

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

PAINÉIS AGLOMERADOS DE MADEIRA-CASCA COM BAIXA
EMIÇÃO DE FORMALDEÍDO

MARIA VANESSA EGGER SCHUELER

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

PAINÉIS AGLOMERADOS DE MADEIRA-CASCA COM BAIXA
EMIÇÃO DE FORMALDEÍDO

MARIA VANESSA EGGER SCHUELER

Sob a Orientação do Professor

Roberto Carlos Costa Lelis

e co-orientação do Professor

Alexandre Miguel do Nascimento

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SSchue
p Schueler, Maria Vanessa Egger, 13/05/1991-
Painéis aglomerados de madeira-casca com baixa
emissão de formaldeído / Maria Vanessa Egger Schueler.
- 2017.
51 f.: il.

Orientador: Roberto Carlos Costa Lelis.
Coorientador: Alexandre Miguel do Nascimento.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2017.

1. Cascas. 2. Painéis. 3. Formaldeído. 4. Redução de
emissão. I. Lelis, Roberto Carlos Costa, 1965-,
orient. II. do Nascimento, Alexandre Miguel, 1961-,
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

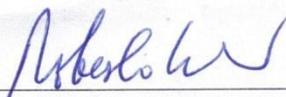
INSTITUTO DE FLORESTAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

MARIA VANESSA EGGER SCHUELER

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 21/02/2017

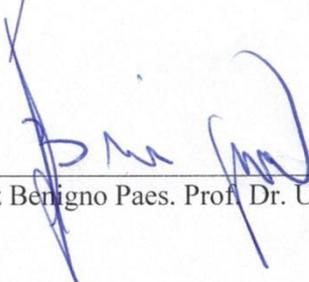


Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ

(Orientador)



Gilmara Pires de Moura Palermo. Prof^a Dr^a. UFRRJ



Juarez Benigno Paes. Prof. Dr. UFES

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois com sua sabedoria e amor de Pai me permitiu chegar até aqui.

Aos meus pais Laerte de Silva Schueler e Maria Iazete Egger Schueler, pelo carinho e apoio que sempre recebi em minhas escolhas.

Ao meu namorado Gabriel dos Santos de Aguiar, por seu amor e todo seu apoio, carinho e paciência que me ajudaram a ter força de continuar trilhando meu caminho.

Ao meu orientador Roberto Carlos Costa Lelis, por sua confiança em meu trabalho, sua paciência e toda sua ajuda e colaboração como orientador e amigo.

Ao meu co-orientador Alexandre Miguel do Nascimento, por toda sua ajuda e dedicação.

À professora Natália Dias de Souza, pela amizade e por sempre estar presente, apoiando e ajudando nessa minha jornada, obrigada por tudo.

À professora Gilmara Pires de Moura Palermo, por ter aceitado participar da banca examinadora desta dissertação, pela amizade e por ter me ajudado e confiado em mim inúmeras vezes nas atividades laboratoriais com seus alunos, meu muito obrigada.

Ao professor Juarez Benigno Paes, por também ter aceitado participar da banca examinadora desta dissertação, por ter vindo de longe para contribuir com esse trabalho, muito obrigada.

Ao José Carlos, por toda sua ajuda e sua incansável paciência comigo, e toda equipe do laboratório de química da madeira, Gisely, Bruno e Carlos Enrique, pela ajuda, assistência e amizade, muito obrigada.

À minha amada amiga Fernanda Lago Morbeck, por estar sempre ao meu lado em todas as horas, todos momentos, você transforma qualquer ambiente em um lugar melhor.

À minha amiga arretada Rayssa de Medeiros de Moraes, que mesmo longe sua amizade me faz sorrir, você sempre sabe o que dizer para animar.

À Dra. Marissol Hermann, que com sua sabedoria e paciência, me ajudou a ser uma pessoa melhor.

E aos amigos Monique, Danielle, Camila, Raquel, Edevaldo, Juliana, Vanessa e Wanessa por toda companhia e amizade, vivendo cada história incrível.

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro, que me permitiu realizar este trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por estar sempre de portas abertas para seus alunos.

RESUMO

SCHUELER, Maria Vanessa Egger. **Painéis aglomerados de madeira-casca com baixa emissão de formaldeído.** 2017. 42p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do emprego de cascas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em painéis aglomerados como captador de formaldeído, trazendo a possibilidade de seu emprego na manufatura de painéis aglomerados com baixa emissão de formaldeído. Assim sendo, foram analisadas as características químicas e físicas da casca do pinus, para melhor avaliar o seu emprego nos painéis, também sendo analisado as propriedades da resina ureia-formaldeído. O delineamento experimental para a confecção dos painéis foi constituído de duas fases. A primeira fase foi realizada sob a temperatura de prensagem de 140°C e a segunda a 160°C, tendo ambas como tempo de prensagem de 7 minutos, assim como cinco proporções de partícula casca (0, 5, 10, 15 e 20%) em associação com partículas de madeira com adesivo à base de ureia-formaldeído a 10%. Posteriormente, foram testadas e analisadas a emissão de formaldeído, as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, no intuito de chegar a um equilíbrio em que qualidade do mesmo foi mantida e a emissão de formaldeído reduzida. Para os testes físicos dos painéis, foi observado que as diferentes temperaturas de prensagem e a adição da partícula casca, somente afetaram de maneira significativa no teor umidade e inchamento em espessura 2 e 24 horas, porém de forma positiva, sendo observado melhores resultados à temperatura de 160°C e adição de até 15 % de casca. Com relação aos testes mecânicos, foi observado que as diferentes temperaturas de prensagem e a adição da partícula casca influenciaram em todos os testes, sendo os melhores resultados encontrados, também à temperatura de 160°C e até a proporção de 15% de casca. Nos testes químicos para análise de emissão de formaldeído, houve redução da concentração do teor de formaldeído entre os tratamentos com 5% até 20% de casca. Sendo assim, o melhor resultado obtido, em que todos os requisitos foram atendidos, foi o painel com a proporção de 15% de partícula casca.

Palavras-chave: Cascas, Painéis, Formaldeído, Redução de Emissão.

ABSTRACT

SCHUELER, Maria Vanessa Egger. **Agglomerated of wood-bark panels with low formaldehyde emission.** 2017. 42p. Dissertation (Master of Environmental Science and Forestry). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

The present work objectives to evaluate the potential of the use of bark of *Pinus caribaea* var. *caribaea* in agglomerated panels as a formaldehyde scavenger, bringing the possibility of its use in the manufacture of agglomerated panels with low formaldehyde emission. Therefore, the chemical and physical characteristics of the pinus bark were analyzed to better evaluate their use in the panels, and the properties of the urea-formaldehyde resin were also analyzed. The experimental design for the panels consisted of two phases. The first stage was carried out under the pressing temperature of 140°C and the second phase at 160°C, both having a pressing time of 7 minutes, as well as five proportions of the bark particles (0, 5, 10, 15 and 20%) in association with wood particles with 10% urea-formaldehyde based adhesive. Subsequently, the formaldehyde emission, the physical and mechanical properties of the panels were tested and analyzed, in order to reach a balance where the quality of the panels was maintained and the emission of formaldehyde reduced. Thus, for the physical tests of the panels, it was observed that the different pressing temperatures and the addition of the bark particle, only affected in a significant way in the content moisture and swelling in thickness 2 and 24 hours, but in a positive way, being observed Best results at 160°C and addition of up to 15% bark. Regarding the mechanical tests, it was observed that the different pressing temperatures and the addition of the bark particle influenced all the tests, and the best results were also found at the temperature of 160°C and up to 15% of bark. In the chemical tests for analysis of formaldehyde emission, there was a reduction in the concentration of formaldehyde content between treatments with 5% to 20% of bark. Thus, the best result obtained, where all requirements were met, was the panel with the proportion of 15% particle bark.

Key words: Barks, Panels, Formaldehyde, Emission Reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Painéis aglomerados confeccionados.....	16
Figura 2. Disposição dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos no painel adaptado de SILVA, 2015. Em que: FE – flexão estática (300x50 mm); LI – ligação interna (50x50 mm); D – densidade do painel (50x50 mm); U – umidade do painel (50x50 mm); IE/AA – inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24h (50x50 mm).	17
Figura 3. Amostras sendo mensuradas durante teste de IE/AA.	18
Figura 4. Ensaio mecânico para realização dos cálculos de MOE e MOR	18
Figura 5. Ensaio mecânico para realização dos cálculos de Ligação Interna.....	19
Figura 6. Valores médios da concentração de formaldeído dos painéis aglomerados segundo cada tratamento.....	34
Figura 7. Curva de Calibração do Formaldeído, realizado para determinar a concentração de formaldeído em solução aquosa.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações de formaldeído e suas respectivas reações causadas às pessoas (INSTITUTO MÁRIO PENNA, 2015).	06
Tabela 2. Composição dos tratamentos para variações de partículas, tempo de prensagem e temperatura.	16
Tabela 3. Médias da densidade básica e aparente da madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> com 27 anos e da casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	22
Tabela 4. Caracterização química da casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	22
Tabela 5. Propriedades dos extratos da casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	23
Tabela 6. Médias das propriedades da resina Ureia-Formaldeído.....	24
Tabela 7. Médias da densidade dos painéis aglomerados por tratamento.	24
Tabela 8. Médias do teor de umidade dos painéis aglomerados por tratamento.	25
Tabela 9. Médias do inchamento em espessura após 2 horas dos painéis aglomerados por tratamento.	26
Tabela 10. Médias do inchamento em espessura após 24 horas dos painéis aglomerados por tratamento.	27
Tabela 11. Médias de absorção de água após 2 horas dos painéis aglomerados por tratamento.	28
Tabela 12. Médias da absorção de água após 24 horas dos painéis aglomerados por tratamento.	29
Tabela 13. Médias do módulo de ruptura dos painéis aglomerados por tratamento.	
Tabela 14. Médias do módulo de elasticidade dos painéis aglomerados por tratamento.	30
Tabela 15. Médias de ligação interna dos painéis aglomerados por tratamento.	31
Tabela 16. Médias do pH dos painéis aglomerados por tratamento.	32
Tabela 17. Médias da capacidade tampão dos painéis aglomerados por tratamento.....	32
Tabela 18. Médias da concentração de formaldeído dos painéis aglomerados por tratamento.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Painéis Aglomerados	2
2.2 Formaldeído e os problemas à saúde humana	3
2.3 Aproveitamento de Resíduos Madeireiros.....	7
2.4 Fatores que afetam a Qualidade dos Painéis.....	8
2.5 Resinas que contêm formaldeído em sua composição.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Obtenção de material madeira e casca	10
3.2 Determinação da densidade básica e aparente da madeira e da casca	10
3.3 Caracterização química da casca de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	11
3.3.1 Teor de extrativos totais da casca.....	11
3.3.2 Teor de lignina de Klason	11
3.3.3 Teor de holocelulose	11
3.3.4 Teor de α -celulose e hemicelulose	12
3.3.5 pH e capacidade tampão da casca	12
3.4 Extração do tanino das cascas de pinus e caracterização química.....	12
3.4.1 Determinação do teor de polifenóis do tanino através da reação de Stiasny	13
3.4.2 Determinação do rendimento em extrato, rendimento em taninos e rendimento em não-taninos	13
3.5 Propriedades da resina Ureia-Formaldeído.....	14
3.5.1 Determinação da viscosidade	14
3.5.2 Determinação do teor de sólidos	14
3.5.3 Determinação do tempo de formação de gel	15
3.5.4 Determinação do pH.....	15
3.6 Fabricação dos Painéis Aglomerados	15
3.6.1 Obtenção de partículas de madeira e da casca	15
3.6.2 Produção de painéis.....	15
3.6.3 Delineamento Experimental.....	16

3.6.4 Ensaio tecnológicos dos painéis produzidos	17
3.6.4.1 Ensaio físicos	17
3.6.4.2 Ensaio mecânicos	18
3.6.4.3 Ensaio químicos	19
Reagentes	19
Procedimento	20
Curva de calibração	20
Solução padrão de formaldeído	20
Cálculo do teor de formaldeído	20
Solução de calibração de formaldeído	21
Determinação da curva de calibração	21
3.7 Análise dos Dados	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Densidade Básica e Aparente da Madeira e da Casca	22
4.2 Caracterização Química da casca de <i>Pinus caribaea var. caribaea</i>	22
4.3 Teores de polifenóis, rendimento em extrativos, taninos e não taninos	23
4.5. Avaliação das propriedades tecnológicas dos Painéis	24
4.5.1 Propriedades físicas.....	24
4.5.2 Propriedades mecânicas	29
4.5.3 Ensaio químicos.....	32
5 CONCLUSÕES.....	35
6 RECOMENDAÇÃO.....	35
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira reconstituída surgiram pela falta de matéria prima em razão da obrigatoriedade de contenção do corte de árvores nativas. Nos últimos anos, a demanda de painéis cresceu significativamente, pela alta do setor econômico e do mercado imobiliário. Porém, é extremamente importante averiguar os impactos ambientais deste produto, fazendo com que ocorra uma melhoria qualitativa frente ao seu comportamento ambiental (FREIRE et al., 2015).

