Após esta etapa, foram transferidos 50 mL para um Becker de 100 mL para obtenção do pH. Posteriormente, os extratos foram titulados com solução de

NaOH (0,001N) até atingir o pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol L^{-1} , posteriormente transformados em mmol NaOH 5g^{-1} , procedimentos adotados por Gonçalves (2012).

Para a determinação do teor de extrativos nos resíduos, estes foram trituradas em moinho tipo Willey, e a serragem obtida foi peneirada, sendo utilizada aquela que ficou retida na malha de 60 “mesh”. Os extrativos foram determinados conforme a norma “Technical Association of the Pulp and Paper Industry” – TAPPI T 204 om-88 (1996), mediante utilização de dois gramas de amostras do material em um extrator soxhlet com tolueno: etanol (2:1) por 2 horas.

As análises de cinzas nos resíduos foram realizadas conforme o método M-11 da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP, 1977) pela utilização cinco gramas de resíduo e temperatura de 500°C em mufla elétrica.

Para a determinação da densidade básica da madeira foram coletados discos aleatórios, e retirou-se uma cunha de cada disco (13 amostras no total) e empregou-se o método de imersão em água, conforme descrito por Vital (1984).

3.1.3 Caracterização química dos adesivos

Foram determinadas nos adesivos comerciais puros (ureia e fenol formaldeído) e nas combinações destes com 10 e 20% de tanino diluído (solução tânica a 50% – tanino: água destilada) o teor de sólidos, pH e viscosidade, com cinco repetições.

Os adesivos puros receberam o tanino nas devidas proporções (10 e 20%), com homogeneização completa até o ponto em que não se observou a presença de pequenos grumos ou pó no recipiente, conforme resultados descritos por Gonçalves, Lelis e Oliveira (2008).

A obtenção do teor de sólidos (%) nos adesivos foi realizada com base na relação entre a massa seca (g) e massa úmida (g), após homogeneização, sendo utilizadas amostras de aproximadamente dois gramas de adesivo, levadas à estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por um período de 12 horas. A viscosidade para todos os adesivos produzidos foi obtida utilizando-se um viscosímetro digital, com o resultado em milipascal segundo (mPas) (equivalente a centipoises cP).

O valor do pH dos adesivos foi medido em pHmetro digital, a temperatura ambiente (25°C), calibrado a pH 4 e 7, utilizaram-se soluções tampões

padronizadas, registrando o valor após um tempo aproximado de quatro minutos de contato do eletrodo com a solução.

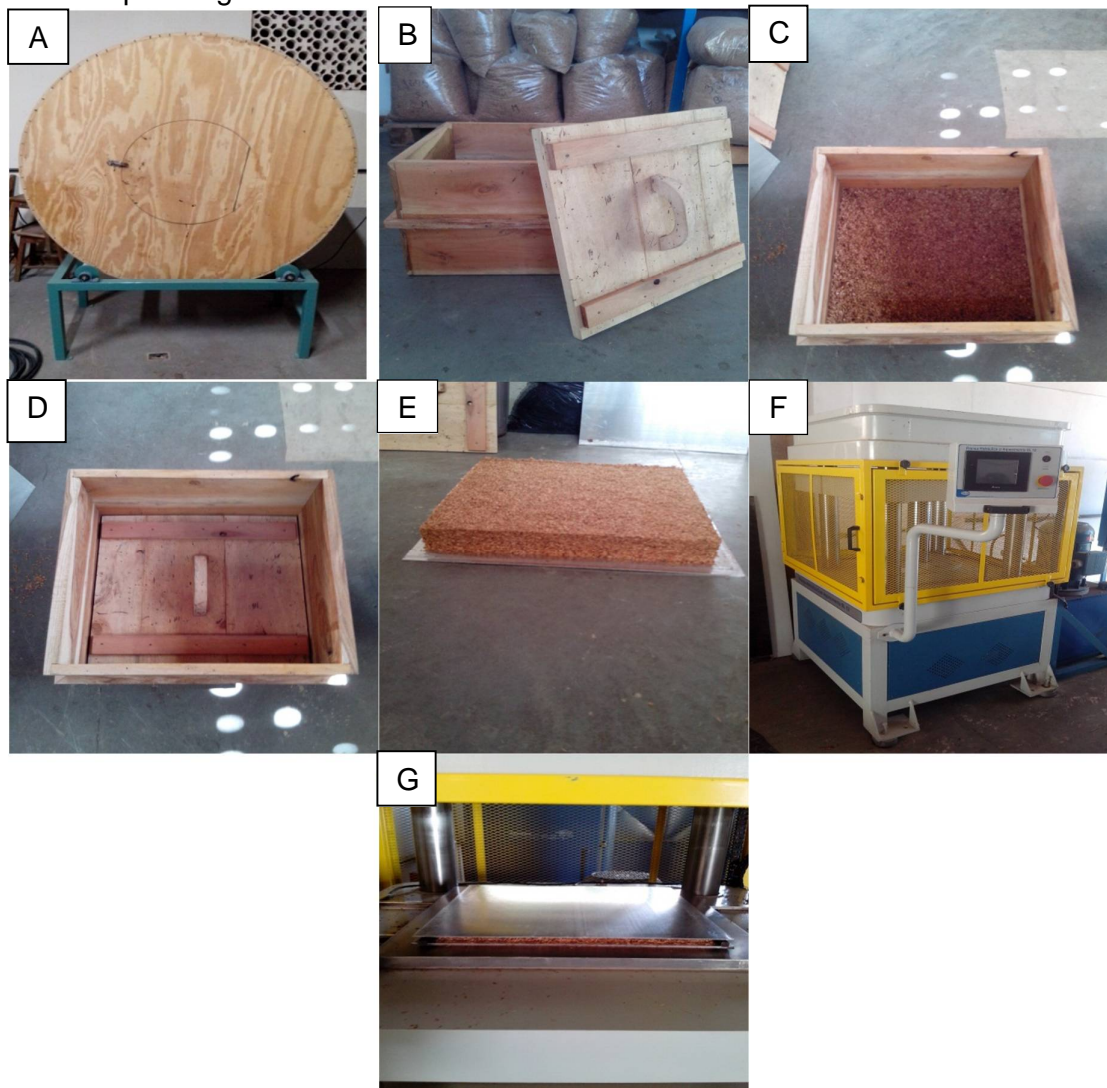
3.2 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A massa de partículas necessária para produção de um painel foi disposta no interior de um tambor giratório, e o adesivo foi aplicado por meio de uma pistola pneumática acoplada ao mesmo. As partículas ficaram girando no tambor para haver completa homogeneização por aproximadamente cinco minutos. As partículas encoladas foram dispostas em uma caixa formadora de madeira, sem fundo com dimensões de 42,5 x 42,5 x 30 cm e pré-prensadas, formando-se um colchão. Antes da prensagem o colchão de partículas foi disposto entre duas chapas metálicas, com dois espaçadores de 1,25 cm de espessura dispostos entre as duas chapas de alumínio (Figura 2).

A prensagem foi realizada em uma prensa de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico em ambos os pratos e controle digital do processo, seguindo os seguintes parâmetros do processo:

- Dimensão dos painéis: 42,5 x 42,5 x 1,25 cm;
- Densidade nominal do painel: 700 Kg m⁻³;
- Razão de compactação: 1,25;
- Umidade das partículas: 5%;
- Tempo de prensagem: 8 minutos;
- Tempo de fechamento da prensa: 30 segundos;
- Temperatura da prensa: 120°C e 140°C;
- Pressão: 40 kgf cm⁻²;
- Adesivos: ureia formaldeído, fenol formaldeído e tanino formaldeído;
- Conteúdo de adesivo: 10% sobre a massa de partículas (base seca);
- Catalisador: sulfato de amônio a 24% em proporção de 2% sobre o teor de sólidos para a ureia formaldeído, carbonato de potássio a 60% em proporção de 6% sobre o teor de sólidos para o fenol formaldeído, e formaldeído a 37% em proporção de 20% sobre o teor de sólidos para o tanino.

Figura 2 – Etapas de produção dos painéis. A = Encoladeira; B = Caixa formadora de madeira; C = Caixa formadora de madeira com as partículas encoladas; D = Pré-prensagem; E = Colchão; F = Prensa; G = Pannel após prensagem.

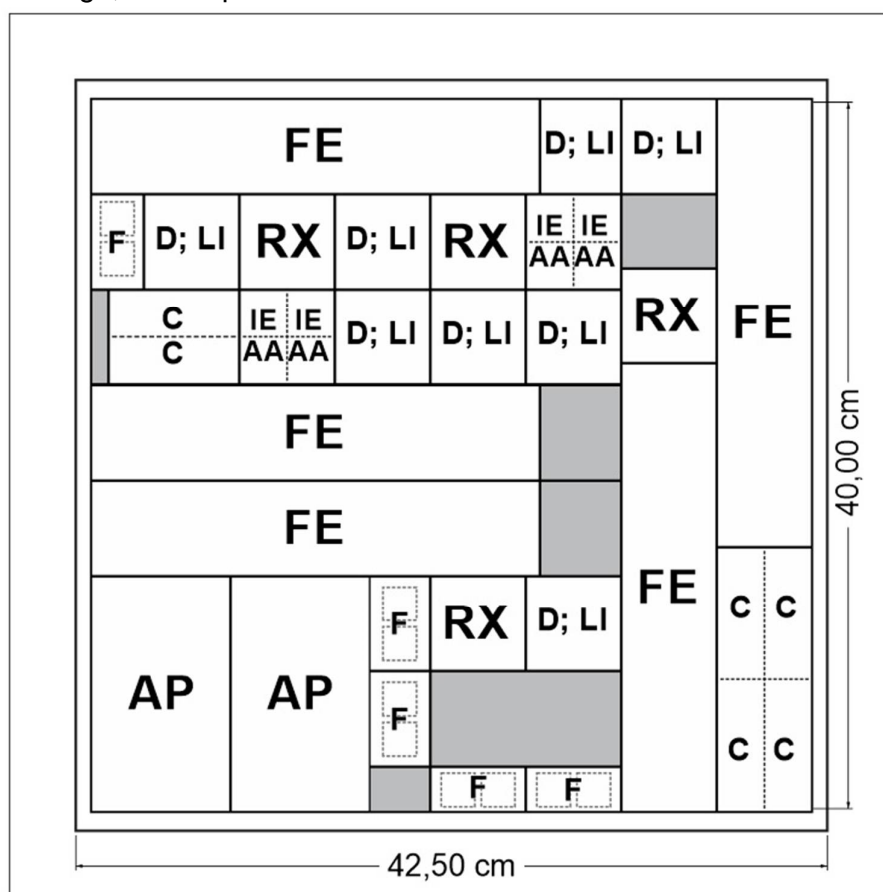


Depois de prensados e resfriados, os painéis foram esquadrejados, obtendo a dimensão final de 40 x 40 cm, e armazenados em sala climatizadora com umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ até alcançar massa constante, conforme a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 14810-3 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2006). Após o acondicionamento, foram produzidos corpos de prova segundo a mesma norma para os ensaios físicos e mecânicos.

3.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E DE RESISTÊNCIA AO ATAQUE DE AGENTES DEGRADADORES

Na Figura 3 encontra-se o esquema de amostragem dos corpos de prova dos ensaios físicos, mecânicos e de biodeterioração por fungos apodrecedores e cupim de madeira seca.

Figura 3 – Disposição dos corpos de prova no painel: **FE** - Flexão Estática (Módulo de Ruptura – MOR e Módulo de Elasticidade – MOE); **AP** – Arrancamento de Parafuso; **D; LI; RX** – Densidade, Ligação Interna e Densitometria de Raio X; **AA, IE** – Absorção de Água e Inchamento em Espessura; **F** – Fungo; **C** – Cupim de madeira seca.



Os ensaios físicos e mecânicos propostos no presente trabalho foram realizados de acordo com a NBR 14810-3 (ABNT, 2006). Na Tabela 1 estão apresentados as dimensões dos corpos de prova e a repetição para cada ensaio realizado.

Tabela 1. Ensaio realizados, dimensão das amostras e número de repetições por adesivo estudado.

Ensaio	Dimensão das amostras (mm)	Número de corpos de provas para cada adesivo
Flexão Estática (MOR e MOE)	250 x 50	15
Arrancamento de Parafuso na Superfície e Topo	150 x 75	06
Ligação Interna	50 x 50	24
Densidade aparente	50 x 50	24
Absorção de Água e Inchamento em Espessura	25 x 25	24
Densitometria de Raio X	50 x 50	12
Deterioração por Fungo	19 x 19	16
Deterioração por Cupim de madeira seca	23 x 70	10

Os ensaios mecânicos (Flexão Estática – MOR e MOE; Arrancamento de Parafuso na Superfície e no Topo; Ligação Interna) foram realizados em uma máquina universal com sistema de aquisição de dados automatizados. Para o ensaio de resistência à flexão estática e à rigidez, a velocidade de avanço da máquina foi de 7 mm minuto⁻¹ uma vez que a espessura dos painéis utilizado estava entre 12 e 18 mm.