No decorrer da história do ser humano, a madeira sempre foi de extrema importância, sendo utilizada como lenha, na confecção de utensílios diversos, moradias, dentre outros. E na forma serrada e com a utilização de adesivos, foi possível gerar novos produtos. No princípio, esses adesivos eram produzidos com resinas naturais à base de proteínas animais, vegetais e amido. Na década de 1930, surgiram os primeiros adesivos sintéticos à base de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído (FREIRE et al., 2015).

Dada a elevada quantidade de resíduos oriundos das indústrias madeireiras e também da exploração florestal, é crescente o interesse no emprego destes resíduos na produção de painéis aglomerados. Um destes resíduos é a casca, que já vem sendo utilizada na fabricação de painéis tanto nos Estados Unidos como em outras partes do mundo (BRITO et al., 2005). A casca é considerada um resíduo para a maioria das indústrias madeireiras, podendo trazer problemas de descarte de ordem ambiental (BORGES et al., 1993). Desta forma, a casca representa uma alternativa empregada na produção de painéis junto com outras partículas de madeira.

Pela utilização da resina ureia-formaldeído em compósitos de madeira, há emissão de gases e estes em ambientes fechados podem ser muito prejudiciais à saúde humana. Assim, recomenda-se que estes locais devam ser muito bem ventilados (RAZERA, 2006).

No entanto, estudos vêm sendo realizados desde a década de 1980 com o objetivo de reduzir cerca de 75 a 90% a emissão de formaldeído pelas resinas sintéticas. Os painéis de madeira confeccionados com estas resinas são considerados como um dos principais produtos emissores de formaldeído. Uma quantidade considerável é emitida durante a manufatura do painel; porém, o mesmo permanece a emitir níveis de formaldeído durante o uso do produto (TRIANOSKI, 2010). A emissão de formaldeído é ocasionada pelo excesso do mesmo liberado pelas resinas sintéticas. A liberação ocorre pela quebra das ligações na resina pela à alta exposição à umidade (CAMPOS & LAHR, 2004).

A partir da descoberta do formaldeído, este tem sido utilizado abundantemente na fabricação de painéis de madeira e para colagem de madeira sólida, compósitos laminados e particulados. Sendo assim, além de ser o contaminante de ambientes fechados mais famigerado, seu uso ainda é elevado nas indústrias, existindo relatos de concentrações elevadas no ambiente interno. Isso pode explicar as razões dos níveis de formaldeído no ar interno das residências estarem entre os mais altos do que qualquer outro contaminante (JANTUNEN et al. 2008).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o potencial do emprego de cascas de pinus em painéis aglomerados como captador de formaldeído, trazendo a possibilidade de seu emprego na manufatura de painéis aglomerados com baixa emissão de formaldeído.

Os objetivos específicos são: Avaliar as propriedades químicas da casca; avaliar o teor de polifenóis na casca; fabricar painéis aglomerados em diferentes porcentagens de composição (madeira/casca) e diferentes temperaturas de prensagem, avaliar as propriedades físicas, mecânicas e químicas dos painéis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis Aglomerados

Os painéis de madeira são produtos de superfície ampla, confeccionados a partir de resíduos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos de tamanhos diversos (fibras, partículas, lâmina, etc.) unidos por meio de adesivos ou pelas propriedades auto-adesivas de alguns dos elementos do material lignocelulósico (PIERRE, 2010). Sendo assim, os painéis de madeira aglomerada também são confeccionados a partir de partículas de madeira com acréscimo de resina sintética, submetidos à ação de pressão e calor segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2014).

Segundo Alves et al., (2014), os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos na Alemanha no começo da década de 1940, em razão da diminuição na disponibilidade da madeira durante a 2ª Guerra Mundial. Na ocasião, a produção de aglomerados mostrava-se como uma opção por possibilitar o emprego de resíduos de madeira, tendo em vista a dificuldade de aquisição de madeiras propícias à confecção de painéis compensados.

Os painéis de madeira surgiram com o objetivo de diminuir as variações dimensionais da madeira maciça, seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. O desenvolvimento tecnológico atualmente no setor dos painéis à base de madeira tem acarretado o surgimento de novos produtos no mercado internacional e nacional, que vêm preencher os requisitos de uma demanda cada vez mais especializada e exigente (ZENID, 2009).

Mas o que impulsionou as indústrias de chapas e painéis de madeira foi o desenvolvimento das resinas sintéticas, sendo principalmente aquelas à base de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Isso fez com que a partir da década de 1930 fosse possível a confecção de painéis de madeira de alta qualidade (BELINI et al., 2008). De acordo com Iwakiri et al. (2005), com o avanço no estudo da química, as resinas ganharam cada vez mais espaço, sendo elas fenol-formaldeído (1929), a ureia-formaldeído (1931), a melamina-formaldeído (final da década de 1930) e a resorcina-formaldeído (1943).

As principais transformações da indústria madeireira nacional ocorreram durante a independência política, em 1882, até parte do século XX, quando estavam surgindo novos avanços na área de tecnologia de processamento (CABRAL & CESCO, 2007). Somente a partir de 1920, com a obtenção de equipamentos industriais melhores e meios de transporte, é que a indústria madeireira avançou no País (CABRAL & CESCO, 2007). Já o desenvolvimento das indústrias de painéis de madeira no Brasil teve início na década de 1950, com a instalação das linhas de produção de chapas de fibras duras e isolantes no estado de São Paulo (IWAKIRI, 2012). Por causa da demanda cada vez maior, as indústrias madeireiras crescem notadamente, o que destaca consequentemente os avanços em estudos e pesquisas para maior produção, e com mais qualidade (TRIANOSKI, 2010).

Conforme Mattos et al. (2008), o painel aglomerado convencional é, hoje em dia, o modelo de painel mais fabricado e usado no mundo e no Brasil, com a fabricação mundial ultrapassando os 100 milhões de metros cúbicos. O Brasil está em nona posição da lista dos maiores fabricantes, com quase 2% da produção mundial, sendo Estados Unidos em primeiro lugar, com 21%, Canadá (12%) e Alemanha (11%). Além disso, 95% da produção brasileira é empregada somente para abastecimento do mercado interno.

A cada ano o setor de painéis reconstituídos vem crescendo significativamente, buscando cada vez mais qualidade e valor agregado ao produto final, sendo assim, um aumento de investimento em novas tecnologias e o aperfeiçoamento no setor são necessários e com um mercado externo exigente, o controle de qualidade destes produtos fica cada vez mais minucioso, e por conseguinte mais rigoroso com relação à matéria prima (ROSA, 2015).

A qualidade dos painéis de madeira aglomerada é influenciada diretamente pela espécie de madeira utilizada, quanto às suas características anatômicas, seu teor de umidade, densidade, extrativos e pH. Também é influenciada pelo processo de fabricação, como a razão de compactação, teores e tipo de resina utilizada, tamanho das partículas, também como sua orientação, sua umidade, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem e pressão específica (MESQUITA et al., 2015)

O gênero *Pinus* compõe a maior parte da matéria prima utilizada na confecção de painéis estruturados. Isso ocorre principalmente por apresentar crescimento considerado rápido, madeira leve, de fácil trabalhabilidade, tornando-se ideal para a constituição de painéis de densidades variadas, além de, apresentarem coloração clara o que é muito apreciada (ROSA, 2015).

No ano de 2012, o painel aglomerado foi considerado uma das principais matérias primas para a produção de móveis no Brasil, com 95% da fabricação designada a esse setor e com um crescimento de fabricação de 3,3 milhões de m³ em 2012 para 3,8 milhões de m³ em 2013 (ABIPA, 2014; FAO, 2014).

2.2 Formaldeído e os problemas à saúde humana

O formaldeído foi relatado pelo cientista russo Alexander Michailowitsch Butlerow no ano de 1855. O método de síntese por desidratação de metanol foi obtida pelo químico alemão August Wilhelm von Hofmann em 1867. A variabilidade que o deixa adequado ao uso em vários empregos industriais em seguida foi explorada, e o produto foi um dos primeiros a ser incorporado pelo Chemical Abstracts Service (CAS). Em 1944, Joseph Frederic Walker publicou a primeira edição de sua obra clássica *Formaldehyde*. Entre 1900 e 1930, os adesivos à base de formaldeído tornaram-se importantes para a produção de painéis de madeira (VIEGAS, 2011).

Fabricado mundialmente em larga escala, o formaldeído é um gás orgânico derivado do metanol, muito utilizado como resina sintética, junto a soluções fenólicas, ureicas, melamínicas entre outras, nos processos de produção de painéis de madeira e também como em abrasivos, plásticos, esmaltes sintéticos, tintas e vernizes; na indústria têxtil e de fundição: em adesivos, isolantes elétricos, lonas de freio, etc (ALVES & ACIOLE, 2012; OLIVEIRA, 2013).

O formaldeído (HCHO) é um gás incolor, possui odor forte de fácil notoriedade, capaz de causar perceptual irritação nos olhos e no aparelho respiratório. Os sinais de irritação remetem garganta seca e/ou inflamada, sensação de "picada" no nariz comumente seguida de irritação e dor nos olhos, com produção de lágrimas e ânsia de pestanear (SILVA, 2000).

Também é chamado de metanal conforme a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), ou formol, e é classificado como o composto mais simples da família dos aldeídos. Das carbonilas é considerado o maior poluente. (VIEGAS & PRISTA, 2011).

É considerado um dos 25 compostos químicos mundialmente mais produzidos dando-se, acima de tudo, por possuir elevada reatividade, ser incolor, pureza no modelo comercial e, além disso, por apresentar baixo custo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007, apud VIEGAS 2011).

Nos últimos anos, câncer e doenças respiratórias como alergias e asma têm crescido significativamente, tendo como causa principal à má qualidade do ar no interior de residências, escolas, escritórios, e em outros locais onde adultos e crianças frequentam por um longo período de tempo. O formaldeído, dentre os contaminantes do ar interior, é o mais encontrado, existente principalmente em painéis de madeira. No Brasil, atualmente, não existe um padrão que especifique uma quantidade máxima de emissão permitida de formaldeído no

ambiente interior não fabril, de tal maneira, os materiais de construção e de decoração também não são fiscalizados quanto à emissão de formaldeído (INMETRO, 2016).

Dessa forma, o formaldeído se tornou um dos compostos químicos mais estudados quanto aos poluentes encontrados no ambiente interno, dado que foi classificado no Grupo 1 (substâncias cancerígenas ao ser humano), pela Agência Internacional para Pesquisa Sobre o Câncer (IARC). Nos locais fechados o formaldeído constitui aproximadamente 60% da totalidade de aldeídos (PEREIRA et al. 2001). É também identificado como uma substância com alto poder cancerígeno em humanos, não existindo um grau seguro de exposição, conforme o Instituto Nacional do Câncer (INCA), 2015.

Nesse contexto, visto que, os compostos cancerígenos não são regularizados no Brasil e como a maioria dessas substâncias não são submetidas a testes de toxicidade necessárias, no setor fabril e em ambientes internos, estamos sujeitos à exposições de altas cargas de poluentes, situação em que países onde existem padrões rigorosos de fiscalização raramente ocorrem (GIODA & AQUINO NETO, 2003).

O formaldeído é também a matéria-prima utilizada na confecção da maioria dos adesivos sintéticos para painéis de madeira. Os adesivos ureia-formaldeído (UF) (denominados aminoplastos) são, até então, os produtos mais frequentemente empregados na produção de painéis de madeira reconstituída, por apresentar cura rápida, afinidade com aditivos, e possuir baixo custo (BREGINSKI, 2015).