No ensaio de arrancamento de parafuso, os corpos de prova foram perfurados com uma broca de 2,8 mm, a uma profundidade de 17 mm, em um ponto central da superfície e do topo do mesmo. Com uma guia, o parafuso foi introduzido no centro do corpo de prova. Na execução do ensaio, acionou-se o sistema de tração com velocidade de 15 mm minuto⁻¹. Os resultados foram expressos em newtons, com exatidão de 0,1 N.

No ensaio de ligação interna, os corpos de prova foram colados entre duas peças de madeira, com a utilização de um grampo de fixação por um tempo de 6 horas. Após a colagem, o conjunto formado pelo bloco de tração, foi acondicionado em sala de climatização para a cura total do adesivo, por sete dias. Após este

período, acoplou-se o conjunto formado, no dispositivo específico máquina universal de ensaio, e regulada com uma velocidade de avanço de 4 mm minuto⁻¹.

Para a determinação da densidade aparente, utilizou-se um paquímetro digital (precisão de 0,1 mm) e foram medidos o comprimento e a largura e com micrômetro a espessura em cinco posições, obtendo o volume do corpo de prova. Posteriormente foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 grama, obtendo-se a massa. O valor da densidade aparente foi encontrado pela relação entre massa e o volume (kg m⁻³).

Para o inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA), com auxílio de um micrômetro digital (precisão de 0,001 mm) mediu-se a espessura no centro do corpo de prova, e sua massa determinada em balança analítica, com precisão de 0,01 grama.

A medição da espessura e massa foi feita após duas horas ± três minutos e 24 horas ± três minutos de imersão em água destilada, retirado o corpo de prova do recipiente, removendo o excesso de água com papel absorvente.

Para o ensaio de resistência à biodeterioração por fungos xilófagos, foram utilizados os fungos de podridão parda *Postia placenta* e de podridão branca *Trametes versicolor* com base nas “American Society for Testing and Materials” – ASTM D-1413 (2005) e D-2017 (2005).

No total foram utilizados 224 corpos de prova, 112 por fungo. Os mesmos foram previamente secos em estufa (103 ± 2°C), até atingirem massa constante, e pesada em balança analítica (0,001g) para a mensuração da massa anidra inicial. Este ensaio foi realizado em frasco com tampa metálica rosqueável com capacidade de 600 mL. Cada frasco foi preenchido com 300 g de solo de pH 7,7 e capacidade de retenção de água de 25,13%.

O solo foi umedecido com 63 mL de água destilada e foram adicionadas duas placas alimentadoras de madeira de *Pinus* sp. por frasco, com dimensões de 3 x 29 x 35 mm (radial x tangencial x longitudinal). Os frascos foram esterilizados em autoclave a 121 ± 2°C por 30 minutos. Após o resfriamento, as placas alimentadoras receberam um inóculo proveniente da cultura pura do respectivo fungo.

Após a colonização do fungo, os corpos de prova foram acomodados nas placas alimentadoras e mantidos em sala climatizada (28 ± 2°C e 75 ± 5 % de umidade relativa) por 12 semanas. Após este período, os corpos de prova foram removidos dos frascos e cuidadosamente foi removido o micélio do fungo com o uso

de uma escova macia. Os corpos de prova foram novamente secos em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$), até atingirem massa constante, e pesados em balança analítica (0,001g) para determinação da massa anidra final. A resistência à deterioração pelos fungos xilófagos de cada corpo de prova foi quantificada em termos de perda de massa, de acordo com a ASTM D-2017 (2005) e avaliada qualitativamente de acordo com as classes de resistência de acordo como a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de resistência da madeira degradada por fungos apodrecedores.

Classe de Resistência	Perda de Massa Média (%)
Altamente resistente	0-10
Resistente	11-24
Moderadamente resistente	25-44
Pouco resistente ou não resistente	≥ 45

Fonte: ASTM D-2017 (2005).

O ensaio de resistência à biodeterioração por cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) foi realizado de acordo com o método proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Divisão de Madeira – IPT/DIMAD D-2 (1980).

Os corpos de prova foram secos em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas e assim as massas anidras iniciais determinadas em balança analítica (0,0001 g de precisão). Os corpos de prova receberam uma manga de vidro de 35 mm de diâmetro e 80 mm de altura, fixada na superfície com parafina. Após, foram dispostos em sala climatizada a $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e $70 \pm 4\%$ de umidade relativa por 15 dias, pesados e colocados em contato com 40 cupins, sendo 38 operários e dois soldados, obtidos de móveis infestados, por um período de 45 dias.

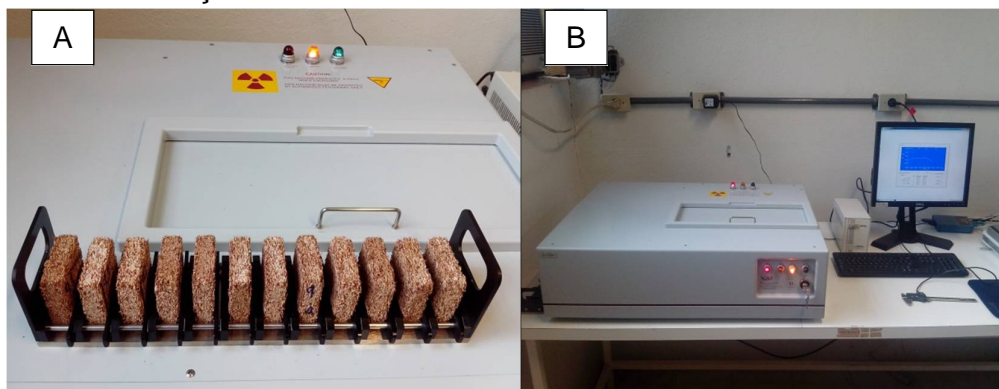
Ao final do ensaio, os corpos de prova foram avaliados quanto à mortalidade dos cupins, e perda de massa. Depois dessas avaliações os corpos de prova foram secos em estufa e as massas finais determinadas, conforme procedimento inicial. Não foram atribuídas notas em função do desgaste superficial ter ocorrido de forma quase imperceptível.

O ensaio de densitometria de raios X foi realizado no Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira, do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Os corpos de prova dos painéis aglomerados foram inseridos no

porta-amostra (capacidade para 12 amostras) e acoplados no compartimento interno blindado do equipamento microdensitômetro de raio X (Figura 4).

O equipamento de raios X foi calibrado para operação de escaneamento (varredura) contínua ao longo da espessura dos corpos de prova, pelo feixe de raios X. Este feixe incidiu sobre a amostra do painel aglomerado (comprimento de 50 mm), sendo uma parte desta radiação atenuada e atravessou o painel sendo analisada no detector de cristal, o que possibilitou a sua detecção e quantificação automaticamente pelo *software* do equipamento.

Figura 4 – Perfil de densidade de painéis aglomerados. A = Porta-amostra com os corpos de prova; B Equipamento densitômetro de raios X e monitor de visualização do ensaio.



As 12 amostras dos painéis aglomerados contidas no porta-amostra foram analisadas pelo feixe colimado de raios X e com a velocidade de varredura do *software*, resultando na leitura da densidade aparente à intervalo constante (40 μm) no sentido do comprimento do corpo de prova e ao longo da espessura do mesmo. Os valores pontuais de densidade aparente do corpo de prova foram analisados pelo *software* Quintek Measurement Systems – QMS. Os valores obtidos foram organizados em planilha do *software* Excel®, elaborando assim os perfis de densidade aparente do painel aglomerado, permitindo obter da densidade média, densidade máxima e densidade mínima (QMS, 2012).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado no esquema fatorial (7x2), sendo a temperatura em dois níveis e o adesivo em 7 níveis, procedendo-se a análise de variância para todos os ensaios, à exceção para a densitometria de raios X.

O efeito dos adesivos foi verificado pela aplicação da análise de variância e, para sua validação, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, para verificação da normalidade dos dados (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Os ensaios foram seguidos pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação das médias entre os adesivos, toda vez que a hipótese de nulidade for rejeitada. Para cada adesivo (Quadro 1) procedeu-se a produção de três painéis (três repetições).

Quadro 1 – Composição dos adesivos estudados.

Adesivos	Composição dos Adesivos
UF	100% Ureia formaldeído colados a 120°C
FF	100% Fenol formaldeído colados a 120°C
TF	100% Tanino formaldeído colados a 120°C
TUF 90:10	90% Ureia formaldeído + 10% tanino colados a 120°C
TUF 80:20	80% Ureia formaldeído + 20% tanino colados a 120°C
TFF 90:10	90% Fenol formaldeído + 10% tanino colados a 120°C
TFF 80:20	80% Fenol formaldeído + 20% tanino colados a 120°C
UF	100% Ureia formaldeído colados a 140°C
FF	100% Fenol formaldeído colados a 140°C
TF	100% Tanino formaldeído colados a 140°C
TUF 90:10	90% Ureia formaldeído + 10% tanino colados a 140°C
TUF 80:20	80% Ureia formaldeído + 20% tanino colados a 140°C
TFF 90:10	90% Fenol formaldeído + 10% tanino colados a 140°C
TFF 80:20	80% Fenol formaldeído + 20% tanino colados a 140°C

Para o ensaio de densitometria por raios X utilizou-se a análise de regressão linear para relacionar as densidades média máxima e média mínima em relação à

densidade aparente média do painel, obtidas pela técnica de densitometria. Foi utilizado o modelo $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$ em que Y_i é a densidade aparente média do painel (kg m^{-3}), β_0 é a densidade média e β_1 é a densidade média mínima, ou β_0 é a densidade média mínima e β_1 é a densidade média.

Aplicou-se a correlação linear de Pearson entre a densidade aparente média dos painéis aglomerados obtida por densitometria de raios X e a densidade aparente, com objetivo de explicar a correlação entre os dois parâmetros de avaliação para esta propriedade física dos painéis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DE MADEIRA

A densidade da madeira do estudo foi de $0,56 \text{ g cm}^{-3}$. Os valores médios de pH variaram de 4,20 (madeira) a 4,96 (casca), indicando que este resíduo possui um caráter ácido (Tabela 3). Comparando entre o método e tempo de extração, observa-se pouca diferença numericamente entre água fria e quente para as partículas com casca (0,40), madeira (0,49) e casca (0,69). Segundo Marra (1992) o pH presente na madeira pode interferir na cura do adesivo e assim na qualidade dos painéis produzidos.

Tabela 3. Valores médios de pH e capacidade tampão ácida para os materiais estudados, para método e tempo de extração.

Método e tempo de extração	Material	pH	Capacidade Tampão Ácida ($\text{mmolNaOH } 5\text{g}^{-1}$)
Água fria – 24 horas	Casca	4,96	0,0903
Água quente – 20 min		4,27	0,1819
Água fria – 24 horas	Partículas com casca	4,86	0,0340
Água quente – 20 min		4,46	0,0695
Água fria – 24 horas	Madeira	4,20	0,0422
Água quente – 20 min		4,69	0,0622

O tamponamento variou de 0,0340 (partículas com casca) a 0,0903 (casca) $\text{mmolNaOH } 5\text{g}^{-1}$. A menor variação de tamponamento foi observada para a madeira, com $0,02 \text{ mmolNaOH } 5\text{g}^{-1}$, seguido das partículas com casca e da casca com 0,0355 e $0,0916 \text{ mmolNaOH } 5\text{g}^{-1}$, respectivamente.

De acordo com Albuquerque et al. (2005), madeiras com pH mais ácidos são indicados para colagem com adesivo ureia formaldeído, uma vez que este possui caráter ácido quando comparada com o adesivo fenol formaldeído.

Neste estudo a capacidade de tamponamento e o valor do pH, variaram de acordo com a temperatura e tempo de solubilização das partículas em água. Para

este estudo, as partículas com casca e a casca, a capacidade tampão ácida foi maior quando solubilizada em água quente.

Teodoro (2008), em estudo com *Eucalyptus pellita* com idade de 14 e 15 anos para extração do tanino da casca, encontrou valor médio de pH 3,79 para a casca em extração com água, este valor foi menor ao do presente estudo. Isto pode ser explicado em vista que o material do presente trabalho ser heterogêneo, com madeiras de diferentes espécies e idades.

Gonçalves (2012), em estudo com a madeira de *Acacia mangium* para produção de painéis aglomerados, encontrou valores de pH 5,662 (água à temperatura ambiente – 24 horas) e 5,572 (água quente – 20 min), valores esses maiores ao do presente estudo. Uma explicação para isto é, são diferentes espécies, o eucalipto deste estudo foi de plantio homogêneo, condições edafoclimáticas diferentes.

Os valores médios de teor de cinzas variaram de 0,221 a 2,108% e teor de extrativos de 5,73 a 10,09% (Tabela 4). Os extrativos podem comprometer a eficiência da colagem em painéis, por isto alto teor de extrativo não é desejável, pois influenciam no pH, logo na cura do adesivo (MARRA, 1992). A migração excessiva de extrativos na superfície bloqueia o contato adesivo-madeira, assim como presença de extrativos nas camadas superficiais da madeira pode bloquear a passagem de água e retardar a evaporação, aumentando o tempo de prensagem.

Tabela 4. Valores médios de teor de cinzas e de extrativos para os materiais estudados

Resíduo	Teor de Cinzas (%)	Teor de Extrativos (%)
Casca	2,108	10,09
Partículas com casca	0,470	5,73
Madeira	0,221	7,18

Trugilho et al. (2003) obtiveram valor médio de 6,71% para teor de extrativos em serragens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, valor inferior ao da madeira (7,18%) do presente estudo, sendo apenas superior ao teor das partículas

com casca (5,73%). A diferença no teor de extrativos é provavelmente em função de idade, sítio, espaçamento e condições climáticas das espécies avaliadas.

Teodoro (2008) encontrou valor médio de teor de extrativo de 4,22%, para a casca de *Eucalyptus pellita* com idade de 14 e 15 anos, valor este bem abaixo do obtido nesta pesquisa, mesmo para a madeira com valor de 7,18%. Isto é explicado pela heterogeneidade do material em estudo, com madeiras de diferentes espécies, idades, além da influência das diferentes condições edafoclimáticas.

De acordo com Tsoumis (1991), o teor de cinzas varia entre 0,2 a 1% da massa seca das madeiras. Neste estudo tanto a madeira quanto as partículas com casca (0,221 e 0,470%, respectivamente) estão dentro do citado pelo autor. No entanto, a presença de silicatos na casca (2,108%) foi elevado, indicando que para a produção de painéis isto é um fator negativo, apesar de interferir pouco na adesão entre substrato e o adesivo, no entanto pode afetar o pH e as características de usinabilidade da madeira.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ADESIVOS

Os valores médios de pH, viscosidade e teor de sólidos dos adesivos puros (100%), ou seja os adesivos comerciais (UF, FF e TF), estão na faixa recomendada pelo fabricante (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de pH, viscosidade e teor de sólidos dos adesivos utilizados.

Adesivo	pH	Viscosidade (mPas ou cP)	Teor de sólidos (%)
Ureia formaldeído (UF)	8,26	1.200,00	70,50
Fenol formaldeído (FF)	13,77	616,20	52,89
Tanino formaldeído (TF)	3,52	580,00	46,51
TUF 90:10*	5,14	1.024,10	61,31
TUF 80:20	4,20	1.490,88	60,37
TFF 90:10	12,84	1.375,27	49,39
TFF 80:20	12,28	6.739,00	50,93

*TUF: Tanino ureia formaldeído; TFF: Tanino fenol formaldeído.

Para os adesivos combinados com tanino, observou-se que com a adição de tanino diminui o valor médio do pH e do teor de sólidos, ao contrário para a viscosidade, quanto mais tanino maior esta propriedade, exceto para TUF 90:10. Este aumento da viscosidade é explicado pelos fenóis do tanino competirem com as moléculas do formaldeído livre nos adesivos sintéticos. Com relação ao pH, Tostes et al. (2004) encontraram a mesma característica de redução a medida que se adicionava tanino da casca de *Eucalyptus pellita* no adesivo ureia formaldeído.

Lelis e Gonçalves (1998) encontraram redução da viscosidade na substituição de 10% do tanino de acácia negra (*Acacia mearnsii*) em UF. Gonçalves (2000) e Tostes et al. (2004) observaram o mesmo comportamento na substituição a 10% de tanino. Teodoro (2008) encontrou viscosidade de 216,65 cp para o tanino de acácia negra, valor menor ao do presente estudo (580 mPas), porém o autor citado utilizou diluição de 45%, enquanto para o trabalho em questão foi utilizado 50% de diluição. O mesmo autor obteve valor próximo de teor de sólidos comparando com este trabalho, 45,18% e 46,51%, respectivamente.

Teodoro (2008) ao testar a composição de tanino de acácia negra com o adesivo fenol formaldeído nas proporções de 90:10 e 80:20, obteve viscosidade de 932,39 e 1565,08 cp, respectivamente. Estes valores quando comparados com o referente estudo estão de forma contrária, pois a maior viscosidade ficou no TUF 90:10, contrariando a hipótese de quanto mais tanino maior a viscosidade. Para teor de sólidos e pH os valores encontrados pelo autor foram semelhantes a esta pesquisa.

4.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAINEL

A densidade aparente dos painéis variou de 436,99 a 602 kg m⁻³, assim os painéis foram classificados como sendo de baixa densidade (< 640 kg m⁻³), conforme a “American National Standards Institute” – ANSI A-208.1 (1999) (Tabela 6). A densidade é um parâmetro importante para os aspectos avaliativos das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, podendo a mesma influenciar significativamente sobre estas propriedades. Em nenhum dos adesivos avaliados atingiu-se a densidade nominal pretendida (700 kg m⁻³).

Tabela 6. Valores médios da densidade aparente para adesivos e temperatura testados.

Adesivo	Densidade aparente (kg m^{-3}) para cada temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	
	120	140
UF 100%	602 aA* (4,32)	466,08 bB (6,16)
FF 100%	582,89 abA (4,06)	537,75 aB (5,77)
TF 100%	598,79 aA (6,14)	538,8 aB (6,33)
TUF 90:10	568,48 bA (7,44)	535,17 aB (4,60)
TUF 80:20	586,9 aA (4,54)	473,7 bB (10,37)
TFF 90:10	480,08 bB (3,47)	561,98 aA (4,30)
TFF 80:20	436,99 cB (5,37)	468,61 bA (4,60)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

Houve diferença estatística entre as temperaturas para cada adesivo (Apêndice A, Tabela 1A), a densidade diminuiu com o aumento da temperatura, exceto para os adesivos TFF 90:10 e 80:20, pois as adições de tanino ao adesivo FF contribuíram para o aumento da densidade do painel. Na temperatura de 120°C os adesivos UF, FF, TF e TUF 80:20 não diferenciaram estatisticamente, assim como os TUF e TFF ambos 90:10, também a 120°C , somente o TFF 80:20 que não foi estatisticamente igual a nenhum adesivo nesta temperatura. Para a temperatura de 140°C , os adesivos FF, TF, TUF 90:10 e TFF 90:10 foram iguais estatisticamente, assim como UF, TUF 80:20 e TFF 80:20.

Os valores médios de inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão, variaram entre 20,63 a 36,32% e 19,25 a 38,52%, respectivamente (Tabela 7). A “Commercial Standard” – CS 236-66 (1968) estabelece para inchamento em espessura até 30% (2 e 24 horas) para painéis de baixa densidade. A análise de variância referente a inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão consta no Apêndice A, Tabela A1.

Tabela 7. Valores médios de inchamento em espessura após 2 horas (IE 2 h) e 24 horas (IE 24 h) para os adesivos e temperaturas testadas.

Adesivo	IE 2 h (%) / Temperatura (°C)		IE 24 h (%) / Temperatura (°C)	
	120	140	120	140
UF	24,60 bcA*	24,49 bA	30,17bA	26,36 abA
100%	(8,13)	(8,82)	(8,32)	(8,73)
FF	22,94 bcA	23,10 bA	26,51 bcA	24,62 abA
100%	(6,06)	(9,70)	(5,77)	(8,25)
TF	36,32 aA	27,63 bB	33,29 abA	19,25 cB
100%	(24,53)	(43,25)	(28,09)	(48,31)
TUF	26,08 abA	22,20 bA	30,41bA	24,95 abB
90:10	(4,68)	(5,77)	(5,39)	(5,29)
TUF	30,76 aA	26,57 bA	36,03 aA	28,98 aB
80:20	(15,69)	(27,10)	(14,24)	(28,26)
TFF	20,63 cA	23,71 bA	22,11dA	26,08 abA
90:10	(6,50)	(9,62)	(3,89)	(9,20)
TFF	35,56 aA	31,38 aA	38,52 aA	32,66 aA
80:20	(5,01)	(9,66)	(6,83)	(9,77)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal (para a respectiva propriedade), não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

Após duas horas de imersão apenas três adesivos a 120°C (TF, TUF 80:20 e TFF 80:20) e um a 140 °C (TFF 80:20) não atingiram o estabelecido pela norma CS 236-66 (1968). Para a imersão de 24 horas foram quatro adesivos a 120°C (UF, TF, TUF 80:20, TUF 90:10 e TFF 80:20) e um adesivo a 140°C (TFF 80:20).

Os adesivos com FF e TFF 90:10 em ambas as temperaturas, obtiveram resultados conforme a CS 236-66 (1968). O resultado menos expressivo foi o TFF 80:20 que não atingiu o exigido pela norma em nenhuma temperatura, assim como o adesivo com 100% de TF, que apenas na temperatura de 140°C após 2 e 24 horas de imersão atendeu a CS 236-66 (1968).

Observa-se na Tabela 7 que o adesivo TF 100% possui médias menores para 24 horas que para duas horas, isto ocorreu em função dos corpos de prova se desfragmentaram ao final do ensaio, tornando-se menos espessos quando comparado há duas horas.

Um fator que pode explicar o inchamento em espessura insatisfatório para alguns adesivos é a razão de compactação, que neste caso foi 1,25. Kollmann et al. (1975) citam que a faixa ideal deve estar entre 1,3 a 1,6 e esta razão define o grau

de densificação do painel. Portanto uma baixa razão de compactação resulta em um painel com mais espaços vazios e assim facilitando a penetração da água.

Gonçalves (2012) trabalhou com diferentes razões de compactação e adesivos, obteve resultados de inchamento em espessura após duas e 24 horas de imersão variando entre 9,55 a 33,14% e 24,05 a 51,48%, respectivamente. Quanto maior a razão de compactação menor o inchamento. Praticamente todos os adesivos avaliados pelo autor atingiram a CS 236-66 (1968), que é de 35% (para painéis de média densidade), a exceção está para os adesivos com adição de 30% de tanino.

Os valores médios de absorção de água após duas e 24 horas de imersão, variaram de 74,42 a 159,75% e 97,78 a 171,57%, respectivamente (Tabela 8), intervalos bem superiores ao encontrado por Teodoro (2008) e Gonçalves (2012). A análise de variância referente à absorção de água após duas e 24 horas de imersão consta no Apêndice A, Tabela A1.

Os valores menos expressivos de absorção de água (2 e 24 horas) foi para o TFF 80:20, seguido do TFF 90:10, TUF 80:20 e TUF 90:10. Portanto, à medida que se acrescentou tanino, aumentou-se a absorção de água, isto ocorreu em função da higroscopicidade do tanino.

Observa-se na Tabela 8 que o adesivo TF 100% possui médias menores para 24 horas do que para duas horas, isto ocorreu em função dos corpos de prova se desfragmentaram ao final do ensaio, portanto perdendo massa quando comparado aos submetidos durante duas horas de inchamento.

Em função da presença de casca nas partículas a absorção de água foi acentuada, uma vez que a mesma interferiu na adesão entre o substrato e o adesivo, proporcionando mais espaços vazios no interior do painel, facilitando a absorção de água.

Melo et al. (2010) ao avaliar a qualidade de painéis aglomerados constituídos por diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz, observou que o aumento do percentual de casca nos painéis proporcionou maiores valores de absorção de água. Com relação ao adesivo, o mesmo autor encontrou para a absorção de água 24 horas que os painéis que utilizaram o adesivo a base de tanino apresentaram menor absorção de água em todos os tratamentos.

Tabela 8. Valores médios de absorção de água após 2 horas (AA 2 h) e 24 horas (AA 24 h) após imersão para adesivos e temperaturas testadas.