O Departamento de Segurança Ocupacional e Administração de Saúde dos Estados Unidos (OSHA), segundo Breginski (2015), com objetivo de preservar a saúde de trabalhadores expostos ao formaldeído, estabeleceu normas para o limite de exposição ao mesmo. O limite máximo permitido para o formaldeído no ambiente fabril é de 0,75 mg/L ou 0,108 mg/m³, em 8 horas diárias de exposição. Um outro limite estabelecido é o de 2 mg/L ou 2,87 mg/m³ para exposições a curto prazo de no máximo 15 minutos. Ao comparar a NR15, a norma brasileira permite uma exposição 2,13 vezes maior que a OSHA, não havendo obrigação do uso de equipamento de proteção individual (EPI) para o trabalhador e ainda sem recebimento adicional por insalubridade.

Por possuir grande quantidade de formaldeído livre, e com isso resultar em uma alta reatividade e velocidades maiores de operação, as resinas ureicas eram usadas em larga escala até a década de 1980 pelas indústrias madeireiras na fabricação de painéis aglomerados e MDF. Porém, conseqüentemente isso resultava de grandes emissões de formaldeído no interior das fábricas. Da mesma forma, essa emissão de formaldeído ocorria também quando estas chapas eram empregadas como pisos, móveis e revestimento de paredes, por exemplo (BELINI et al., 2008). Os produtos de madeira, com ou sem acabamento, confeccionados com resina ureia-formaldeído, são a maior fonte do mesmo (BRICKUS & NETO, 1999).

Na utilização de formaldeído, atende-se a formulação deste tipo de resina, sendo a proporção molar normatizada entre formaldeído e ureia (F/U) 1,2:1 a 2,0:1, para que problemas com a emissão de formaldeído não ocorram. Sendo assim, a cura deste adesivo ocorre pela redução do pH, que varia em torno de 7 a 8, e pela adição de um catalisador sólido, que pode ser cloreto de amônio (NH₄Cl) ou sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] (NUNES, 2008).

Pesquisas realizadas mostram que ao comparar o comportamento da resina sintética ureia-formaldeído com emissão elevada de formaldeído (razão molar 2:1) e com emissão baixa (razão molar 1,5:1), a resina com maior emissão de formaldeído obtém menor tempo de formação de gel (FERREIRA, 2010). Com isso, dificulta a utilização da resina de menor emissão de formaldeído pelas indústrias, uma vez que o tempo de formação de gel mais curto gera mais rapidez do processo de fabricação de painéis de madeira e conseqüentemente mais lucro para as mesmas (FERREIRA, 2010). No entanto, é nítida a evolução das indústrias madeireiras com relação ao avanço de pesquisas e aplicações de novas tecnologias, sendo

estas relacionadas à equipamentos, maquinários modernos e automatizados, gerando assim produtos de maior qualidade e melhor estética (NUNES, 2008).

Dessa forma, outras substâncias vêm sendo estudadas como possíveis substituintes do formaldeído, sendo estes adicionados às resinas, funcionando como catalisadores. Sendo assim, pesquisas afirmam que a utilização de peróxido de hidrogênio como catalizador tem excelentes resultados, inclusive uma redução de até 30% no tempo de prensagem, o que permite mais rapidez deste processo. Outras pesquisas também afirmam que a adição de sais de amônia de ácidos fortes, como sulfato de amônia, também obtém bons resultados e uma aceleração na cura da resina (ELEOTÉRIO, 2000).

Com relação aos painéis de madeira, pesquisas alegam que a emissão de formaldeído está diretamente ligada à densidade do painel, ou seja, foi constatado que painéis com alta densidade da camada superficial emitem cerca da metade de formaldeído do que painéis com densidade da camada superficial menor (ELEOTÉRIO, 2000).

A resina ureia-formaldeído também apresenta algumas qualidades, o que a torna tão utilizada em larga escala, e estas qualidades são: não ser uma substância inflamável e de ser incolor e solúvel em água, fora o fato do bom custo benefício já citado anteriormente (MELO, 2013).

Como já sabido, formaldeído é uma substância tóxica aos humanos, principalmente em altas concentrações (DL50 oral para ratos de 0,8 g kg⁻¹), com ponto de ebulição em -19,5°C (NIOSH, 1994). Porém, há indícios de que seja cancerígeno em baixas concentrações (KHODER et al., 2000; KIM et al., 2006). Em quantidades elevadas e concentradas nos locais fechados, a emissão de formaldeído pode ocasionar irritação ocular, problemas respiratórios, enjoos, dor de cabeça, fadiga, cansaço e sede (RAZERA, 2006). O mesmo ocorre em espaços de armazenagem com pouca ventilação (VALZANO, 2000). Porém, não se encontra tais problemas de saúde em locais arejados e/ou abertos. No entanto, no período de 30 a 72 horas ocorre uma perturbação oriunda da emissão (RAZERA, 2006). Segundo o Instituto Mário Penna (2015), foi comprovado cientificamente, por quatro instituições internacionais de pesquisa, o potencial carcinogênico do formaldeído.

A maioria das pessoas consegue perceber a presença de formol em concentrações bem baixas como 0,5 mg/L, isso faz com que conforme a concentração vai aumentando até o limite de exposição máxima, onde a irritação ocorre de maneira mais acentuada (INSTITUTO MÁRIO PENNA, 2015). Por ser solúvel em água, o formol é velozmente absorvido no trato respiratório e gastrointestinal, e metabolizado. Ainda que o formol tenha capacidade de adentrar a pele humana, a absorção dérmica é menor, no entanto é possível a indução de dermatites de contato. Portanto, o formol é considerado tóxico se ingerido, inalado ou existir contato com a pele, por via intravenosa, intraperitonal ou subcutânea (INCA, 2015). Conforme o Instituto Mário Penna (2015), no caso de inalação de formaldeído, é comum o aparecimento de sintomas como irritação ocular, nasal, mucosa e trato respiratório superior. Concentrações elevadas podem causar também, bronquite, pneumonia ou laringite.

SAMET et al. (1988) afirmam que o limite para o odor desse gás ser percebido pelo ser humano, se encontra na faixa de 0,060-1,2 mg/m³. No entanto, foi diagnosticada irritação na garganta, na ocorrência de exposição, nas faixas entre 0,12 e 3,0 mg/m³ na maioria dos indivíduos, porém, no que diz respeito a irritação ocular, esta foi registrada em níveis de 0,1 mg/m³. Conforme HAYS et al. (1995), estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), responsável pela exposição de poluentes no ar interno, concluíram que são aceitáveis concentrações de formaldeído abaixo de 0,05 mg/L, no entanto, concentrações acima de 0,10 mg/L resultam numa situação preocupante.

O material que contiver formaldeído, e este liberar essa substância acima de 0.5 mg/L, deverá conter o código correto e recomendado por lei. Necessitará incluir, por acarretar malefícios à saúde, as palavras “perigo potencial de câncer”. Deve ser comunicado de risco de

saúde, quando houver gás formaldeído, ou misturas com presença do mesmo contendo mais de 0,1% deste, e materiais com capacidade de liberação gasosa de formaldeído sob condições de uso, com potencial de prevenção igual ou superior a 0,1 mg/L (MANUAL DE BIOSSEGURANÇA, 2015).

São verificados em pessoas que tiveram contato com o vapor ou com a solução de formaldeído, pele esbranquiçada, áspera e ocasionar forte sensação de anestesia e necrose na pele superficial. Períodos longos de exposição ao formaldeído podem ocasionar hipersensibilidade e dermatite na pele e até mesmo ulceração entre os dedos, alguns relatos também dizem que, essa substância, pode ocasionar conjuntivite (INSTITUTO MÁRIO PENNA, 2015).

Tabela 1: Concentrações de formaldeído e suas respectivas reações causadas às pessoas (INSTITUTO MÁRIO PENNA, 2015):

0,1 a 0,3 mg/L	nível mais baixo no qual começa a ser reportada irritação;
0,8 mg/L	limite para o odor (começa a notar o cheiro);
1 a 2 mg/L	limite de irritação leve;
2 a 3 mg/L	irritação ocular, nariz e garganta;
4 a 5 mg/L	elevação do nível da irritação de membranas mucosas e lacrimejação significativa;
10 a 20 mg/L	lacrimação abundante, forte sensação de queimação, tosse, podendo ser tolerada por apenas alguns minutos (15 a 16 mg/L pode matar camundongos e coelhos após 10 horas de exposição);
50 a 100 mg/L	causa danos severos em 5 a 10 minutos (exposição de camundongos a 700 mg/L pode ser fatal em duas horas).

O formol é uma substância química incombinável com amônia, álcalis, tanino, bissulfetos, preparações à base de ferro, prata, potássio e iodo. Reage com albumina, caseína, Agar-agar formando compostos insolúveis. É ferozmente reativo com óxidos, nitrometano, carbonato de manganês e peróxidos (INSTITUTO MÁRIO PENNA, 2015). O formaldeído também pode ser encontrado através de outras denominações tais como: formalina, metil aldeído, metileno glicol, oxido de metileno, metanal, formalida 40, morbicida, BFV, formalite, aldeído fórmico, yde, ivalon, karsan, lysoform, oxometano, oximetileno (INCA, 2015).

Em comparação a outros países, o Brasil é considerado médio produtor de formaldeído, porém essa produção tem conhecido um grande aumento, sobretudo a partir da década de 90. Destaca a produção dos Estados Unidos, que extrapolou 2.000 toneladas nas décadas de 1980 até 2000. Já o Japão passou de 1.000 toneladas a partir de 1986 (INCA, 2015).

As indústrias madeireiras brasileiras, com a atividade do setor de transformação, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI), processa mecanicamente o equivalente a 1,0% do PIB nacional, emprega 2,1% da População Economicamente Ativa (PEA Nacional), é responsável por 2,3% da exportação de produtos industrializados e possuía projeção de importância nos investimentos até 2014 na ordem de US\$ 5 bilhões (NUNES, 2008).

Através destes dados, é possível observar que, na indústria madeireira onde seu produto é processado mecanicamente, não se resume só na geração de renda e empregos, entretanto cresce bastante em nível de desenvolvimento de novas tecnologias e avanços culturais que incentivam o desenvolvimento sustentável em todas as regiões do País. Assim sendo, mostrar o nível de toxicidade residual gerada pelo processamento mecânico de painéis

de madeira, agregará mais valor na certificação do material produzido, tornando-se uma questão de notável importância técnica, científica e social (NUNES, 2008).

Pesquisas atualmente realizadas, e a propensão mundial para o monitoramento desse poluente, mostram a necessidade de mudanças no que diz respeito as normas e limites, do grau de exposição permitidas em ambientes fechados e industriais no Brasil (BREGINSKI, 2015).

2.3 Aproveitamento de Resíduos Madeireiros

O desenvolvimento econômico atual exige uma preocupação com a sustentabilidade, fazendo com que inúmeros setores passem a se preocupar, realmente, com os recursos naturais utilizados na fabricação e as implicações ao meio ambiente. A implantação das várias normas da ISO 14000 comprova esta preocupação e o setor industrial madeireiro e florestal, ante a ampla quantidade de resíduos gerados, não pode permanecer ausente a este fato (LIMA & IWAKIRI, 2010).

Em decorrência das indústrias madeireiras, a quantidade de resíduos de madeira existente no Brasil é consideravelmente alta. Embora o volume que representa, estes resíduos não vêm sendo aproveitados e, quando isso ocorre, é utilizado na geração de energia. Em meio a estes resíduos, as maravalhas e as cascas de madeira representam uma quantidade expressiva (BRITO et al., 2004).

Conforme Weber et al., (2015), as adversidades pertinentes às questões ambientais tais como a poluição e a geração de resíduos e suas consequências, estão, em várias ocorrências, aliados aos sistemas produtivos. A melhor proficiência da matéria-prima, por via de processos que integram os preceitos da gestão ambiental, vem adquirindo interesse pelas indústrias e instituições de pesquisas, uma vez que, além dos benefícios ambientais e sociais, resultam em proveitos econômicos às indústrias.

Nos Estados Unidos é muito comum a utilização de painéis estruturais na construção civil. Já no Brasil, são produzidos em maior escala os painéis madeira aglomerados. Fabricados a partir de partículas de madeira aglutinadas, mais usualmente, com resina sintética, ureia-formaldeído, por exemplo, sendo posteriormente este prensado a quente por um determinado período de tempo até que ocorra a cura da resina. No entanto, esses painéis podem ser fabricados eventualmente com outros tipos de material lignocelulósico que proporcione a mesma ou maior resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, uma vez que esses materiais conferem igual composição química da madeira, mais precisamente de madeiras mais densas, ou seja, com alto teor de lignina e de hemiceluloses (CARASCHI, 2009).