Adesivo	AA 2 h (%) / Temperatura (°C)		AA 24 h (%) / Temperatura (°C)	
	120	140	120	140
UF 100%	74,42 dB* (5,82)	128,8 bA (5,15)	97,78 dB (4,90)	147,79 bA (4,11)
FF 100%	96,36 cA (5,98)	105,96 cA (15,74)	104,59 cdB (4,88)	117,04 cdA (7,64)
TF 100%	102,34 cA (10,75)	109,39 cA (20,47)	99,18 dA (10,36)	81,54 eB (17,35)
TUF 90:10	97,66 cA (13,48)	95,87 dA (8,75)	111,09 cdB (6,78)	120,17 cA (3,79)
TUF 80:20	103,64 cB (8,25)	143,38 aA (12,68)	119,86 cB (9,04)	157,99 abA (9,61)
TFF 90:10	121,19 bA (7,21)	91,87 dB (6,86)	138,07 bA (5,95)	108,46 dB (5,55)
TFF 80:20	159,75 aA (7,02)	149,71 aA (6,59)	171,57 aA (5,33)	160,99 aB (6,52)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal (para a respectiva propriedade), não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

4.4 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PAINEL

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) variaram de 1,28 a 7,35 MPa (Tabela 9). O adesivo que apresentou os valores menos expressivos foi o TFF 80:20, em ambas as temperaturas. De acordo com a CS 236-66 (1968), o valor mínimo exigido é 5,6 MPa, apenas três adesivos atingiram este valor que foram UF e FF a 120°C e TFF 90:10 a 140°C. Esta propriedade, no geral, foi melhor na temperatura de 120°C, apenas o adesivo TFF 90:10 obteve resultado um pouco melhor na temperatura de 140°C. A análise de variância referente ao módulo de ruptura e de elasticidade consta no Apêndice B, Tabela B1.

Gonçalves et al. (2008) ao estudarem painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* em diferentes níveis de tanino de *Acacia mearnsii* em adesivo ureia formaldeído, encontraram valores médios para MOR de 13,53 MPa (UF 100%) e 12,94 MPa (90% UF + 10% tanino). Para o presente estudo o MOR para o adesivo UF 100% foi 7,35 MPa (120°C), valor este 54,32% menor do que o encontrado pelos respectivos autores. Para o adesivo 90% UF + 10% tanino, os mesmos autores obtiveram resultado 35,09% maior do que o presente estudo (TUF 90:20 a 120°C).

Tabela 9. Valores médios de módulo de ruptura – MOR e de elasticidade – MOE para adesivos e temperaturas testados.

Adesivo	MOR (MPa) / Temperatura (°C)	
	120	140
UF 100%	7,35 aA* (20,14)	2,52 cB (21,43)
FF 100%	6,32 aA (21,99)	4,68 bB (19,44)
TF 100%	4,80 aB (16,25)	3,26 cB (29,14)
TUF 90:10	4,54 bA (26,65)	4,48 bA (15,85)
TUF 80:20	5,15 bA (25,24)	4,48 bA (15,85)
TFF 90:10	3,42 cB (16,96)	6,22 aA (18,01)
TFF 80:20	1,28 dA (18,75)	2,06 dA (26,70)

Adesivo	MOE (MPa) / Temperatura (°C)	
	120	140
UF 100%	931,71aA (19,26)	330,31 cB (20,85)
FF 100%	829,61aA (19,37)	597,71 bB (18,31)
TF 100%	770,09 bA (13,30)	463,36 bB (26,75)
TUF 90:10	597,70 cA (26,46)	584,61 bA (17,97)
TUF 80:20	661,69 cA (25,47)	584,61 bA (18,05)
TFF 90:10	453,47 dB (13,20)	779,12 aA (14,83)
TFF 80:20	186,21 eA (16,57)	262,67 cA (23,82)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal (para a respectiva propriedade), não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

Melo et al. (2010) ao avaliar a qualidade de painéis aglomerados constituídos por diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz, também encontrou valores de MOR superiores ao referente estudo.

O módulo de elasticidade (MOE) variou de 186,21 a 931,71 MPa. Mais uma vez o adesivo que apresentou valor inferior foi o TFF 80:20, em ambas temperaturas. Esta propriedade não atendeu o valor mínimo exigido pela CS 236-66 (1968), que é 1.050 MPa. O melhor valor observado neste estudo para MOE foi o

adesivo UF 100% a 120°C (931,71 MPa), mas mesmo assim ficou 11,27% abaixo do estabelecido pela norma.

Para ambas as propriedades (MOR e MOE), o adesivo UF 100% a 120°C apresentou o melhor resultado, isto pode ser explicado pelas partículas utilizadas na produção dos painéis aglomerados apresentarem de pH ácido, uma vez que a cura da ureia formaldeído ocorre em meio ácido.

Outra justificativa para esta propriedade ser abaixo da norma CS 236-66 (1968) é a presença não controlada de casca nas partículas, uma vez que o material utilizado é resíduo. Nemli et al. (2006) ao avaliarem as propriedades mecânicas de painéis aglomerados produzidos com madeira de *Alnus glutinosa* impregnadas com extrativo de casca de *Pinus brutia*, concluíram que maiores quantidades casca diminui as propriedades de MOR e MOE, e que, os painéis fabricados com 1% de casca de *Pinus brutia* atenderam os requisitos mínimos da norma CS 236-66 (1968) para MOR.

Peixoto e Brito (2000) ao avaliarem a influência da granulometria de partículas na produção de painéis aglomerados de *Pinus taeda*, observaram que os melhores resultados de módulo de ruptura e de elasticidade foram obtidos com adesivo a base de ureia e partículas menores. Resultado semelhante ao encontrado no presente estudo em que observou-se melhores médias no adesivo ureia formaldeído tanto para MOR quanto para MOE.

Observa-se, na Tabela 10, que os valores médios de ligação interna variaram de 0,26 a 2,11 MPa, com destaque para o adesivo UF 100% a 120 °C. O resultado menos satisfatório ficou mais uma vez para o adesivo TFF 80:20 para as duas temperaturas. Houve diferença estatística entre as temperaturas (Apêndice B, Tabela B1), apenas em TUF 90:10 e TFF 80:20 não ocorreu diferença estatística entre as temperaturas.

De acordo com a CS 236-66 (1968), todas as situações testadas estavam em conformidade com o mínimo necessário, que é igual a 0,14 MPa. Teodoro (2008) encontrou valores de ligação interna superiores ao da CS 236-66 (1968), mesmo quando adicionado tanino na composição do adesivo fenol formaldeído. Porém neste trabalho, à medida que se aumenta a quantidade de tanino nos adesivos comerciais esta propriedade tende a abaixar quando comparada com os adesivos sintéticos puros.

Tabela 10. Valores médios de ligação interna para adesivos e temperaturas testados.

Adesivo	Ligação Interna (MPa)	
	Temperatura (°C)	
	120	140
UF 100%	2,11 aA* (19,90)	0,68 cB (19,12)
FF 100%	1,86 aA (13,44)	1,22 bB (27,87)
TF 100%	0,85 cA (24,71)	0,51 cB (52,94)
TUF 90:10	1,58 bA (20,89)	1,42 aA (18,31)
TUF 80:20	1,59 bA (31,45)	0,51 cB (56,86)
TFF 90:10	0,98 cB (21,43)	1,51 aA (11,92)
TFF 80:20	0,26 dA (26,92)	0,35 dA (31,43)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

Brito et al. (2006) estudaram a utilização de marralhas processadas com partículas convencionais; o melhor resultado (0,459 MPa) foi encontrado na mistura de 50% de partículas convencionais com 50% de maravalhas e 6% de adesivo ureia formaldeído. Hillig et al. (2002) encontraram resultados semelhantes aos de Brito et al. (2006), para painéis de mesma madeira e densidade, valores médios entre 0,185 a 0,286 MPa. Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo.

A análise de variância referente ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo consta no Apêndice B, Tabela B1. Nota-se para a Tabela 11 que os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície variaram de 283,83 a 795,33 N. O valor requerido pela ANSI A208.1 (1999) para esta propriedade é 400 N, apenas o adesivo TFF 80:20 a 120°C não atenderam a norma. No geral, este resultado é muito importante para a fabricação de móveis, uma vez que se utilizam parafusos para a junção das peças.

Tabela 11. Valores médios de arrancamento de parafuso na superfície e topo dos painéis produzidos para adesivos e temperaturas testados.

Adesivo	Arrancamento de Parafuso			
	Superfície (N) / Temperatura (°C)		Topo (N) / Temperatura (°C)	
	120	140	120	140
UF 100%	795,33 aA* (7,73)	494,83 bB (17,88)	1034,80 aA (12,07)	362,00 bB (54,52)
FF 100%	873,00 aA (6,17)	722,17 aA (11,49)	1050,70 aA (13,95)	878,83 aA (17,32)
TF 100%	595,83 bA (22,55)	501,83 bA (20,59)	535,17 abA (50,73)	350,17 bA (60,63)
TUF 90:10	663,33 bA (16,89)	647,67 aA (13,36)	739,17aA (37,19)	808,50 aA (13,91)
TUF 80:20	748,33 abA (15,91)	581,83 abA (32,82)	652,50 abA (61,06)	493,17 abA (33,43)
TFF 90:10	555,33 bB (11,60)	761 aA (11,09)	456,33 abB (35,61)	927,50 aA (10,48)
TFF 80:20	283,83 cB (10,94)	490,67 bA (11,04)	225,83 cA (14,01)	427,83 abA (22,11)

*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal (para a respectiva propriedade), não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

Tinti (2012) ao avaliar o arrancamento de parafuso na superfície de painel Oriented Stand Board (OSB) na borda e centro encontrou 1.857,10 e 1.676,95 N, respectivamente. Estes valores estão acima do presente estudo, pois o painel OSB foi classificado com de média densidade, tem caráter estrutural e as partículas seguem um padrão de índice de esbeltez.

Para o arrancamento de parafuso no topo, os valores médios variaram de 225,83 a 1034,8 N. Segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2006), o valor mínimo para esta propriedade é de a 800 N. Os painéis do estudo não obtiveram um resultado satisfatório de acordo com a norma, exceto UF 100% (120°C); FF 100% (120°C e 140°C); TUF 90:10 (140°C) e TFF 90:10 (140°C).

Algumas possíveis explicações para o arrancamento de parafuso no topo não ter sido boa, está na dimensão das partículas, uma vez que estas não possuem um

índice de esbeltez ideal que é de 200. Em função da presença de casca nas partículas, a adesão entre o substrato e o adesivo foi prejudicada, tornando o painel com ligações fracas entre as partículas neste sentido.

4.5 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA POR AGENTES DETERIORADORES

A exceção do adesivo TUF 80:20, todos os outros adesivos foram estatisticamente iguais (Apêndice C, Tabela C1) nas temperaturas de prensagem estudadas (Tabela 12). De acordo com a ASTM D-2017 (2005), os painéis foram classificados como altamente resistente (Tabela 2), exceto o adesivo TF 100% que foi classificado como moderadamente resistente para o fungo de podridão parda (*Postia placenta*), indicando que o adesivo TF possui propriedades químicas fungicidas e merecedoras de mais estudos.

Tabela 12. Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados ao fungo *Postia placenta* para os adesivos e temperaturas testados.

Adesivo	Perda de Massa (%) / Temperatura (°C)	
	120	140
UF 100%	4,91 bA* (32,59)	3,93 cA (73,28)
FF 100%	3,27 cbA (27,83)	1,84 cA (35,87)
TF 100%	35,53 aA (4,39)	33,88 aA (18,00)
TUF 90:10	5,82 bA (30,24)	5,53 cbA (33,63)
TUF 80:20	3,97 bB (104,53)	9,25 bA (59,89)
TFF 90:10	1,68 cA (20,24)	2,19 cA (20,09)
TFF 80:20	1,8 cA (13,33)	2,9 cA (29,66)

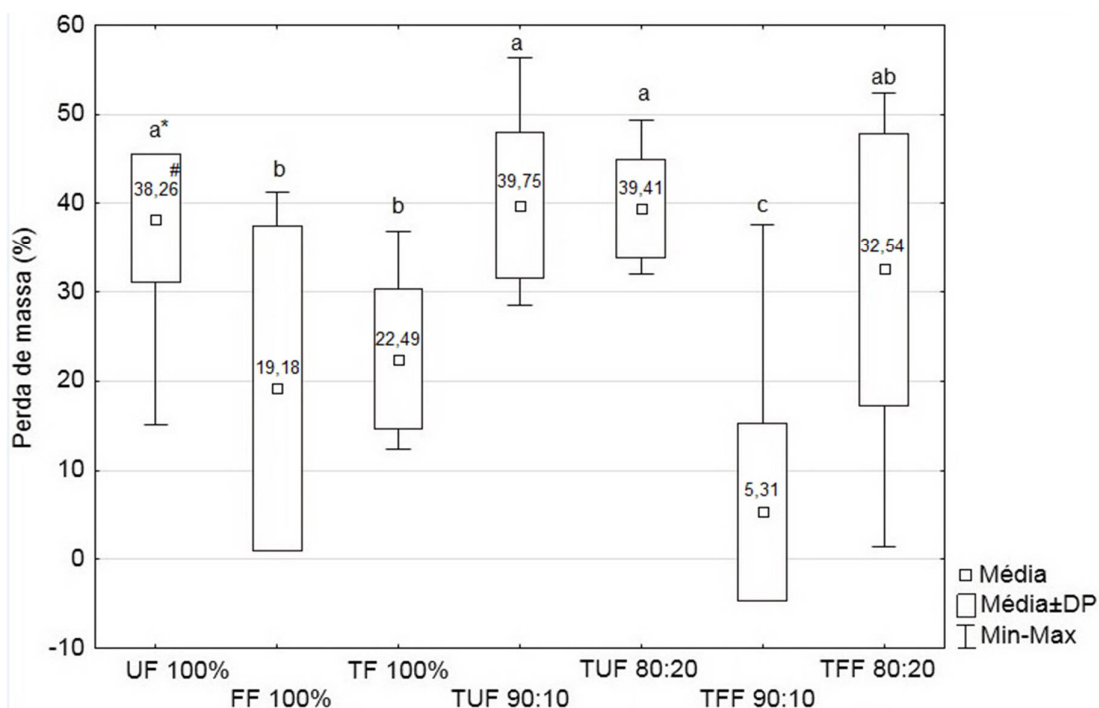
*Médias seguidas por letra minúscula, na vertical, e maiúscula na horizontal, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. Valor entre parênteses corresponde ao coeficiente de variação.

De acordo com a ASTM D-2017 (2005), o adesivo TFF 90:10 foi considerado altamente resistente, os adesivos FF 100% e TF 100% foram resistentes e os

adesivos UF 100%; TUF 90:10; TUF 80:20 e TFF 80:20 foram considerados moderadamente resistentes para o fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) (Figura 5). A análise de variância referente para as características deterioradoras pelo fungo apodrecedor *Trametes versicolor* consta no Apêndice C, Tabela C1.

Melo et al. (2010) ao avaliarem a resistência ao fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) em painéis aglomerados confeccionados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* colados com ureia formaldeído e tanino formaldeído, concluíram que para este fungo não houve diferença significativa, mas na média os painéis produzidos com adesivo à base de tanino foram os menos resistentes. Valores estes semelhantes do presente trabalho, pois os adesivos que perderam mais massa foram as combinações da ureia formaldeído com tanino (nas proporções de 10 e 20%).

Figura 5 – Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados ao fungo *Trametes versicolor* para cada adesivo testado.



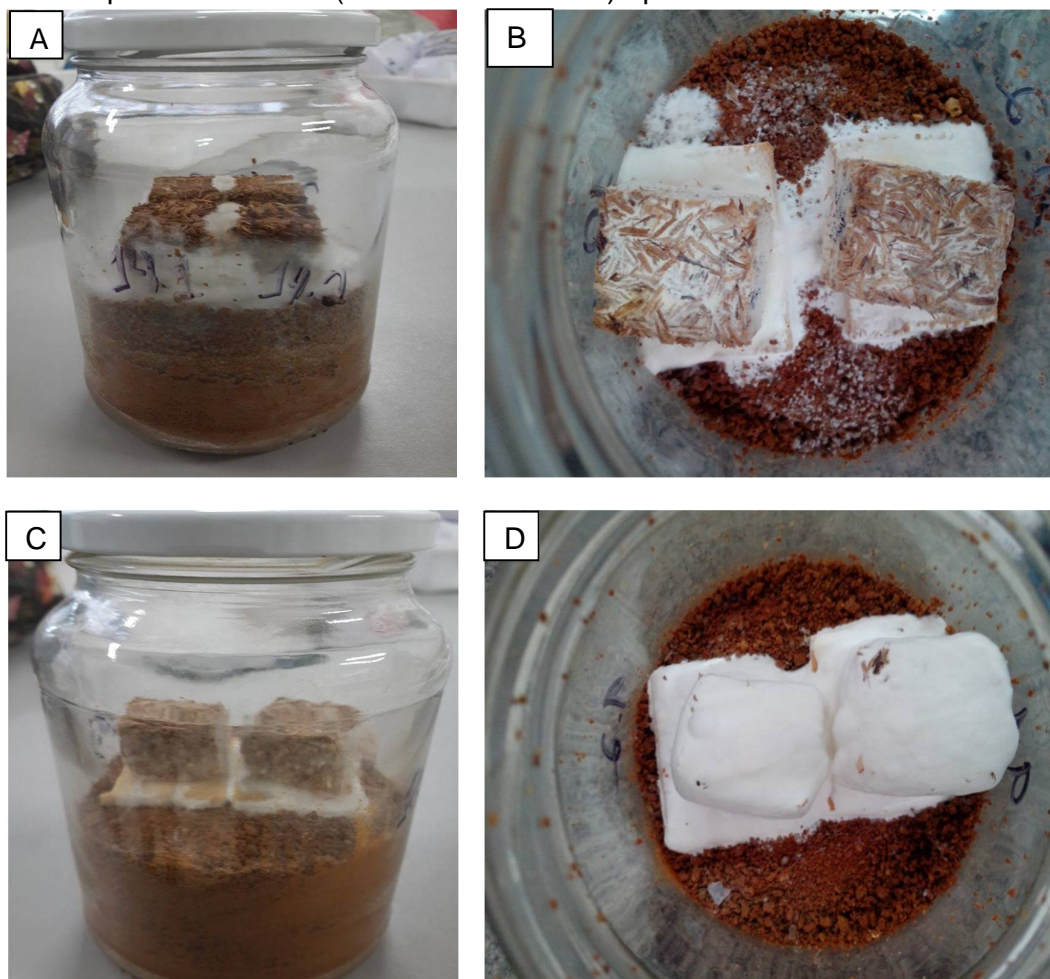
*Médias seguidas por letra não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. # Valor médio de perda de massa para cada adesivo.

Gonçalves et al. (2014) ao estudarem a resistência de painéis aglomerados produzidos com madeira de acácia colada com adesivo à base de ureia formaldeído e proporções de taninos (10, 20 e 30%), encontraram que todos os adesivos foram

classificados como resistentes ao fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*). Os mesmos autores observaram que há uma tendência de melhoria na resistência dos painéis com o aumento da razão de compactação, mas sem relação com o aumento de proporção de taninos na ureia formaldeído.

Na Figura 6 está representado o ensaio de resistência à biodeterioração por fungos xilófagos.

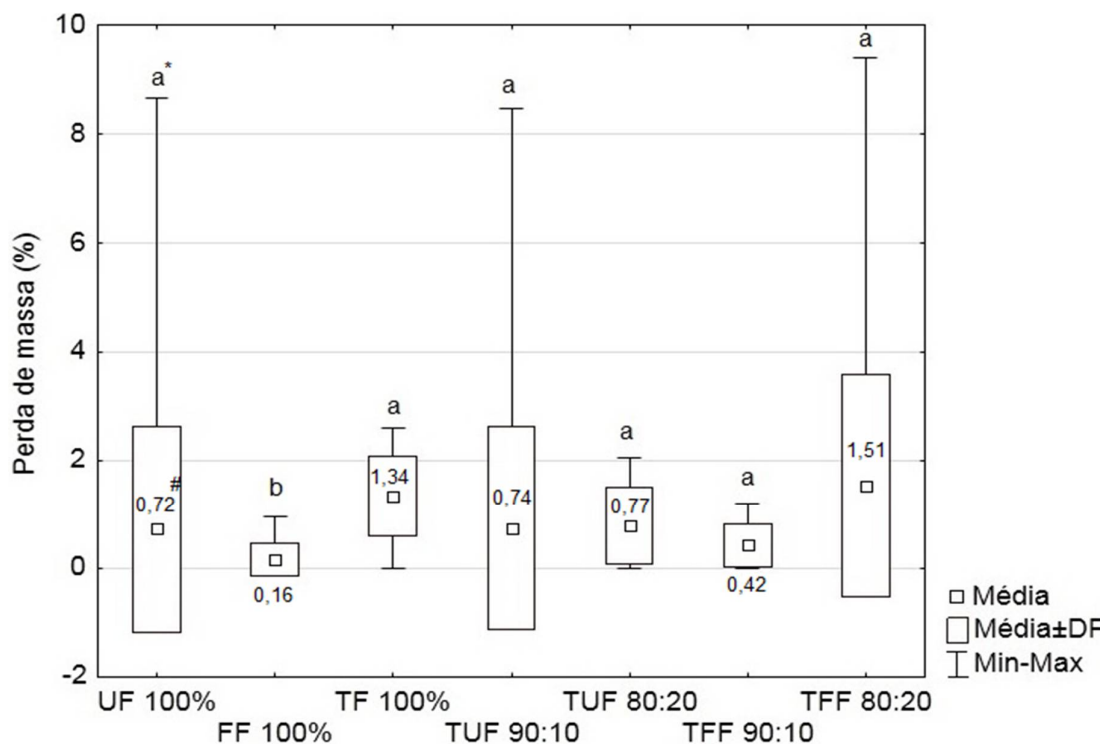
Figura 6 – Ensaio de resistência à biodeterioração por fungos xilófagos. A = Fungo de podridão parda (*Postia placenta*) após 4 semanas; B = Fungo de podridão parda (*Postia placenta*) após 12 semanas; C = Fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) após 4 semanas; D = Fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) após 12 semanas.



Houve uma taxa de mortalidade considerável dos cupins. Alguns autores afirmam que isto pode ser pela presença de extrativos (KARTAL; GREEN III, 2003), resinas (MOI, 1980) em madeiras e produtos de madeira e cinzas (silicatos) nas

cascas. Paes et al. (2013) constataram que madeiras que continham mais cinzas causaram a morte mais rápida de cupins (Figura 7). A análise de variância referente para as características deterioradoras pelo cupim de madeira seca consta no Apêndice C, Tabela C1.

Figura 7 – Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados ao cupim de madeira seca.



*Médias seguidas por letra não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Tukey. # Valor médio de perda de massa para cada adesivo.

Para os adesivos UF, FF e TF (100%), com 20 dias de ensaio, a mortalidade já era de 100%, apesar disto o adesivo TF 100% foi o segundo mais atacado, com 1,34% de perda de massa. O adesivo que mais perdeu massa foi TFF 80:20 com 1,51% de perda, e o que menos perdeu massa foi o FF 100% com 0,16%. Assim, quantidade de tanino presente no adesivo, contribuiu para uma diminuição da resistência do painel ao cupim de madeira seca no adesivo fenol formaldeído.

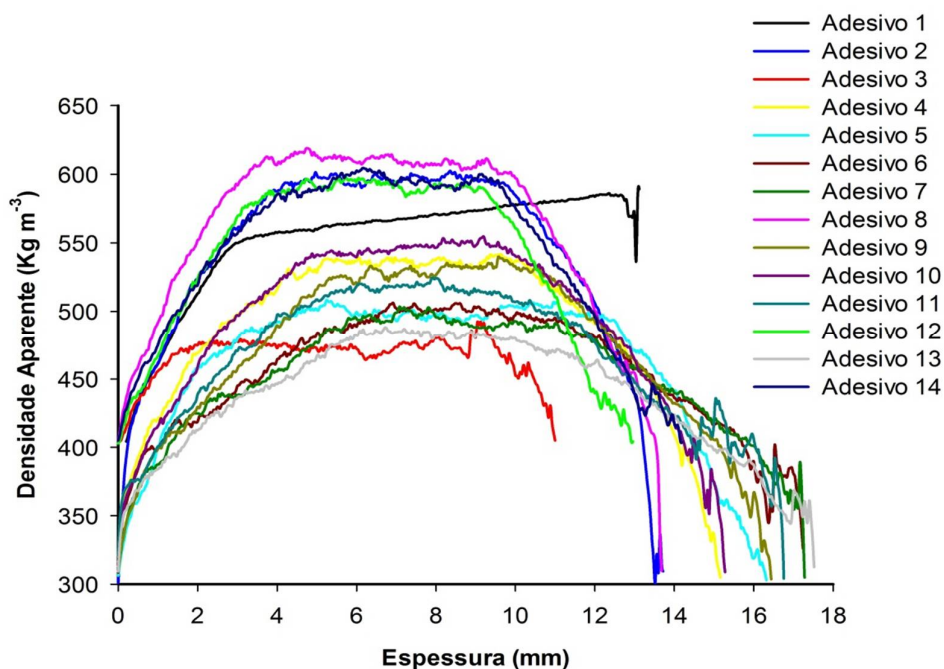
Ribeiro et al. (2014) ao avaliarem painéis aglomerados comerciais de *Eucalyptus*, *Eucalyptus + Pinus* e Bagaço de cana ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*), encontraram maior perda de massa nos painéis de *Eucalyptus* (2,78%) e menor perda no painel de bagaço de cana (0,19%). Este

último foi menos atacado em função da química do bagaço de cana, uma vez que esse resíduo pode apresentar componentes minerais, como a sílica.