A geração de resíduos ocasionam problemas de nível ambiental, e suas decorrências, estão presentes em muitos casos, na maioria das vezes, relacionados ao processo produtivo. Os princípios de gestão ambiental e a inclusão do conceito de logística reversa faz com que ocorra um melhor rendimento da matéria-prima, e sua importância vem crescendo nas indústrias e instituições de pesquisas (WEBER & IWAKIRI, 2015).

Segundo Silva et al. (2012), fora o problema ambiental, a geração de resíduo significa também redução dos rendimentos financeiros para a indústria madeireira. A casca e a serragem ainda são os resíduos com maiores objeções de proveito, ainda que determinadas empresas produzam a própria energia por meio da queima destes resíduos em caldeiras. Futuramente, a supressão de resíduos poderá ser mais problemática, em consequência do aumento na fabricação de madeira serrada pelas grandes empresas florestais.

Trianoski et al., (2013), destacam que, a casca, dentre os resíduos de madeira, não tem sido utilizada de forma correta por razão de desconhecimento ou à inexistência de tecnologias disponíveis a serem aplicadas.

Nos países desenvolvidos, por falta de matéria-prima e a elevada demanda, a luta pela obtenção dos resíduos de madeira é alta. Isto posto, os resíduos são empregados com sensatez, ganhando finalidade e rendimento conforme as suas propriedades. Já no Brasil, possuindo um amplo território, os recursos ainda são abundantes, sendo ainda bastante comum o desperdício. Atualmente, o nível de utilização das indústrias madeireiras, com poucas exceções, é bastante baixo quando comparados com outros países. Com efeito, a geração de resíduos é muito elevada, sendo ainda ruim, o pouco número de indústrias que realizam um emprego apropriado para esses resíduos (OLANDOSKI, 2001).

O emprego de resíduo lignocelulósico na fabricação de painéis de madeira, além de adicionar valor, propicia a sustentabilidade, reduzindo os problemas de poluição ambiental e aumentando a produção das indústrias de painéis aglomerados (NEGRÃO et al., 2014).

Desta forma, com a crescente demanda de aglomerados de madeira no mercado, a falta de matéria prima e a larga quantidade de resíduos sólidos gerados pelas indústrias madeireiras, vem sendo pesquisado a inserção de resíduos na confecção de aglomerados de madeira, como maneira de dar uma ordenação final apropriada aos resíduos e redução do consumo de matéria prima (SILVA et al., 2015).

O mercado madeireiro em grande escala, pelos vários âmbitos da sociedade, promove discussões e questionamentos sobre os impactos dos resíduos madeireiros ao meio ambiente, incitando a ciência florestal na evolução de estudos sobre soluções mitigadoras dos impactos ambientais originados pelos sistemas produtivos, em que a matéria-prima madeira é o componente central (WEBER et al., 2015).

Segundo Morais et al., (2015), por motivos de determinação do mercado global, os pesquisadores visam buscar novos materiais para a produção de painéis aglomerados, que possibilitam a redução dos custos de produção, dos impactos ambientais e mudar com efetividade os painéis tradicionais física e mecanicamente.

2.4 Fatores que afetam a Qualidade dos Painéis

Quanto à qualidade dos painéis de madeira, vários são os fatores que contribuem para as características do produto final, no processo de fabricação. A madeira ou material lignocelulósico, utilizados neste processo, interfere diretamente na qualidade do mesmo, junto com o tipo de resina e procedimentos empregados (CARASCHI, 2009).

Segundo o USDA Forest Service (2015), muitas pesquisas foram realizadas nos países do Hemisfério Norte, em particular nos Estados Unidos e Canadá, com a casca e outros resíduos de madeira na confecção de painéis. Conforme Batista et al. (2007), no entanto, estas pesquisas empregaram, na sua maioria, cascas de espécies de coníferas como spruce (*Picea orientalis*), Douglas-fir (*Pseudotsuga taxifolia*), cedar (*Cedrus libani*) e com menor intensidade a casca de espécies de angiospermas monocotiledôneas, como *Populus* sp. Em determinadas pesquisas foram alcançadas melhorias nas propriedades físico-mecânicas dos aglomerados confeccionados com a adição de cascas de *Pinus brutia*.

De acordo com Maloney (1993), a casca pode e tem sido usada em pequenas quantidades para a produção de aglomerados. Brito et al., (2005) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus elliottii* com acréscimo de casca de *Eucalyptus pellita*, e demonstraram que a adição de até 10% de casca é tecnologicamente possível na confecção de aglomerados.

Durante a fabricação do painel aglomerado, vários são os fatores que podem influenciar diretamente em sua qualidade além das propriedades particulares da madeira utilizada, como a resina sintética, a prensagem do colchão, o modo como este é executado, a temperatura e tempo de prensagem. Sendo assim, a prensagem irá determinar a espessura e a

densidade final do painel, com auxílio da temperatura para transferir calor, responsável pela cura do adesivo, obtendo assim, a solidificação do mesmo (LABAT & GONÇALVES, 2008).

É importante também, ter o conhecimento do teor de umidade das partículas de madeira, pois quanto mais secas estas estiverem, menor será o tempo de prensagem, visto que pouca umidade terá de ser retirada. No momento em que terminada esta etapa, o painel tem de ser resfriado e climatizado. Nesta fase, o mesmo terá sua umidade homogeneizada por toda sua superfície e espessura com o intuito de impedir tensões e deformações internas, obtendo-se assim, um produto final plano.

2.5 Resinas que contêm formaldeído em sua composição

O adesivo ureia-formaldeído (UF) foi composto por B. Tollens em 1844, e estruturado como resina para colagem de madeira pela Companhia IG (Alemanha), em 1929 (CARVALHO, 2016).

Essa resina é composta principalmente de ureia e formaldeído, sendo a ureia produzida pela reação de dióxido de carbono e amônia. O formaldeído é oriundo da oxidação do metanol preparado a partir de monóxido de carbono e hidrogênio, ou de petróleo. É largamente utilizada no mundo na indústria de painéis de madeira, mais de 90% das indústrias nacionais e internacionais fazem uso dessa resina, pelo seu bom custo benefício, e outras vantagens tais como rápida polimerização à quente, facilidade de utilização, disponibilidade e resistência. Entretanto, a reação entre a ureia e o formaldeído é reversível, podendo ser susceptível à degradação hidrolítica na presença de água e/ou ácidos, principalmente em temperaturas moderadas e elevadas proporcionando assim uma baixa estabilidade dimensional aos painéis e limitando sua utilização à aplicações internas (MARGOSIAN, 1995 ; RAZERA, 2006).

A UF apresenta coloração branca leitosa, contendo sólidos na ordem de 60 a 70%, também podendo ser comercializada na forma de pó. Sua polimerização ocorre em duas etapas principais: a primeira, com adição de um catalisador alcalino (formação methylol-ureias) e a segunda, de um catalisador ácido (formação metileno-ureia). A viscosidade é importante, pois por meio desta que será controlada a reação de polimerização, que ocorre entre 400 a 1000cP, a 25°C, e quando o nível de viscosidade necessário é alcançado, a alcalinização da resina é interrompida (NUNES, 2008).

A UF pode ser misturada com melamina ou outro adesivo mais durável. Na forma de pó é diluída em água, catalisadores ou extensores para melhorar a sua pulverização e distribuição sobre as partículas de madeira (CLOUTIER, 1998).

Os adesivos fenol-formaldeído (FF) resultam da condensação do fenol e do formaldeído em meio alcalino (pH>7,0). A FF apresenta um custo mais elevado que a UF. É um adesivo bastante resistente à água, sendo utilizado principalmente na fabricação de painéis estruturais que requerem alta resistência a umidade, tais como OSB, waferboards e flakeboards (IWAKIRI, 2005)

Os adesivos Melamina-Formaldeído (MF) são classificados como intermediários entre a ureia-formaldeído (UF) e o fenol-formaldeído (FF). Entretanto, a MF apresenta um alto custo (3 a 4 vezes maior que a UF, e 2 vezes maior que a FF) e uma baixa capacidade de armazenamento (MACEDO, 2014).

Os adesivos Resorcinol-Formaldeído (RF) são adesivos que se polimerizam à temperatura ambiente, com catalisador, utilizado na produção de vigas laminadas. O resorcinol é uma substância fenólica de reatividade muito mais elevada que o fenol. Por

causa do alto custo de produção, geralmente é misturado na mesma proporção com o fenol, com a adição de paraformaldeído momentos antes da aplicação (IWAKIRI, 2005).

Os Tanino-Formaldeído (TF) são produzidos com taninos provenientes da casca ou da madeira de algumas espécies. Poucas espécies apresentam concentrações suficientemente altas de tanino para serem viáveis comercialmente, como a acácia-negra (*Acacia mearnsii*), por exemplo. Entre as limitações do tanino, quando comparado aos adesivos sintéticos fenol, estão a alta viscosidade, disponibilidade limitada, fonte inconsistente e conseqüentemente reatividade inconsistente, e alto custo (TEODORO, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção de material madeira e casca

As cascas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* foram coletadas na Fazenda Nova Monte Carmelo, localizada em Estrela do Sul, MG, pertencente a empresa Duratex. Cinco árvores foram escolhidas aleatoriamente, em dois talhões, com diâmetro à altura do peito (DAP) variando de 15 a 40 centímetros. A seguir, as árvores foram marcadas e suas cascas removidas com auxílio de um facão, tendo como padrão à retirada das cascas do DAP até a base das árvores em pé. O material foi encaminhado ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, onde foi fragmentado em moinho de martelo, peneirado e armazenado.

A madeira utilizada na manufatura dos painéis foi proveniente de duas árvores da espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea* procedentes de um plantio localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica - RJ. O povoamento florestal dispunha de idade estimada de 27 anos por ocasião da coleta. Foi realizada uma seleção prévia buscando identificar os indivíduos aptos para o corte, isto é, os que mostravam-se, visivelmente, numa boa condição fitossanitária. As duas árvores apresentaram DAP aproximadamente de 20 cm.

3.2 Determinação da densidade básica e aparente da madeira e da casca

Para determinação da densidade da madeira, amostras de 2,5 cm de espessura foram retiradas ao longo do tronco nas posições 0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% (topo) e à altura do DAP (1,30 m do solo) usando a metodologia de imersão em água, segundo Vital (1984).

Posteriormente, foram obtidas amostras para determinação da densidade aparente a 12% nas dimensões 2 x 2 x 3 cm. Essas amostras foram acondicionadas em sala de climatização e após a estabilização determinou-se o volume, utilizando o método de deslocamento em mercúrio (Hg), conforme Vital (1984). Dessa forma, com base na massa e volume de cada amostra, calculou-se a densidade aparente da madeira.

A densidade aparente da casca foi realizada também pelo método da imersão em água, utilizando amostras da mesma de forma aleatória. A densidade básica da casca foi feita através da saturação das amostras de casca, e posteriormente estas foram secas em estufa. Sendo assim, com esses dados, foi possível, através do cálculo do teor máximo de umidade, chegar à densidade básica da casca.

$$T \text{ máx} = \frac{M_s - M_{SE}}{M_{SE}} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

T máx = Teor máximo de umidade (%);

Ps = massa da casca saturada (g) e

Pse = massa da casca totalmente seca (g).

3.3 Caracterização química da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

A caracterização química da casca foi realizada de acordo com os métodos de análises químicas descritos por Abreu et al. (2006) que foram adaptados das normas ASTM D 1105 e D 1106. Foram determinados os teores de extrativos, de lignina de Klason, de holocelulose e de α -celulose, além do pH e capacidade tampão. As análises foram realizadas em triplicata.

3.3.1 Teor de extrativos totais da casca

Três amostras de casca (15 g) absolutamente seca foram transferidas para um extrator de tipo “Soxhlet”, seguindo uma escala eluotrópica de ordem crescente de polaridade dos seguintes solventes: etanol:ciclohexano (1:2), acetato de etila, e metanol, por 24 h para cada solvente e, em seguida, concentrado em um rotavapor. O teor de extrativos totais foi obtido a partir da diferença entre a massa inicial seca antes e depois de passar pelo processo de extração, considerando-se a quantidade de cascas (base seca) empregada na extração, em porcentagem.

3.3.2 Teor de lignina de Klason

Aproximadamente 300 mg da amostra (base peso seco) de casca livre de extrativo foram adicionadas em três tubos de ensaio, respectivamente, e em seguida adicionados 3mL de ácido sulfúrico (72%) em cada tubo sendo cada amostra homogeneizada por agitação contínua durante 1 minuto. Após este procedimento, o conteúdo foi conservado por 1 h entre 25 e 30 °C, agitando periodicamente.