4.6 AVALIAÇÃO DO PERFIL DE DENSIDADE APARENTE POR DENSITOMETRIA DE RAIOS X

Observou-se na Tabela 13 que a análise de regressão linear simples indicou uma relação entre a densidade média aparente e a densidade média máxima e média mínima (Apêndice D, Tabelas D1 e D2), considerando o valor médio de 168 corpos de prova dos painéis aglomerados, pela regressão ($p \leq 0,01$ pelo teste t) que a densidade média máxima geral do modelo de regressão explica 93,78% e a densidade média mínima geral 68,29% da variação total da densidade, portanto esta é explicada pela média máxima (Apêndice E, Tabela E1). A média dos perfis de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis aglomerados está representada na Figura 8 representando os 14 adesivos do presente estudo.

Figura 8 – Média dos perfis de densidade aparente ao longo da espessura dos painéis aglomerados dos adesivos e temperaturas testados.



A avaliação dos valores de densidade aparente pelo perfil de densidade ao longo da espessura pelo método de densitometria de raios X, mostrou alguma equivalência entre os painéis, quanto mais próximas as linhas do gráfico, indica uma

maior homogeneidade. Pode-se observar no Apêndice G, que os perfis que mais se aproximaram do “M” característico foram os adesivos 1 (Figura G1) e 13 (Figura G4), e dentre estes o painel produzido com UF 100% (Figura G1) foi o que mais se aproximou desta característica, isto pode ser explicado por este adesivo utilizar a temperatura ideal de cura da ureia formaldeído (120°C).

O perfil em forma de “M” representa painéis de densidade mais elevada nas extremidades e menor no centro, o que é formado normalmente no processo de prensagem a quente, podendo afetar todas as propriedades físicas e mecânicas do produto final (XU, 1999; WONG et al., 2000).

Nos demais adesivos o perfil de densidade característico não foi observado, apresentando uma densidade menor nas extremidades e maior no centro do painel indicando um “U” invertido. Chen et al. (2010) citam que as variações ocorridas nos perfis de densidade podem estar associadas durante a formação do colchão ou no encolamento inconsistente das partículas.

Outra explicação para esta ocorrência é a origem das partículas, que são resíduos de serraria. Estes apresentam quantidade considerável de casca e a geometria das partículas não são precisas, uma vez que foram obtidas de serra destopadeira e no sentido transversal das toras.

Tabela 13. Equações estimadas para a densidade média aparente em função das médias máxima e mínima para os adesivos testados.

Adesivo	Densidade Máxima (kg m ⁻³)		Densidade Mínima (kg m ⁻³)	
	Equação estimada	R ²	Equação estimada	R ²
UF	$D_M = 28,7812 + 1,0324^{**} D_{Máx}$	0,8565	$D_M = 317,1723 + 0,1570^{ns} D_{Min}$	0,5773
FF	$D_M = -121,9590 + 1,3131^{**} D_{Máx}$	0,9741	$D_M = 165,1875 + 0,5338^{**} D_{Min}$	0,8369
TF	$D_M = -279,4386 + 1,6877^{**} D_{Máx}$	0,8481	$D_M = 329,9407 + 0,0182^{ns} D_{Min}$	0,0509
TUF 90:10	$D_M = 22,2191 + 1,0481^{**} D_{Máx}$	0,9949	$D_M = -46,8183 + 0,9252^{**} D_{Min}$	0,9708
TUF 80:20	$D_M = 72,1424 + 0,9625^{**} D_{Máx}$	0,7589	$D_M = 44,3630 + 0,5572^{ns} D_{Min}$	0,1842
TFF 90:10	$D_M = -106,1510 + 1,3338^{**} D_{Máx}$	0,9062	$D_M = 388,9981 + 0,0260^{ns} D_{Min}$	0,0820
TFF 80:20	$D_M = 290,8510 + 0,5007^{ns} D_{Máx}$	0,5499	$D_M = 170,1350 + 0,3019^{ns} D_{Min}$	0,1785

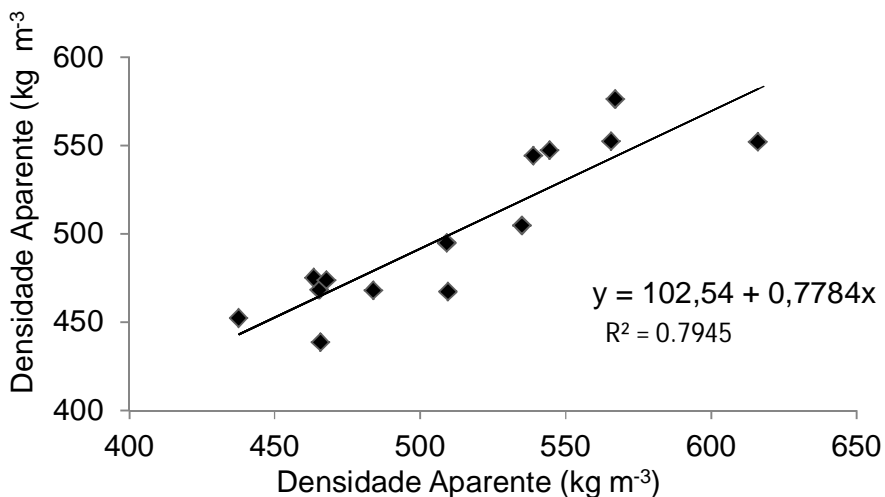
Continuação da Tabela 13.

Temperatura 140°C	Equação estimada	R ²	Equação estimada	R ²
UF	$D_M = 140,7490 + 0,8159^{**} D_{Máx}$	0,8171	$D_M = 252,7350 + 0,1271^{ns} D_{Min}$	0,0651
FF	$D_M = 74,7628 + 0,9632^{**} D_{Máx}$	0,8738	$D_M = -49,8359 + 0,9325^{**} D_{Min}$	0,8762
TF	$D_M = 48,3259 + 1,0132^{**} D_{Máx}$	0,9950	$D_M = -27,7205 + 0,8711^{**} D_{Min}$	0,9644
TUF 90:10	$D_M = 37,5686 + 1,0164^{**} D_{Máx}$	0,9784	$D_M = -15,5197 + 0,8825^{**} D_{Min}$	0,9340
TUF 80:20	$D_M = 51,3876 + 1,0201^{**} D_{Máx}$	0,9827	$D_M = -6,7545 + 0,7449^{**} D_{Min}$	0,5869
TFF 90:10	$D_M = 58,2225 + 0,9749^{**} D_{Máx}$	0,8585	$D_M = 181,7196 + 0,5456^{ns} D_{Min}$	0,2473
TFF 80:20	$D_M = 114,3011 + 0,9274^{**} D_{Máx}$	0,7299	$D_M = 338,6165 - 0,0687^{ns} D_{Min}$	0,0847
Geral	$D_M = 85,7445 + 0,9366^{**} D_{Máx}$	0,9378	$D_M = -176,7497 + 1,1341^{**} D_{Min}$	0,6829

D_M = Densidade Média (kg m^{-3}); $D_{Máx}$ = Densidade Média das Máximas (kg m^{-3}); D_{Min} = Densidade Média das Mínimas (kg m^{-3}); ** Significativo ($p \leq 0,01$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,01$).

O diagrama de dispersão para os valores médios obtidos da densidade aparente média dos painéis aglomerados obtidos por densitometria de raios X e por densidade aparente é ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Correlação da densidade aparente média dos painéis aglomerados obtida por densitometria de raios X e a densidade aparente.



O diagrama indica que há uma correlação significativa entre os dois parâmetros de avaliação (Apêndice F, Tabela F1), expressa pelo coeficiente de determinação (R^2) de 79,45% ($p \leq 0,05$).

Gonçalves (2012) encontrou alto valor de coeficiente de determinação (0,99), ao analisar os valores médios da densidade aparente média dos painéis aglomerados de partículas de madeira de *Acacia mangium* obtidos por densitometria de raios X e por gravimetria, isto indicou uma forte correlação entre os dois parâmetros.

5 CONCLUSÕES

As partículas possuíram alto teor de extrativos e de silicatos na casca, com isso afetou negativamente algumas propriedades tecnológicas dos painéis, como absorção de água, módulo de elasticidade e elasticidade e ligação interna.

No geral a adição de tanino nos adesivos comerciais aumentou a viscosidade, com destaque para o tanino fenol formaldeído.

O adesivo fenol formaldeído nas proporções de 10 e 20% de tanino obteve resultado não satisfatório para todas as propriedades avaliadas neste trabalho, exceto para inchamento em espessura duas horas, e para o ataque de fungos degradadores, e para cupins de madeira seca.

A análise de regressão linear simples empregado na densitometria de raios X indicou uma boa relação entre a densidade média aparente e a densidade média máxima.

A densitometria de raios X é uma boa técnica para indicar a homogeneidade dos painéis aglomerados produzidos.

Com este estudo pode-se concluir que proporções acima de 10% de tanino ao adesivo fenol formaldeído não é recomendado, pois aumentou-se a viscosidade e gerou grânulos no adesivo modificado (TFF).

É recomendado o uso de partículas de destopadeira para fabricação de painéis aglomerados, porém escolhendo o adesivo e temperatura adequada, como exemplo a ureia formaldeído a 120°C.

Mais estudos devem ser realizados no adesivo tanino formaldeído para melhorar a qualidade da composição com o adesivo fenol formaldeído. Bem como testar diferentes razões de compactação afim de melhoria da ligação interna e inchamento em espessura e absorção de água. Um aumento da temperatura também seria uma boa opção.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “Waferboards”**. 1992. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S. Adesão e adesivos. In: IWAKIRI, S. (Coord.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 1-30.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***. 2009. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **ANSI A208.1**: Particleboard. Washington, 1999. 13p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D-2017**: Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, 2005, 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D-1413**: Standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, 2007, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 32p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **M-11/77**: Cinzas em madeira. São Paulo: ABTCP. 1977.

BANDEIRA, A. G.; MIRANDA, C. S.; VASCONCELLOS, A. Danos causados por cupim em João Pessoa, Paraíba, Brasil. In: FONTES, L. R.; BERTI FILHO, E. (Eds.). **Cupins**: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 75-85.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 343-350, 2009.

BELINI, U. L. et al. Teor de sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 250-255, 2012.

BELINI, U. L. et al. Microtomografia de raios X (microCT) aplicada na caracterização anatômica da madeira de folhosa e de conífera. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 1, p. 30-36, 2011.

BERNARDO, C. **Madeira aglomerada: conceito e utilização**. Porto Alegre: Sagra, 1988. 118 p.

BRITO, E. O. et al. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 72, p. 17-21, 2006.

CASTRO, V. R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de *Pinus caribea* var. hondurensis Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f.)**. 2011. 104f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedade de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de aglomerados fabricados com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009.

CERQUEIRA, P. H. A. et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 1, p. 506-510, 2012.

CHEN, S. et al. Digital X-ray analysis of density distribution characteristics of wood-based panels. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 44, p. 85-93, 2010.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. In: **Wood Handbook: wood as an engineering material**. 100th ed. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p.1-16 (General Technical Report – FLP – GTR, 190).

CLOUTIER, A. Oriented strand board (OSB): raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESBOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV, 1998. p. 173-185.

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

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

DIAS, F. M. et al. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 8, n. 3, p. 329-333, 2005.

EDWARD, R.; MILL, A. E. **Termites in buildings: their biology and control**. East Grinstead: Rentokil LTD, 1986. 261 p.

FERREIRA, E. S. et al. Teores de taninos da casca de quatro espécies de pinus. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 16, n. 2, p. 30-39, 2009.

GONÇALVES, C. A. **Utilização do tanino da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (Sabiá) como matéria-prima alternativa para a produção de adesivos**. 2000. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

GONÇALVES, C. A. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (sabiá). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 18-26, 2003.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Resistência ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 80-83, 2006.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 715-722, 2008.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C. Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 16, n. 2, p. 01-07, 2009.

GONÇALVES, F. G. **Painéis aglomerados de madeira de *Acacia mangium* com adesivos de uréia-formaldeído e tanino em pó da casca de *Acacia mearnsii***. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

GONÇALVES, F. G. et al. Resistência de painéis aglomerados de *Acacia mangium* Willd. colados com ureia-formaldeído e taninos a organismos xilófagos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, p. 409-415, 2014.

GONÇALVES, M. T. T.; RUFFINO, R. T. Aproveitamento do resíduo gerado na indústria madeireira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3. **Anais...** USP/EESC. São Carlos, SP. 1989. P. 129-140. 1989.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeira de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n.1, p. 59-70, 2002.

HONG, Y. B. et al. Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**, New York, v. 30, p. 416-421, 2009.

HSE, C. Y. Properties of flakeboards from hardwoods growing on Southern pine sites. In: ANNUAL MEETING OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, v. 28. 1974.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DIMAD D – 2: Ensaio acelerado da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae)**. São Paulo, 1980. 1p.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas**. 1989. 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 125-256, 2000.

IWAKIRI, S. et al. Painéis de Madeira aglomerada. In: IWAKIRI, S. (Org.). **Painéis de madeira reconstituída**. 1. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. p.123-166.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.6, p. 883-887, 2004.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. Painéis de madeira reconstituída. Brasília: **BNDES**, 2002. 24 p.

KANEKO, S. **Mechanism of wood decay by brown-rot fungi**. 2004. 53f. Thesis (Doctrate Degree of Agricultural Science) – Kinki University, Osaka, 2004.

KARTAL, S. N.; GREEN III, F. Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF) made from different wood species. **International Biodeterioration & Biodegation**, Birmingham, v. 51, n. 1, p. 29-35, 2003.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: US Department of Agriculture. FPL. Wisconsin, 1977. 66 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: wood based materials**. Berlim: Springer-Verlog, 1975. v, 2, p. 312-550.

LELIS, A. T. Insetos deterioradores de madeira no meio urbano. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 13, n. 33, p. 81-90, 2000.

LELIS, R. C. C.; GONÇALVES, F. G. Avaliação de qualidade de duas resinas após a adição de tanino de acácia negra (*Acácia mearnsii*). In: FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON FOREST, FOREST 99. **Anais...**, CDROM. Bio2048, 1998.

LEPAGE, E. S. Química da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. p. 69-98.

MACIEL, A. S. et al. Chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET). **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 53-66, 2004.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977. 689 p.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996.

MARTÍNEZ, A.T. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, Barcelona, v. 8, p. 195-204, 2005.

MARRA, A. A. **Tecnology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MATO, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 1988. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casa de arroz**. 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MELO, R. R. et al. Resistência de painéis aglomerados confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis* e diferentes adesivos a fungos e cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 82-89, 2010.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. IBDF/LPF: Brasília, 1988. 57 p.

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

MENDES, L. M. et al. Pinus spp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Florestas do Brasil em resumo**. Brasília: SFB, 2013 188 p.

MOI, L. C. A new laboratory method for testing the resistance of particle boards to the drywood termite *Cryptotermes cynocephalus*. **Journal Malaysian Forester**, Kuala Lumpur, v. 43, n. 3, p. 350-355, 1980.

MORI, C. L. S. O. et al. Influência da temperatura, tipos e concentração de sais inorgânicos no rendimento em taninos das cascas de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS. Forest 2000, **Anais...**, p. 408, 2000.

MORI, F. A. et al. Utilização de resinas à base de taninos das cascas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na produção de painéis compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, p. 455-461, 1999.

NEMLI, G. et al. Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with *Pinus brutia* bark extractives. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 2059-2064, 2006.

OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LEPAGE, E. S. Agentes destruidores de madeira. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT-SICCT, 1986. p. 99-278.

PAES, J. B. et. al. Viabilidade técnica dos taninos de quatro espécies florestais de ocorrência no semi-árido brasileiro no curtimento de peles. **Ciência Florestal**, Santa Maria v. 16, n. 4, p. 453-462, 2006.

PAES, J. B. et al. Substâncias tânicas presentes em várias partes da árvore angico-vermelho (*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. cebil. (Gris.) Alts.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 441-447, 2010.

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 399-405, 2013.

PAULA, M. O. de et al. Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.

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

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994a. 297 p.

PIZZI, A. Tannin based adhesives. **Journal of Macromolecular Science: Pure and Applied Chemistry**, v. 18, n. 2, p. 247-315, 1980.

PIZZI, A. Urea-formaldehyde adhesives. In: PIZZI, A.; MITTAL, K, L. (Ed.). **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994b. p. 381-392.

POLETO, S. F. S. et al. Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécies de reflorestamento. In: LAHR, F. A. R.; CHISTOFORO, A. L. (Coord.). **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. 2. ed. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 1-22.

QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS (QMS). Density profiler model QDP-01X. **User's guide**. Knoxville, TN. 73p., 2012.

RIBEIRO, M. X. et al. Resistência das madeiras de pinus, cedro australiano e seus produtos derivados ao ataque de *Cryptoterme brevis*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 433-439, 2014.

ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. FUPEF: Curitiba. 2001. 94p. (Série Didática, 1).

SANTOS, P. E. T.; LAVORANTI, O. J.; SALANTE, L. Amostragem de toras de árvores de *Eucalyptus grandis* selecionadas para finalidades de serraria e energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.54, p.53-61, 2007.

SANTOS, W. L. F. et al. Viabilidade de obter painel de compósito particulado com resíduo da madeira tauari (*Couratari oblongifolia*) da região sudoeste do estado do Maranhão utilizando resina à base do óleo de mamona. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL/IBRAMEM, 2008. (CD – Rom).

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999. 88f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo, 1999.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assisat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, J. C. **Eucalipto**: manual prático do fazendeiro florestal produzindo madeira com qualidade. Viçosa: UFV, 2011. 106 p.

SILVA, B. C. et al. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 511-519, 2012.

SILVA, J. G. M. **Qualidade da madeira serrada e demarcação do lenho juvenil e adulto do mogno africano**. 2014. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

SOUZA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de Acácia negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB**. 2006. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. Solvent extractives of wood and pulp. T – 204 om-88. **TAPPI test methods**. Atlanta: TAPPI Press, 1996. n. p.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TINTI, V. P. Características tecnológicas de um painel comercial de partículas orientadas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. (CD – Rom).

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Avaliação tecnológica de madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Madeira: Arquitetura & Engenharia**, São Carlos, v. 11, p. 45-58, 2010.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, Concepción, v. 10, n. 3, p. 139-149, 2008.

TOSTES, A. S. et al. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 14-19, 2004.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinold, 1991. 404 p.

VIEIRA, M. C. et al. Tannin Extraction from the Bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with Sodium Carbonate and Sodium Bisulfite. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2011.

VIEIRA, M. C.; LELIS, R. C. C.; RODRIGUES, N. D. Propriedades químicas de extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa* e avaliação de seu emprego como adesivo. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 47-54, 2014.

VITAL, B. R. **Dimensional stability and water absorption of flake wood and particleboards as related to furnish geometry, board specific gravity, and resin type**. 1979. 149f. Thesis (Doctor of Philosophy) – Oregon State University, Corvallis, 1979.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: **Sociedade de Investigações Florestais – SIF**, 1984, 21 p. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B. R. et al. Adesivos à base de taninos das casca de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.

WANG, X. et al. Evaluation of density distributions in wood-based panels using X-ray. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, Bad Breisig, v. 11, n. 4, 2006.

WANG, X.; SALENIKOVICH, A.; MOHAMMAD, M. Localized density effects on fastener holding capacities in wood based panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 57, n. 1/2, p. 103-109, 2007.

WATAI, L. T. **Painéis derivados de madeira**. São Paulo: ABPM. 1987. 16p. (Boletim ABPM, 52).

WEISSMANN, G. Analysis of acid and neutral sugars in bark extracts from *Pinus radiata* and *Larix deciduas* by capillary gas liquid chromatography. **Holzforchung**, Berlin, v. 39, p. 245-247, 1985.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R. Guia prático de manejo de plantações de eucalipto. Botucatu: **FEPAF**, 2008, 19p.

WONG, E. D. et al. Formation of the density profile and its effects on the properties of fiberboard. **Journal Wood Science**, Berlin, v. 46, p. 202-209, 2000.

XU, W. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composite panels: a theoretical consideration. **Wood Fiber Science**, New York, v. 31, n. 3, p. 277-282, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo das análises de variância para as características físicas dos painéis em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela A1 – Resumo das análises de variância para densidade aparente (D_a), inchamento em espessura após 2 horas (IE 2h), inchamento em espessura após 24 horas (IE 24h), absorção de água após 2 horas (AA 2H) e absorção de água após 24 horas (AA 24h).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Teste F				
		D_a	IE 2h	IE 24h	AA 2h	AA 24 h
Adesivo (A)	6	77,4**	41,21**	34,15**	139,89**	50,701**
Temperatura (T)	1	139,5**	22,86**	88,97**	58,65**	30,637**
A x T	6	75,8**	7,55**	16,91**	69,84**	45,077**

** Significativo ($p \leq 0,01$).

APÊNDICE B – Resumo das análises de variância para as características mecânicas dos painéis em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela B1 – Resumo das análises de variância para módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), ligação interna (LI), arrancamento de parafuso na superfície (APS) e arrancamento de parafuso no topo (APT).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Teste F				
		MOR	MOE	LI	APS	APT
Adesivo (A)	6	50,701**	53,488**	127,529**	19,788**	14,1041**
Temperatura (T)	1	30,637**	51,953**	194,609**	4,378**	2,2234 ^{ns}
A x T	6	45,077**	46,814**	67,817**	11,363**	10,1615**

** Significativo ($p \leq 0,01$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$).

APÊNDICE C – Resumo das análises de variância para as perdas de massa dos painéis caudada por agentes deterioradoras em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela C1 – Resumo das análises de variância para as características deterioradoras pelos fungos apodrecedores *Postia placenta*, *Postia placenta* e cupim de madeira seca.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Teste F		
		<i>Postia placenta</i>	<i>Postia placenta</i>	Cupim de madeira seca
Adesivo (A)	6	288,005**	23,937**	5,9497**
Temperatura (T)	1	0,474 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,0917 ^{ns}
A x T	6	2,968**	1,494 ^{ns}	1,6663 ^{ns}

** Significativo ($p \leq 0,01$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$).

APÊNDICE D – Resumo das análises de variância para a densitometria de raios X dos painéis para dados dependentes em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela D1 – Resumo das análises de variância para a densidade aparente média máxima e média mínima a 120°C.

Dens Aparente	Fonte de Variação	GL	Teste F						
			UF 100%	FF 100%	TF 100%	TUF 90:10	TUF 80:20	TFF 90:10	TFF 80:20
Máxima Média	Regressão	1	59,6647**	376,7864**	55,8354**	1960,6548**	31,4688**	96,5892**	12,2149 ^{ns}
	Resíduo	10							
Mínima Média	Regressão	1	13,6584	51,3250*	0,5328 ^{ns}	332,4843*	2,2586 ^{ns}	0,8928 ^{ns}	2,1728 ^{ns}
	Resíduo	10							

** Significativo ($p \leq 0,01$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$).

Tabela D2 – Resumo das análises de variância para a densidade aparente média máxima e média mínima a 140°C.

Dens Aparente	Fonte de Variação	GL	Teste F						
			UF 100%	FF 100%	TF 100%	TUF 90:10	TUF 80:20	TFF 90:10	TFF 80:20
Máxima Média	Regressão	1	44,6855 **	69,2790 **	1975,960 1**	452,948 0**	567,696 1**	60,6588 **	27,0240**
	Resíduo	10							
Mínima Média	Regressão	1	0,6964 ns	70,7475 **	271,0878* *	141,542 3**	14,2046* *	3,2847 ns	0,9251 ^{ns}
	Resíduo	10							

** Significativo ($p \leq 0,01$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$).

APÊNDICE E – Resumo das análises de variância para a densitometria de raios X dos painéis para dados independentes em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela E1 – Resumo das análises de variância para a densidade aparente geral máxima e mínima.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Teste F	
		Densidade Aparente Máxima	Densidade Aparente Mínima
Regressão	1	2504,6451**	357,4646**
Resíduo	166		

** Significativo ($p \leq 0,01$).

APÊNDICE F – Resumo das análises de variância para a correlação da densidade aparente média dos painéis em função dos adesivos e temperaturas testados.