As misturas foram transferidas cada uma para um balão de 250 mL e diluídas em solução de ácido sulfúrico, adicionando-se 84 mL de água destilada, permanecendo-se em refluxo por 4 h, e depois em repouso para sedimentação do resíduo.

Após o período de repouso, a solução foi pipetada e sendo seu resíduo lavado com 500 mL de água destilada quente em um funil de placa sinterizada. Após a lavagem, os conjuntos funil/lignina foram secos em estufa a 103 ± 2 °C até peso constante, registrando-se a seguir a massa de cada funil mais a lignina em balança analítica, com precisão de 0,0001 g. As porcentagens das amostras foram obtidas pela relação entre a massa seca do resíduo pela massa da amostra inicial das cascas.

3.3.3 Teor de holocelulose

Foram adicionadas 2,5 g de amostra de casca livre de extrativos e totalmente seca, em 3 erlenmeyers, acrescentando-se a seguir 8 mL de água destilada quente, 0,5 mL de ácido acético e 1 g de clorito de sódio. Os mesmos foram vedados e as misturas foram aquecidas em banho-maria a 70 °C, e após 60 minutos, 0,5mL de ácido acético e 1 g de clorito de sódio foram adicionados às amostras. Até cerca de 6 h foram adicionados a cada 1 h,

sucessivamente, a mesma quantidade das substâncias sob agitação com um bastão até quando observar-se que as fibras estão completamente separadas da lignina no processo de cloração. Após esse período, as amostras reacionais foram mantidas em repouso sem adição de qualquer reagente durante 24 h.

As amostras foram filtradas e lavadas com água destilada sob vácuo até a cor amarela e odor de cloro desaparecer completamente e então os conjuntos funil/holocelulose foram secos em estufa a 103 ± 2 °C até peso constante, sendo antes colocados em um dessecador por 30 minutos e não havendo mais diferença entre as pesagens, obteve-se a massa de cada funil mais a holocelulose em balança analítica, com precisão de 0,0001 g. As porcentagens das amostras foram obtidas pela relação entre a massa seca do resíduo pela massa da amostra inicial da casca.

3.3.4 Teor de α -celulose e hemicelulose

Foram pesadas 2 g de amostras obtidas a partir da holocelulose seca foram colocadas respectivamente em três bechers com 25 mL de solução de NaOH a 17,5% e cobertos com vidro relógio e mantidos a temperatura aproximada de 20 °C em banho-maria. As amostras foram manipuladas com um bastão de vidro após 2 minutos.

Após 5 minutos, foram adicionados mais 5 mL de NaOH a 17,5%, agitando-as misturas até que todo o material estivesse dissolvido. A partir daí, a mistura reacional foi mantida por 30 minutos em repouso.

Foram adicionados 33 mL de água destilada a 20 °C, agitando-as e mantendo-as por 1h. Em seguida sob vácuo, as amostras reacionais foram filtradas e lavadas com 100 mL de NaOH a 8,3% e em seguida com água destilada. No próprio filtro, foram colocados mais 15 mL de ácido acético a 10% à temperatura ambiente, aguardando-se 3 minutos e em seguida, lavadas com água destilada sob vácuo até a retirada de todo ácido acético, restando o resíduo celulósico e levadas a estufa a 103 ± 2 °C por 24 h até massa constante, sendo antes colocadas em um dessecador por 30 minutos. Não havendo mais diferença entre as pesagens, obteve-se a massa de cada funil mais a α -celulose em balança analítica, com precisão de 0,0001 g.

As porcentagens das amostras foram obtidas pela relação entre a massa seca do resíduo pela massa da amostra inicial da madeira. O teor de hemicelulose foi obtido pela diferença entre a holocelulose e a α -celulose.

3.3.5 pH e capacidade tampão da casca

O pH e a capacidade tampão foram determinados a partir de três amostras mediante solubilização de 5 g de partículas (base seca) da casca em 150 mL de água destilada, sob refluxo (100 °C) por 20 minutos e à temperatura ambiente por 24 h.

Após calibração do pH-metro digital com soluções tampão 4 e 7, 50 mL de extratos aquosos provenientes das cascas foram postos em um bécher e mantidos sob agitação por 5 minutos.

O pH inicial foi obtido e, posteriormente, os extratos foram titulados com solução de NaOH 0,001N até pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol/L, e transformados em mmol NaOH/5g.

3.4 Extração do tanino das cascas de pinus e caracterização química

As cascas foram fragmentadas em moinho de martelo, sendo em seguida utilizadas para obtenção dos taninos. Para as extrações foram tomadas 10 g de casca (base seca), sendo

estas colocadas em um balão de 500 mL de capacidade, sendo posteriormente acrescentado 150 mL de água destilada.

Esta solução foi aquecida à 80 °C em manta térmica sob refluxo, por um período de 2 horas. Depois, este material foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado, com auxílio de bomba de vácuo. O filtrado, em seguida, foi seco em estufa a 103° ± 2°C até secagem completa, quando então o material foi moído, para se obter o extrato em forma de pó.

3.4.1 Determinação do teor de polifenóis do tanino através da reação de Stiasny

A determinação foi feita com base na reação de Stiasny (WISSING, 1955). A determinação foi realizada da seguinte forma: pesou-se 0,25 gramas de extrato (base seca) em um balão de fundo chato de 250 mL, adicionando-se em seguida 50 mL de água destilada, 5 mL de ácido clorídrico concentrado e 10 mL de formaldeído (37%).

O material foi mantido aquecido sob refluxo em manta térmica por um período de 30 minutos. Após este período, o material será filtrado em cadinho de vidro sinterizado com auxílio de uma bomba de vácuo, lavando-se o precipitado com água quente e levando-o a estufa a 103 ± 2°C até peso constante.

A determinação do Número de Stiasny será feita de acordo com a seguinte fórmula:

$$NS = \frac{MP}{MT} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

NS= Número de Stiasny (%);

MP= Massa seca do precipitado (g) e

MT= Massa do extrato tânico (g).

3.4.2 Determinação do rendimento em extrato, rendimento em taninos e rendimento em não-taninos

Com base na massa de cascas empregada e massa de sólidos (extratos) obtida, calcula-se o rendimento em extrato, em percentagem, conforme a fórmula abaixo:

$$RE (\%) = \frac{MS}{MC} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

RE= Rendimento em extrato (%);

MS= Massa de sólidos (g) e

MC= Massa de cascas (g).

Com base no teor de polifenóis condensados, calcula-se o rendimento em taninos da seguinte forma:

$$RT(\%) = \frac{NS \times RE}{100} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

RT= Rendimento em taninos (%);

NS= Número de Stiasny (%) e

RE= Rendimento em extrato(%).

Para o cálculo de rendimentos em não taninos usa-se a seguinte fórmula:

$$RNT(\%) = RE - RT \quad (\text{Equação 5})$$

em que:

RNT= Rendimentos em não taninos (%);

RE= Rendimento em extrato (%) e

RT= Rendimento em taninos (%).

3.5 Propriedades da resina Ureia-Formaldeído

Na determinação das propriedades da resina ureia-formaldeído foram avaliadas as seguintes propriedades: viscosidade, teor de sólidos, tempo de formação de gel e pH. Para cada análise foram realizadas três repetições.

3.5.1 Determinação da viscosidade

A viscosidade foi determinada utilizando-se copo Ford nº4 (ASTM D-1200, 1994). Aproximadamente 130 mL de solução de tanino serão colocadas no copo e o tempo necessário para o escoamento da solução pelo copo foi registrado. O valor da viscosidade é obtido de acordo com a equação.

$$V = (3,82 \times t - 17,28) \times d, \quad (\text{Equação 6})$$

em que:

V= viscosidade expressa em cP;

t = tempo de escoamento (em segundos) e

d= densidade da solução (g/cm^3).

3.5.2 Determinação do teor de sólidos

A determinação do teor de sólidos foi feita de acordo com Brito (1995). Primeiramente, foram pesadas cinco gramas da resina ureia-formaldeído, e colocados em cadinhos, posteriormente levados à estufa por 24 horas, à temperatura de 103 ± 2 °C. O teor de sólidos foi calculado através dos pesos úmidos (antes da secagem em estufa) e seco (posteriormente à secagem em estufa) com a utilização da Equação 7:

$$TS = \frac{Ps}{Pu} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

em que:

TS = Teor de sólidos (%);

Pu = Peso úmido (inicial) (g) e

Ps = Peso seco (g).

3.5.3 Determinação do tempo de formação de gel

Uma quantidade de 10 g da resina ureia-formaldeído foi colocada em um tubo de ensaio. Em seguida, adicionou-se uma solução de formaldeído a 37% (catalisador) na proporção de 20% sobre o teor de sólidos contidos na solução do extrato.

A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro em banho-maria à temperatura de 90°C até o ponto de endurecimento. O tempo necessário para que a mistura atingisse à fase gel expressa o tempo de formação de gel.

3.5.4 Determinação do pH

O pH da resina ureia-formaldeído foi determinado em de pH-metro digital, da marca QUIMIS Aparelhos Científicos LTDA, à temperatura ambiente. O valor do pH foi registrado após um tempo aproximado de 4 minutos de contato do eletrodo do equipamento com a solução.

3.6 Fabricação dos Painéis Aglomerados

Para atender aos objetivos da pesquisa, visa-se produzir painéis de média densidade, assim, todo processo produtivo ocorreu visando obter a densidade final do painel dentro de tais limites e classificados pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 14810, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2013) como P2, ou seja, painéis não estruturais para uso interno em condições secas.

3.6.1 Obtenção de partículas de madeira e da casca

As árvores foram cortadas em toretes, sendo em seguida seccionados em discos de aproximadamente 5,0 cm de espessura visando a geração das partículas. O processamento dos discos ocorreu inicialmente em um gerador de partículas, onde originaram partículas tipo strand, cuja espessura é padronizada e em seguida estas foram levadas ao moinho de martelo que gerou partículas tipo flake.

As partículas foram secas ao ar, onde atingiram um teor de umidade aproximado de 13%. Foram classificadas em um peneirador mecânico para retirada dos finos, sendo selecionadas para confecção dos painéis, as partículas que passaram pela peneira de 4,1 mm e ficaram retidas na peneira de 0,49 mm.

Depois de peneiradas, as partículas foram secas em estufa a temperatura $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingirem a umidade média de 6%.

As cascas in-natura foram levadas ao moinho de martelo, trituradas, e posteriormente peneiradas. Foram então, utilizadas a partir deste processo, as partículas com espessura entre 2 a 4mm.

As partículas foram secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até obtenção de umidade média de 3%.

3.6.2 Produção de painéis

Após o cálculo dos componentes para produção dos painéis em cada tratamento, as partículas foram acondicionadas em um tambor rotatório para aplicação do adesivo misturado ao catalisador, sendo sua aplicação por aspersão, com o auxílio de uma pistola pneumática buscando-se uma distribuição uniforme do adesivo sobre as superfícies de todas as partículas.

Foi realizada a formação do colchão de partículas manualmente, utilizando-se o formador de partículas de madeira com dimensões de 40 x 40 x 20 cm. Assim, foi realizada uma pré-prensagem manual para evitar a perda de partículas na borda do colchão no momento do transporte para a prensa hidráulica, com separadores com espessura de 1,27 cm, composta por pratos planos e horizontais com aquecimento elétrico.

Após a produção, os painéis foram acondicionados em sala de climatização com umidade relativa de 65±5% e temperatura de 20±3 °C, até atingirem a umidade de equilíbrio, seguindo para a retirada dos corpos-de-prova.



Figura 1. Painéis aglomerados confeccionados.

3.6.3 Delineamento Experimental

A produção dos painéis foi realizada com o modelo experimental apresentando na Tabela 2.

Tabela 2. Composição dos tratamentos para variações de partículas, tempo de prensagem e temperatura.

Tratamento	Composição do Painei (%)		T* (°C)	T** (min)
	Partícula Madeira	Partícula Casca		
1	100	0		
2	95	5	140	
3	90	10		7
4	85	15	160	
5	80	20		

Onde: T* = temperatura de presnsagem e T** = tempo de prensagem.

Para a fabricação dos painéis (Tabela 2) foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial 5 x 2, ou seja, contendo cinco composições de partículas, e

duas temperaturas de prensagem, com três repetições em cada tratamento, totalizando 30 painéis.

Os seguintes parâmetros foram considerados na produção dos painéis:

- Dimensões dos painéis: 40 x 40 x 1,27 cm
- Densidade nominal dos painéis: 0,70 g/cm³
- Pressão da prensagem: 3,92 MPa
- Tempo de fechamento: 45 s
- Umidade das partículas: 6 %
- Conteúdo de resina (% base peso seco): 10%
- Catalisador: solução de sulfato de amônia (NH₄)₂SO₄ a 24% em proporção de 2% sobre a massa total de sólidos.

3.6.4 Ensaios tecnológicos dos painéis produzidos

Após a climatização, os painéis foram cortados (Figura 2) de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2013) e assim obtiveram-se os corpos de prova para posteriormente realizar os ensaios físicos, mecânicos e químicos de acordo com as normas específicas, adaptadas quando necessário e/ou metodologias indicadas em literatura.

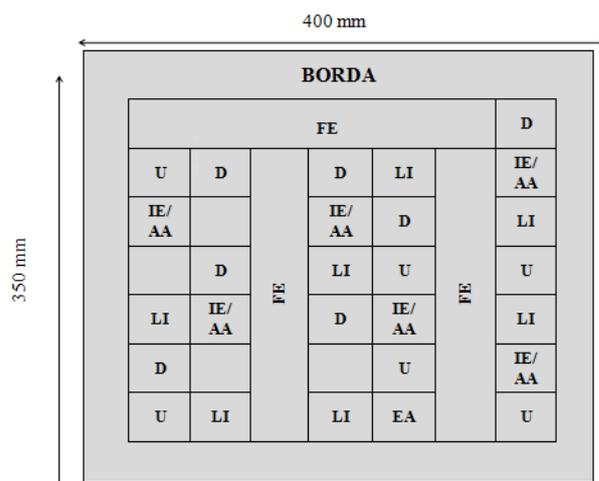


Figura 2. Disposição dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos no painel adaptado de SILVA, 2015. Em que: FE – flexão estática (300x50 mm); LI – ligação interna (50x50 mm); D – densidade do painel (50x50 mm); U – umidade do painel (50x50 mm); IE/AA – inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24h (50x50 mm).

3.6.4.1 Ensaios físicos

Os ensaios físicos realizados nos painéis foram:

- Densidade do painel** - NBR 14810 (ABNT, 2013)
- Umidade de equilíbrio** - NBR 14810 (ABNT, 2013)
- Inchamento em espessura (IE) após 2 e 24h** - NBR 14810 (ABNT, 2013); e **absorção de água (AA) após 2 e 24 h** - NBR 14810 (ABNT, 2006)



Figura 3. Amostras sendo mensuradas durante teste de IE/AA.

3.6.4.2 Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com a norma NBR 14810 (ABNT, 2013) em uma máquina universal de ensaios com aquisição de dados automatizada, da Marca Contenco.

- a) **Resistência à flexão estática** (Módulo de Ruptura - MOR e Módulo de Elasticidade - MOE)
- b) **Ligação interna – LI** (Resistência à tração perpendicular ao plano dos painéis)

As Figuras 4 e 5 ilustram os ensaios mecânicos para cálculos do MOR, MOE e LI.



Figura 4. Ensaio mecânico para realização dos cálculos de MOE e MOR.



Figura 5. Ensaio mecânico para realização dos cálculos de Ligação Interna.

3.6.4.3 Ensaio químicos

a) pH e capacidade tampão dos painéis

O pH e a capacidade tampão foram determinados a partir de três amostras da cada tratamento, mediante solubilização de 5 g do painel, moído anteriormente, em 150 mL de água destilada, sob refluxo (100 °C) por 20 minutos e à temperatura ambiente (23 °C) por 24 h. 50 mL destes extratos foram colocados em um bécher e mantidos sob agitação por 5 minutos. Após calibração do pH-metro digital com soluções tampão 4 e 7, o pH inicial foi obtido e, posteriormente, os extratos foram titulados com solução de NaOH 0,001N até pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol/L, posteriormente transformados em mmol NaOH/5g.

b) Determinação da concentração de formaldeído da solução aquosa

A avaliação da emissão de formaldeído foi realizada, considerando-se a Norma Padrão Europeia, EN 717-3, ICs 70.060.20.

Este padrão faz parte de uma série que especifica métodos para determinar o potencial de formaldeído ou a emissão de formaldeído a partir de painéis à base de madeira. O teor de formaldeído da solução aquosa foi determinado fotometricamente. A determinação baseia-se na reação de Hantzsch em que o formaldeído aquoso reage com íons de amônio e acetilacetona para produzir diacetildihidrolutidina (DOL), que tem um máximo de absorção a 412 nm. A reação é específica do formaldeído.

As amostras para avaliação da concentração de formaldeído foram obtidas após extração de 50 g do aglomerado moído com 100 mL de água destilada, sob refluxo por 1h. Após a extração, as amostras foram filtradas, sendo o filtrado utilizado para a determinação da concentração de formaldeído.

Reagentes

-Solução de acetilacetona: 4 mL de acetilacetona são adicionados a um balão volumétrico de 1000 mL.

-Solução de acetato de amônio: 200 g de acetato de amônio são dissolvidos com água destilada num balão volumétrico de 1000 mL.

Procedimento

10 mL dos extratos das amostras dos painéis foram pipetados em um frasco de 50 mL, sendo adicionados 10 mL de solução de acetilacetona e 10 mL de solução de acetato de amônio. O frasco foi tampado, agitado e aquecido durante 15 minutos em banho-maria de (+- 40 °C). A solução agora amarelo-esverdeada foi arrefecida até à temperatura ambiente protegida da luz (cerca de 1 hora) e a absorvância desta solução foi determinada com um espectrofotômetro a um comprimento de onda de 412 nm, fazendo-se um ensaio em branco com água destilada. O valor em branco deve ser tomado em consideração nas determinações da concentração de formaldeído.

Curva de calibração

A curva de calibração foi produzida a partir de uma solução padrão de formaldeído, cuja concentração foi determinada por titulação iodométrica.

Solução padrão de formaldeído

Reagentes:

- Solução padrão de iodo $c(I_2) \Rightarrow 0,05 \text{ mol/L}$
- Solução de tiosulfato de sódio $c(Na_2 S_2 O_3) = 0,1 \text{ mol/L}$
- Solução padrão de hidróxido de sódio $c(NaOH) = 1 \text{ mol/L}$
- Solução padrão de ácido sulfúrico $c(H_2 SO_4) = 1 \text{ mol/L}$
- solução de amido a 1% m/m

2,5 g de solução de formaldeído (concentração de 35% a 40%) foram diluídos com água destilada num balão volumétrico até completar 1000 mL. Determinou-se a concentração exata de formaldeído como se segue:

Misturou-se 20 mL da solução padrão de formaldeído com 25 mL de solução de iodo e 10 mL de solução de hidróxido de sódio. Após 15 min e protegido da luz, foram adicionados 15 mL de solução de ácido sulfúrico. Sendo titulado novamente o iodo em excesso com a solução de tiosulfato de sódio. Perto do final da titulação foi adicionado algumas gotas da solução de amido como um indicador. Foi realizado paralelamente um ensaio em branco com 20 mL de água destilada.

Cálculo do teor de formaldeído:

$$c(HCHO) = (V_0 - V) \times 15 \times c(Na_2 S_2 O_3) \times 1000/20 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$c(HCHO)$ é a concentração de formaldeído, mg/L

V é o volume da solução de titulação de tiosulfato, mL

V_0 é o volume de titulação do tiosulfato para o branco, mL

$c(Na_2 S_2 O_3)$ é a concentração da solução de tiosulfato de sódio, mmol/L

NOTA: 1 mL de solução de tiosulfato 0,1 mol/L corresponde a 1 mL de solução de iodo 0,05 mol e 1,5 mg de formaldeído.

Solução de calibração de formaldeído

Utilizando a concentração determinada de formaldeído, foi calculado o volume da solução de formaldeído que conterà 15 mg de formaldeído. Transferindo então, este volume, utilizando uma micro bureta, para um balão volumétrico de 1000 mL e completado até a marca com água destilada. 1 mL desta solução de calibração contém 15 µg formaldeído.

Determinação da curva de calibração

Foram pipetados zero, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 mL de solução de calibração de formaldeído num balão volumétrico de 100 mL e completado até a marca com água destilada. 10 mL de cada diluição foi analisada fotometricamente pelo mesmo procedimento descrito anteriormente e feito com as amostras. Os valores de absorvância foram representados graficamente em relação às concentrações de formaldeído (c) (entre 0 e 0,015 mg/mL). A inclinação (f) do gráfico foi determinada graficamente.

3.7 Análise dos Dados

Os dados provenientes das análises químicas da casca e de suas propriedades foram dispostos em planilha e analisados por meio estatística simples, com média e desvio padrão, já que se trata de um conjunto em triplicatas do mesmo universo amostral, sendo apresentados em gráficos e tabelas para ilustração.

Já para as análises tecnológicas dos painéis, utilizou-se o programa Statistica 7. Atendendo as pressuposições da análise de variância, normalidade e homogeneidade de variâncias, foi utilizado o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Não atendendo às pressuposições, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para comparações de médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade Básica e Aparente da Madeira e da Casca

Os valores médios de densidade básica e aparente da madeira e da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea* são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias da densidade básica e aparente da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com 27 anos e da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Partícula	Densidade Básica (g/cm ³)	Densidade Aparente	TU (%)
Madeira	0,54	0,60	12,0
Casca	0,21	0,22	18,6

Onde TU se refere ao teor de umidade.

Foi observado que o valor médio de densidade básica encontrado está na faixa recomendada por Maloney (1993), para a produção de painéis de partículas, em que são recomendadas madeiras com densidade básica até 0,60 g/cm³, obtendo assim, melhores resultados em sua qualidade final.

Carvalho et al. (2015) encontraram densidade básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 0,49 g/cm³, sendo menor que o encontrado neste trabalho. Já Rios et al. (2016), encontraram para *Pinus patula* densidade de 0,564 g/cm³, sendo mais próximo. Assim como o observado por Moraes et al. (2015), que encontraram valor de densidade para madeira de *Pinus taeda* de 0,519 g/cm³.

Furtado et al. (2010) encontraram densidade básica para casca de *Pinus* spp entre 0,25 a 0,29 g/cm³, sendo valores um pouca acima do encontrado desta pesquisa. Já Ganjgunte et al. (2003) observaram para casca de *Pinus radiata* com 4 anos de idade, densidade de 0,20 g/cm³, valor abaixo do encontrado neste trabalho.

4.2 Caracterização Química da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Os valores médios para as caracterizações químicas da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização química da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Caracterização da Partícula Casca	Média
Extrativos totais	21,81 % (7,46%, 8,37% e 5,98%)*
Lignina	66,35 %
Holocelulose	36,16 %
α -celulose	16,04 %
Hemicelulose	20,12 %
pH	1,73
Capacidade tampão	0,10 (mmol NaOH/100g de casca seca)

*extração realizada através dos seguintes solventes: etanol:ciclohexano, acetato de etila, e metanol respectivamente.

Foram encontrados por Souza e Souza (2015), para casca de *Pinus taeda* valor médio de 6,77 % de celulose, 6,42 % de hemicelulose e 43,3 % de lignina, sendo estes valores abaixo do encontrado neste trabalho.

Orlando et al. (2002), encontraram para casca de *Pinus* spp 52,4% de holocelulose, 28,0% de α -celulose, 18,0% de hemicelulose, 17,6% de lignina e 28,0% de extrativos, sendo, com exceção dos valores de hemicelulose e lignina, todos resultados acima do encontrado neste trabalho.

Fradinho et al. (2002), observaram para casca de *Pinus pinaster* valor médio de lignina de 33,2%, 17% de extrativos e 24% de celulose, sendo com exceção da celulose, valores abaixo do encontrado nesta pesquisa.

Harun e Labosky (1985), encontraram para casca de *Pinus strobus* e *Pinus resinosa*, 50,0% e 42,2 % de lignina, 5,7% e 5,8 % de extrativos e 40,3% e 43,9% de holocelulose respectivamente, assim sendo, somente os valores de holocelulose se encontram acima do observado deste trabalho.

4.3 Teores de polifenóis, rendimento em extrativos, taninos e não taninos

A Tabela 5 apresenta os valores médios de teores de polifenóis, extrativos, taninos e não taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Tabela 5. Propriedades dos extratos da casca de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Propriedades dos extratos da casca	Média
Teor de polifenóis (Número de Stiasny)	19,27 %
Teor de sólidos totais	23,98%
Taninos	4,54 %
Não-taninos	19,44 %

Vieira et al. (2011) encontraram para casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* valores médios do Número de Stiasny 65,56 %, de extrativos 24,84 %, de taninos 16,24 % e de não taninos 8,60 %, podendo ser observado Número de Stiasny superiores ao encontrado neste trabalho; porém, teor de extrativos, de taninos e não taninos, próximos.