Tabela F1 – Resumo das análises de variância para a correlação da densidade aparente média.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	Pr > F
Regressão	1	27007,53	27007,53	46,38**	<0,0001
Resíduo	12	6987,535	582,2946		
Total	13	33995,06			

** Significativo ($p \leq 0,01$).

APÊNDICE G – Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados em função dos adesivos testados.

Figura G1 – Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados produzidos com ureia formaldeído 100% (Adesivo 1), fenol formaldeído 100% (Adesivo 2) e tanino formaldeído 100% (Adesivo 3), prensados a 120°C.

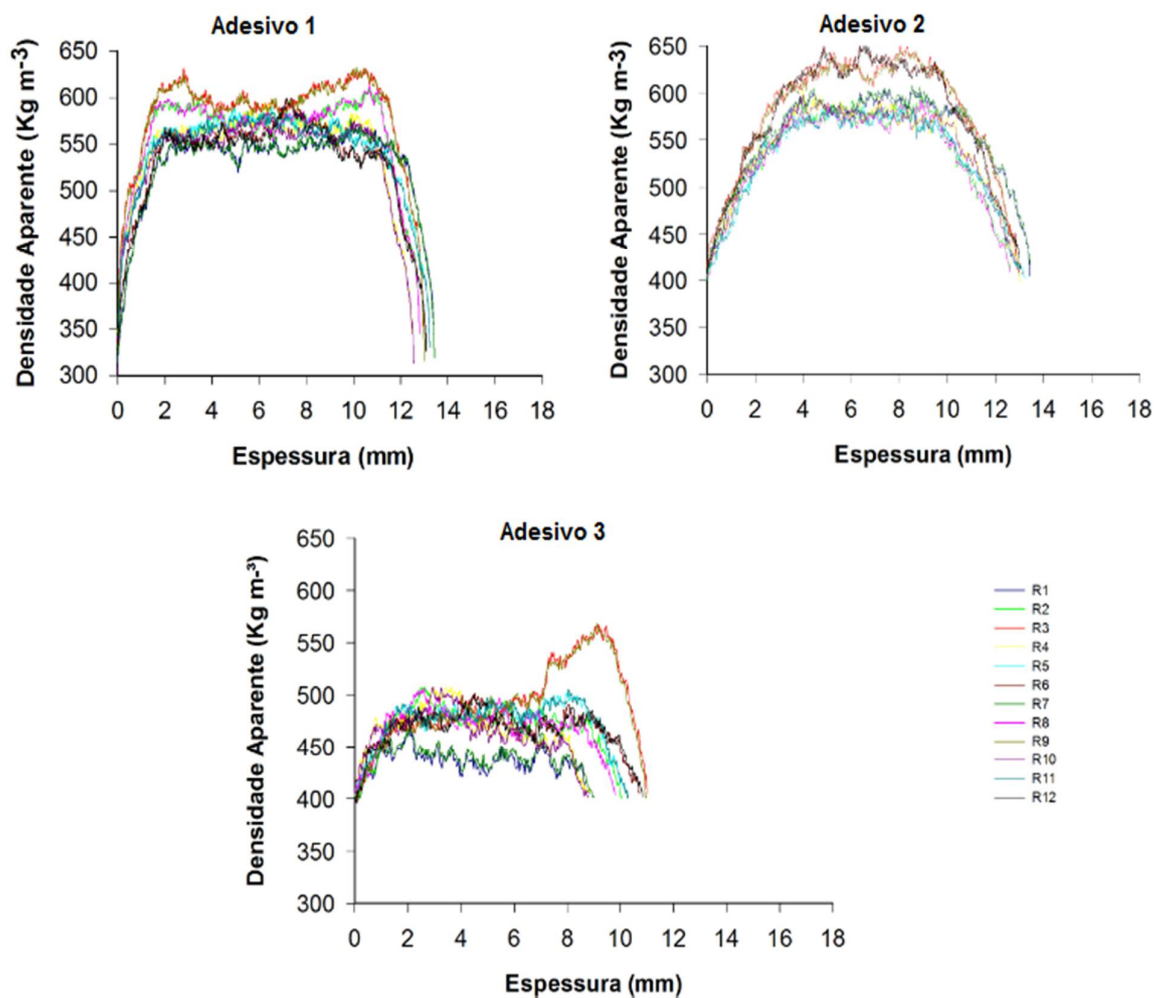


Figura G2 – Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados produzidos com tanino ureia formaldeído 90:10 (Adesivo 4), tanino ureia formaldeído 80:20 (Adesivo 5), tanino fenol formaldeído 90:10 (Adesivo 6) e tanino fenol formaldeído 80:20 (Adesivo 7), prensados a 120°C.

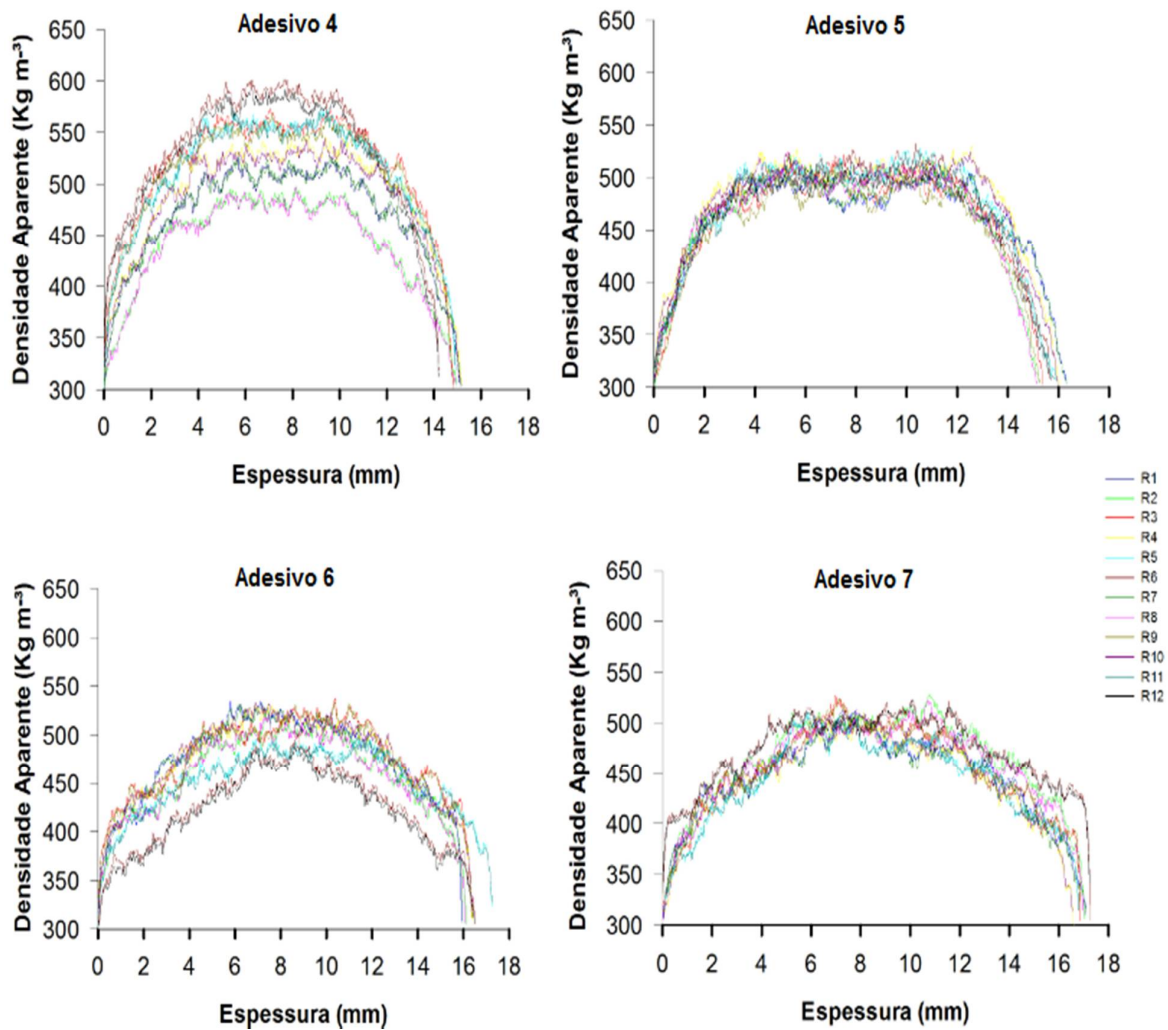


Figura G3 – Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados produzidos com ureia formaldeído 100% (Adesivo 8), fenol formaldeído 100% (Adesivo 9) e tanino formaldeído 100% (Adesivo 10), prensados a 140°C.

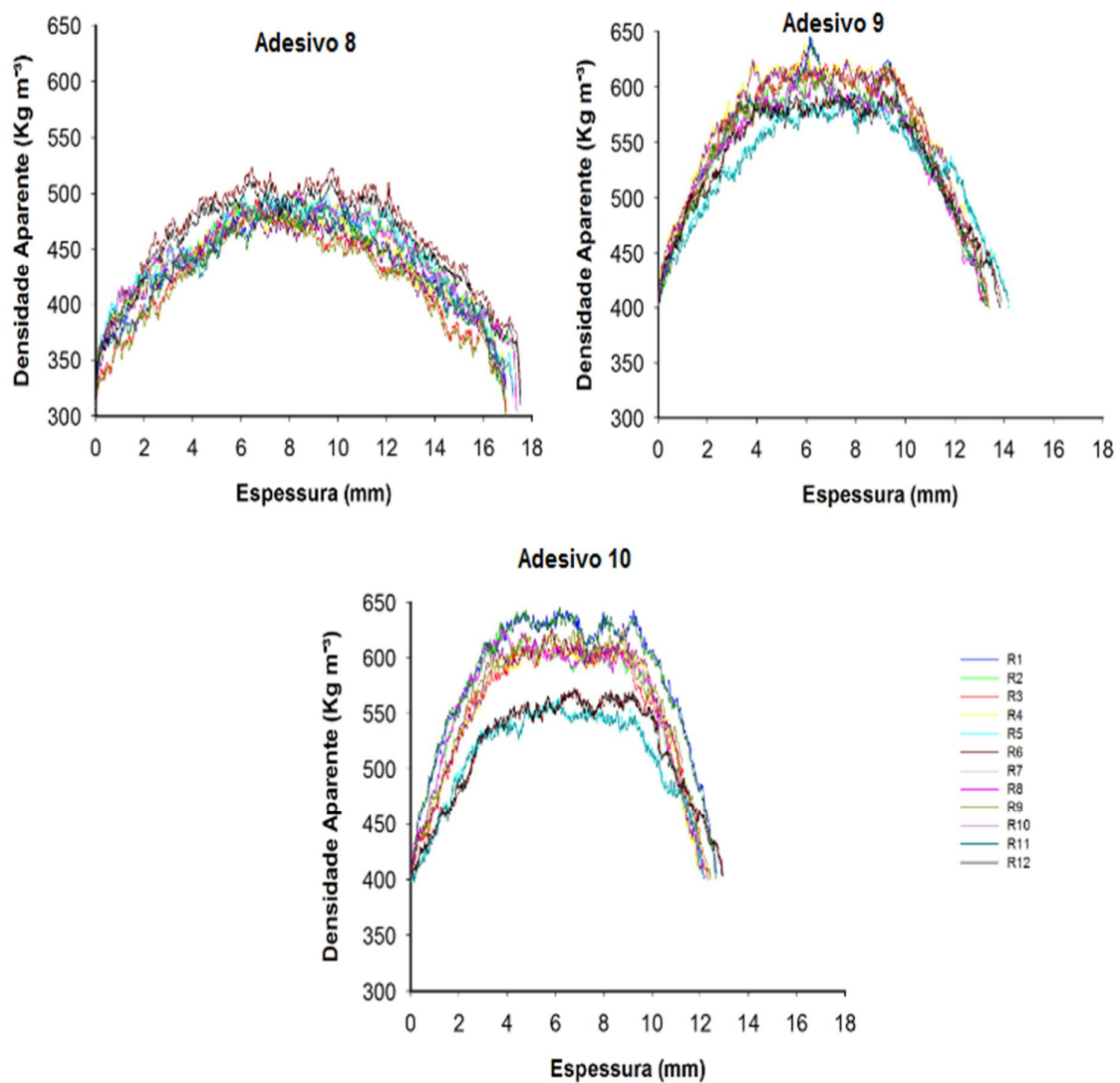


Figura G4 – Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados produzidos com tanino ureia formaldeído 90:10 (Adesivo 11), tanino ureia formaldeído 80:20 (Adesivo 12), tanino fenol formaldeído 90:10 (Adesivo 13) e tanino fenol formaldeído 80:20 (Adesivo 14), prensados a 140°C.