Carvalho et al. (2014) encontraram teor de polifenóis da casca de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* 75,2 %, sendo acima ao encontrado neste trabalho, porém encontraram teor de extrativos 10,2%, tanino 7,6 % e não-tanino 2,5 %, valores inferiores a este estudo.

Com tudo, foi visto por Vieira et al. (2014), valores de para casca de *Pinus oocarpa*, em extração com água destilada de 61,6 %, valor superior ao visto neste trabalho, assim como encontraram teor de extrativos 24,2 %, tanino 15,6 % e não-tanino 9,18 %, sendo o oposto ao encontrado neste estudo, exceto para teor de extrativos.

4.4 Propriedades da resina ureia-formaldeído

Os valores médios para as propriedades da resina Ureia-Formaldeído, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Médias das propriedades da resina Ureia-Formaldeído.

Propriedades da resina UF	Média
Viscosidade	255,35 cp
Teor de sólidos	63,35 %
Tempo de formação de gel	2,61 min
pH	6,4

Vieira et al. (2014), encontraram viscosidade de 524,45 cP, enquanto que Carvalho et al. (2014) observaram 267,1 cP, sendo este mais próximo ao encontrado neste trabalho. Já ao resultado referente ao teor de sólidos, Vieira et al. (2014) observaram o valor médio de 76,93 %, um pouco acima do visto nesta pesquisa. Com relação ao tempo de gel, Carvalho et al. (2014) encontraram um resultado de 2,63 minutos, semelhante ao visto nesse trabalho, assim como também foi encontrado por Vieira et al. (2014), sendo neste, visto o valor de 2,06 minutos.

Com tudo, o pH observado por Vieira et al. (2014) se encontra na faixa alcalina, sendo pH 8,03, e neste trabalho na faixa ácida como o esperado, assim como também foi encontrado por Almeida et al. (2014), onde observou pH 6,85.

4.5. Avaliação das propriedades tecnológicas dos Painéis

4.5.1 Propriedades físicas

4.5.1.1 Densidade dos painéis

Os valores médios para as densidade dos painéis aglomerados por tratamento, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Médias da densidade dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painel (%)		Densidade (g/cm ³)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de prensagem (°C) 140	160
1	100	0	0,65 A	0,61 A
2	95	5	0,65 A	0,59 A
3	90	10	0,63 A	0,65 A
4	85	15	0,61 A	0,59 A
5	80	20	0,60 A	0,54 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os valores médios de densidade das chapas prensadas à temperatura de 140°C se encontram na faixa de 0,60 g/cm³ a 0,65g/cm³ e os valores médios à temperatura 160°C se encontram na faixa de 0,54 g/cm³ a 0,65 g/cm³. Embora os painéis prensados à temperatura de 160°C apresentem densidade um pouco inferior que a temperatura de 140°C.

Carvalho et al. (2015), também encontraram densidade 0,67 g/cm³, mostrando que o observado neste trabalho se assemelha ao encontrado na literatura com relação a painéis confeccionados com apenas madeira de *Pinus* spp, significando que as misturas não influenciaram na densidade dos painéis.

A densidade do painel está associada a diversos fatores, a começar pela densidade da matéria-prima utilizada (madeira e/ou outros materiais lignocelulósicos) e outras variáveis relacionadas ao processo de fabricação, especificamente a taxa de compressão, o teor de umidade do colchão, tempo de prensagem. Posteriormente à sua fabricação, do mesmo modo que na madeira, a densidade do painel é um dos fatores que mais interfere na produtividade e na previsão de qualidade dos painéis produzidos (MELO, 2013).

Segundo Iwakiri (2005), os painéis aglomerados comerciais são geralmente fabricados com densidade entre 0,60 e 0,70 g/cm³. No entanto, madeiras mais densas geram painéis de maior resistência mecânica. Porém, painéis de maior densidade costumam apresentar menor estabilidade dimensional, uma vez que esta está associada às tensões de compressão liberadas após o processo de prensagem (MELO, 2013).

4.5.1.2 Umidade dos painéis

Os valores médios para o teor de umidade dos painéis aglomerados por tratamento, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Médias do teor de umidade dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painel (%)		Teor de Umidade (%)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	prensagem (°C) 160
1	100	0	10,62 (1,24) A a	9,68 (1,25) AB b
2	95	5	10,45 (1,24) A a	9,12 (1,26) A b
3	90	10	11,05 (1,23) A a	9,53 (1,26) AB b
4	85	15	10,75 (1,24) A a	9,93 (1,25) B b
5	80	20	10,76 (1,24) A a	10,17 (1,25) B a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se às médias transformadas.

O valor médio de umidade das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 10,73 %, não havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio de umidade das chapas prensadas à 160°C foi de 9,69%, havendo diferença entre as médias, sendo também, menores que as médias das chapas prensadas à 140°C. Os teores de umidade encontrados ficaram abaixo do valor esperado de 12%. É possível observar que a temperatura exerceu importante

função, visto que quando esta foi de 160 °C, foi verificado melhores resultados de teor de umidade, havendo diferença somente no tratamento 5 .

Carvalho et al. (2015), encontraram 11,9 % de teor de umidade para painéis de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e Morais et al. (2015), encontraram 12,84%, para painéis de *Pinus taeda*. Demonstrando desta forma, valores próximos aos deste trabalho, de forma que também obtiveram teor de umidade de acordo com o esperado.

4.5.1.3 Inchamento em espessura (IE) após 2 e 24h e absorção de água (AA) após 2 e 24h

Os valores médios para inchamento em espessura após 2 horas dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Médias do inchamento em espessura após 2 horas dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painei (%)		IE2h (%)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	prensagem (°C) 160
1	100	0	19,89 A a	23,47 AB a
2	95	5	18,76 A a	25,54 A b
3	90	10	18,72 A a	22,31 ABC a
4	85	15	20,27 A a	19,52 BC a
5	80	20	20,55 A a	17,08 C a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O inchamento em espessura representa uma das propriedades de maior importância no que diz respeito a estabilidade dimensional em painéis de madeira, podendo ser afetada pela matéria-prima utilizada, geometria das partículas, densidade dos painéis, teor de adesivo, teor de parafina, eficiência na aplicação de resina e tipo de prensagem (Dacosta et al., 2005).

O valor médio de inchamento em espessura em 2 horas das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 19,64%, não havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio de inchamento em espessura em 2 horas das chapas prensadas à 160°C foi de 21,58%, havendo diferença entre as médias, e sendo também estas maiores que as médias das chapas prensadas à 140°C. Dessa forma, observa-se que os valores médios de inchamento em espessura em 2 horas encontram-se abaixo do valor máximo de 35% estabelecido pela norma CS 236-66 (1968).

Carvalho et al. (2015), encontraram para painéis de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* valor médio de 31,0 % de inchamento em espessura em 2 horas. Rios et al. (2016), encontraram para painéis de *Pinus patula* um valor médio de 20,75% e para *Pinus* spp 20,64%. Morais et al. (2015), encontraram para painéis de madeira de *Pinus taeda* valor médio de 51%. Desta forma, a única pesquisa com resultado próximo ao encontrado neste trabalho, foi o dos autores Rios et al. (2016), sendo as demais com resultados superiores.

Os valores médios para inchamento em espessura após 24 horas dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Médias do inchamento em espessura após 24 horas dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painel (%)		IE24h (%)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	prensagem (°C) 160
1	100	0	28,40 A	28,98 A
2	95	5	25,00 A	30,05 A
3	90	10	26,41 A	32,07 A
4	85	15	26,97 A	27,01 A
5	80	20	26,64 A	23,55 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O valor médio de inchamento em espessura em 24 horas das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 26,68 %, não havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio de inchamento em espessura em 24 horas das chapas prensadas à 160°C foi de 28,33 %, havendo diferença entre as médias, e sendo também as mesmas maiores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

É possível verificar que no inchamento em espessura após 2 horas ocorreu a maiores alterações nas dimensões dos painéis, ou seja, após 24 horas observou-se pouco inchamento com relação à 2 horas, mostrando que todo o inchamento ocorre nas primeiras 2 horas, não havendo grandes alterações depois deste período de tempo.

Os valores obtidos encontram-se próximos aos encontrados por Rios et al. (2016), que obtiveram valores médios de inchamento em espessura após 24 horas, de 26,75 %, para *Pinus spp* e de 28,84% em painéis confeccionados com madeira de *Pinus patula*. Carvalho et al. (2015), encontraram valores mais elevados para painéis de *Pinus caribaea var. hondurensis*, sendo de 46,2 %. Morais et al. (2015), encontraram valores médios para painéis de *Pinus taeda* 57%, sendo também superiores aos encontrado por Rios et al. (2016) e os encontrados neste trabalho.

Os valores médios para absorção de água após 2 horas dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Médias de absorção de água após 2 horas dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Pannel (%)		AA2h (%)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	prensagem (°C) 160
1	100	0	73,69 (1,86) A	75,30 (1,87) A
2	95	5	74,35 (1,86) A	79,37 (1,90) A
3	90	10	85,66 (1,92) A	76,28 (1,87) A
4	85	15	74,55 (1,87) A	67,08 (1,82) A
5	80	20	77,94 (1,89) A	77,41 (1,89) A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se às médias transformadas.

O valor médio de absorção de água em 2 horas das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 77,24%, não havendo diferença significativa entre as. Já o valor médio de absorção de água em 2 horas das chapas prensadas à 160°C foi de 75,09%, também não havendo diferença entre as médias, e sendo também estas menores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

Rios et al. (2016), encontraram para painéis confeccionados com madeira de *Pinus patula* valores médios de absorção de água em 2 horas de 105,79 % e com madeira *Pinus spp* 113,31%. Moraes et al, (2015), encontraram para painéis de madeira de *Pinus taeda* de 89% e Carvalho et al. (2015), encontraram para painéis com madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* 192,8 %.

Os altos valores de absorção de água encontrados pelos pesquisadores citados neste trabalho, são em parte, devido às espécies de madeira utilizadas, onde estas apresentaram baixa densidade, fato que, segundo Iwakiri et al. (2005), proporciona uma liberação maior das tensões de compressão, pela alta razão de compactação gerada no momento da prensagem; por conseguinte, acarreta taxas maiores de absorção de água. Porém Brito (1995) destaca que os valores de absorção de água podem ser influenciados por uma gama de fatores, sendo estes; densidade dos painéis, eficiência na aplicação da cola e tipo de prensagem.

Mas existe também um outro fator que também colaborou para que os valores elevados tenham sido encontrados, foi a não adição de parafina, visto que sua incorporação em painéis de madeira aglomerada diminui, de maneira bastante expressiva, a higroscopicidade do material (RIOS et al., (2016). Santos et al., (2011), observaram em sua pesquisa, que com o incremento de 1% de parafina, houve uma redução de 55,50 % na absorção de água em 2 horas.

Os valores médios para absorção de água após 24 horas dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Médias da absorção de água após 24 horas dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Pannel (%)		AA24h (%)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	Temperatura de prensagem (°C) 160
1	100	0	84,89 (28,40) A	87,57 (28,98) A
2	95	5	88,46 (25,00) A	91,82 (30,06) A
3	90	10	98,11 (26,41) A	89,91 (32,07) A
4	85	15	88,76 (26,97) A	78,91 (27,01) A
5	80	20	93,30 (26,64) A	89,15 (23,55) A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey no nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se às médias transformadas.

O valor médio de absorção de água em 24 horas das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 90,70%, não havendo diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Já o valor médio de absorção de água em 24 horas das chapas prensadas à 160°C foi de 87,47%, também não havendo diferença entre as médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância, e sendo também estas menores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

Carvalho et al. (2015), encontraram para painéis de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* 129,0 % de absorção de água em 24 horas. Rios et al. (2016) encontraram para madeira de *Pinus patula* um valor médio de 118,50 %, e para *Pinus* spp 127,06%. Morais et al. (2015), observaram para painéis de *Pinus taeda* valor médio de 101%. Sendo assim, em todos os tratamentos realizados neste trabalho foram encontrados valores médios de absorção de água em 24 horas inferiores aos obtidos pelos pesquisadores citados.

4.5.2 Propriedades mecânicas

4.5.2.1 Resistência à flexão estática (Módulo de Ruptura - MOR e Módulo de Elasticidade - MOE)

Os valores médios para módulo de ruptura dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Médias do módulo de ruptura dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Pannel (%)		Módulo de Ruptura (N/mm ²)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	Temperatura de prensagem (°C) 160
1	100	0	12,17 A a	11,47 A a
2	95	5	10,82 AB a	11,63 A a
3	90	10	10,20 ABC a	11,98 A a
4	85	15	8,16 BC b	11,37 AB a
5	80	20	6,90 C b	8,43 B b

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A norma da ABNT NBR 14810-2 (2013), estabelece um valor mínimo para módulo de ruptura de 11 N/mm² para painéis aglomerados destinados a uso interior, sendo assim, os tratamentos T1, T6, T7, T8 e T9 encontram-se acima deste valor.

Sendo assim, o valor médio do módulo de ruptura das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 9,65 N/mm², havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio do módulo de ruptura das chapas prensadas à 160°C foi de 10,98 N/mm², havendo também diferença entre as médias, e sendo também estas maiores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

Foi verificado que a temperatura exerceu importante função sobre os painéis, visto que quando esta foi de 160 °C, foi observado melhores resultado de módulo de ruptura, havendo diferença expressiva somente no tratamento 10. Esse resultado mostra também, que a casca pouco interfere na resistência dos painéis, sendo possível seu uso em até 15%.

Rios et al. (2016), encontraram para painéis de madeira de *Pinus patula* valores médios de módulo de ruptura de 12,86 N/mm². Batista et al. (2007), encontraram para painéis confeccionados com 90% de *Pinus elliottii* engelm. e 10% de casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell valores médios de 10,36 N/mm². Para os painéis de *Pinus taeda*, Morais et al. (2015), encontraram valor médio de 10,70 N/mm². Sendo todos estes estudos com valores médios de módulo de ruptura próximos aos encontrados neste trabalho.

Os valores médios para módulo de elasticidade dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Médias do módulo de elasticidade dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Pannel (%)		Módulo de Elasticidade (N/mm ²)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de prensagem (°C) 140	160
1	100	0	1699,98 A a	1795,35 A a
2	95	5	1595,38 AB a	1591,89 AB a
3	90	10	1507,43 AB a	1772,53 AB a
4	85	15	1341,63 AB a	1937,71 AB b
5	80	20	1202,32 B b	1571,58 B a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A norma da ABNT NBR 14810-2 (2013), estabelece um valor mínimo para módulo de elasticidade de 1.800 N/mm² para painéis aglomerados destinados a uso interior, com isso foi possível verificar que somente o tratamento 5, prensado à temperatura de 160 °C, atendeu a este requisito, obtendo valor acima do mínimo.

Deste modo, o valor médio do módulo de elasticidade das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 1.469,348 N/mm², havendo diferença significativa entre as médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Já o valor médio do módulo de elasticidade das chapas prensadas à 160°C foi de 1.733,81 N/mm², havendo também diferença entre as médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância, e sendo também estas maiores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

É observado no módulo de elasticidade que a temperatura exerce importante função sobre os painéis, observando melhores resultados quando esta foi de 160 °C. Com relação à adição de casca, o melhor resultado foi o tratamento 9, que referente a 15% de adição da mesma.

Rios et al. (2016), encontraram para painéis de madeira de *Pinus patula* valores médios de módulo de elasticidade de 1345,87 N/mm². Batista et al. (2007), encontraram para painéis confeccionados com 90% de *Pinus elliottii* engelm. e 10% de casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. valores médios de 1653,90 N/mm². Morais et al. (2015) obtiveram melhores resultados em painéis de *Pinus* spp. com valores de 1.321,84 N/mm². Portanto, é possível verificar em todas as pesquisas acima citadas, que os valores de módulo de elasticidade ficaram próximos aos observados neste trabalho.

4.5.2.2 Ligação interna – LI (Resistência à tração perpendicular ao plano dos painéis)

Os valores médios para ligação interna dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Médias de ligação interna dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painel (%)		Ligação Interna (N/mm ²)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de 140	prensagem (°C) 160
1	100	0	0,41 (1,18) AB	0,47 (1,21) AB
2	95	5	0,45 (1,20) A	0,53 (1,24) A
3	90	10	0,47 (1,21) A	0,54 (1,24) A
4	85	15	0,47 (1,21) AB	0,41 (1,19) AB
5	80	20	0,38 (1,17) B	0,39 (1,18) B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses referem-se às médias transformadas.

A norma da ABNT NBR 14810-2 (2013), estabelece um valor para resistência à tração perpendicular, ou ligação interna, de 0,40 N/mm² para painéis aglomerados destinados a uso interior, sendo assim, foi observado neste trabalho que o tratamento 5 é o único com valor médio abaixo do estabelecido.

Dessa forma, o valor médio de ligação interna das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 0,44 N/mm², havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio de ligação interna das chapas prensadas à 160°C foi de 0,47 N/mm², havendo também diferença entre as médias, e sendo também estas maiores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

É observado que na ligação interna, a temperatura não interferiu nos resultados obtidos, porém a adição de casca causou efeito sobre a resistência à tração dos painéis, porém, nenhum resultado se encontra abaixo do requisito descrito pela norma da ABNT NBR 14810-2 (2013).

Os valores encontrados de LI foram superiores aos encontrados por Rios et al. (2016) que encontraram em painéis de madeira de *Pinus patula* valores de ligação interna superiores a 0,42 N/mm². Já Batista et al. (2007), encontraram valor médio de ligação interna para painéis com 90% de *Pinus elliottii engelm.* e 10% de casca de *Eucalyptus pellita F. Muell* de 0,19 N/mm².

4.5.3 Ensaio químicos

Os valores médios para pH dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Médias do pH dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painei (%)		pH	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de prensagem (°C) 140	160
1	100	0	1,66 A	1,48 A
2	95	5	1,51 AB	1,37 AB
3	90	10	1,57 AB	1,52 AB
4	85	15	1,29 AB	1,32 AB
5	80	20	1,36 B	1,29 B

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O valor médio do pH das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 1,48, havendo diferença significativa entre as médias. Já o valor médio do pH das chapas prensadas à 160°C foi de 1,40, havendo também diferença entre as médias, e sendo também estas menores que as médias das chapas prensadas à 140°C.

A medida que se aumentou o percentual de casca na composição dos painéis, foi observado que o pH reduziu gradativamente, tornando-se mais ácido. Este fato pode ser explicado pelo teor de extrativos encontrados na casca ser um pouco mais elevado do que aquele encontrado na madeira. Desta forma, o maior teor de extrativos geralmente contribui para um pH mais ácido (TRIANOSKI et al., 2013).

Os valores médios para a capacidade tampão dos painéis aglomerados segundo cada tratamento, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Médias da capacidade tampão dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painei (%)		Capacidade Tampão (mmol NaOH/100g material seco)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de prensagem (°C) 140	160
1	100	0	0,10 AB a	0,09 A b
2	95	5	0,09 A b	0,10 AB a
3	90	10	0,11 AB a	0,11 AB a
4	85	15	0,11 AB a	0,11 AB a
5	80	20	0,13 B a	0,12 B a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis.

O valor médio de capacidade tampão das chapas prensadas à temperatura de 140°C foi de 0,11 mmol NaOH/100g material seco, havendo diferença significativa entre as. Já o valor médio de capacidade tampão das chapas prensadas à 160°C foi de 0,11 mmol NaOH/100g material seco, havendo também diferença entre as médias, sendo, porém, as médias das chapas prensadas à 140°C e à 160°C iguais.

Os valores médios de concentração de formaldeído dos painéis nos diferentes tratamentos estão apresentados na Figura 6 e na Tabela 18.

Tabela 18. Médias da concentração de formaldeído dos painéis aglomerados por tratamento.

Tratamento	Composição do Painel (%)		Concentração de Formaldeído (mg/L)	
	Partícula Madeira	Partícula Casca	Temperatura de prensagem (°C) 140	160
1	100	0	0,0116 A a	0,0091 A a
2	95	5	0,0102 AB a	0,0100 AB a
3	90	10	0,0115 A a	0,0093 A a
4	85	15	0,0095 AB a	0,0088 AB a
5	80	20	0,0075 B b	0,0082 B a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, com relação à porcentagem de partícula casca, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, com relação à variação de temperatura de prensagem, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A faixa de concentração fica entre os valores de 0,0075mg/L a 0,012 mg/L, sendo estes considerados de médio a alto teor de formaldeído, conforme a curva de calibração do formaldeído (Figura 7). Nos painéis confeccionados com temperatura de prensagem de 140°C houve uma redução de concentração do primeiro para o segundo tratamento, seguindo de uma elevação para o terceiro e depois redução até o último tratamento.

Observa-se nos painéis confeccionados à temperatura de prensagem de 160°C um aumento da concentração do primeiro tratamento para o segundo, e uma redução gradual deste até o último tratamento. Isso indica que houve redução da concentração do teor de formaldeído entre os tratamentos com 0% de partícula casca e os com 20% de partícula casca.

Zhou et al. (2014) encontraram para painéis de madeira confeccionados com resina ureia-formaldeído, valor médio de formaldeído livre de 0,005 mg/L, valor abaixo do encontrado neste trabalho. Já Costa et al. (2013), observaram para painéis de madeira concentração de formaldeído livre de 0,01 mg/L, conferindo valor médio ao encontrado nesta pesquisa.

No entanto Zhang et al. (2015) analisaram concentração média de formaldeído emitido de 0,014 mg/L, sendo valor superior ao encontrado deste trabalho. Desta forma, este trabalho confere redução significativa da emissão de formaldeído nos painéis conforme aumento de partícula casca.

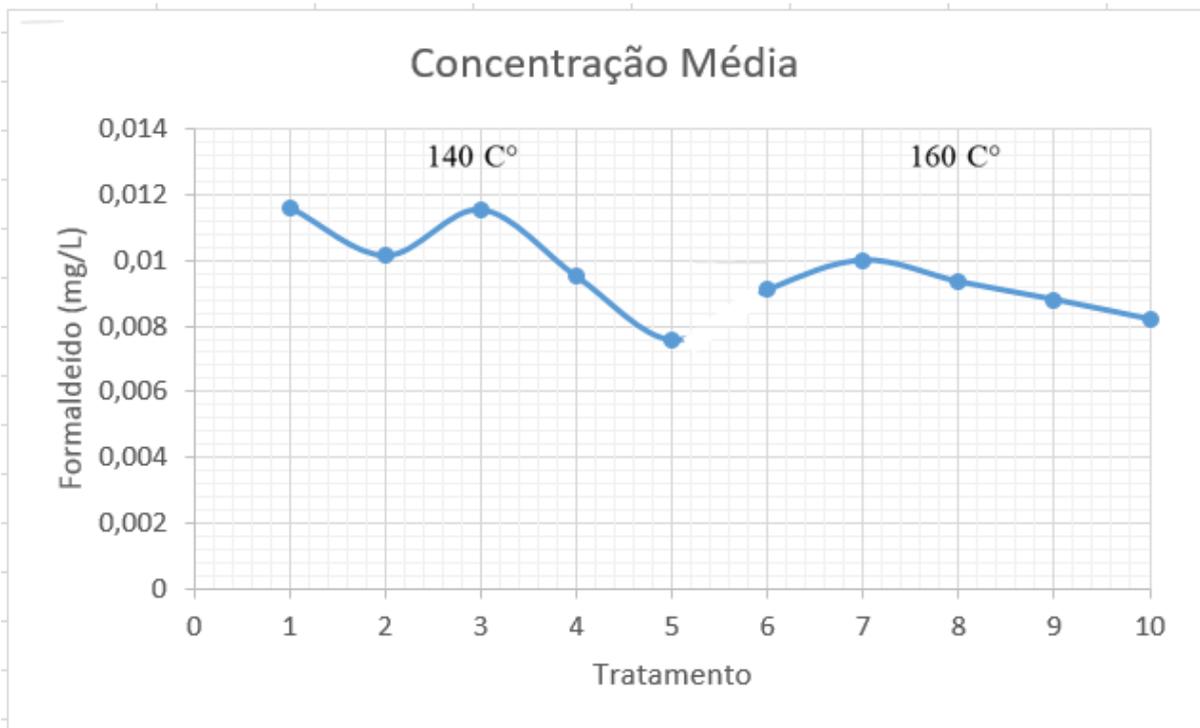


Figura 6. Valores médios da concentração de formaldeído dos painéis aglomerados segundo cada tratamento.

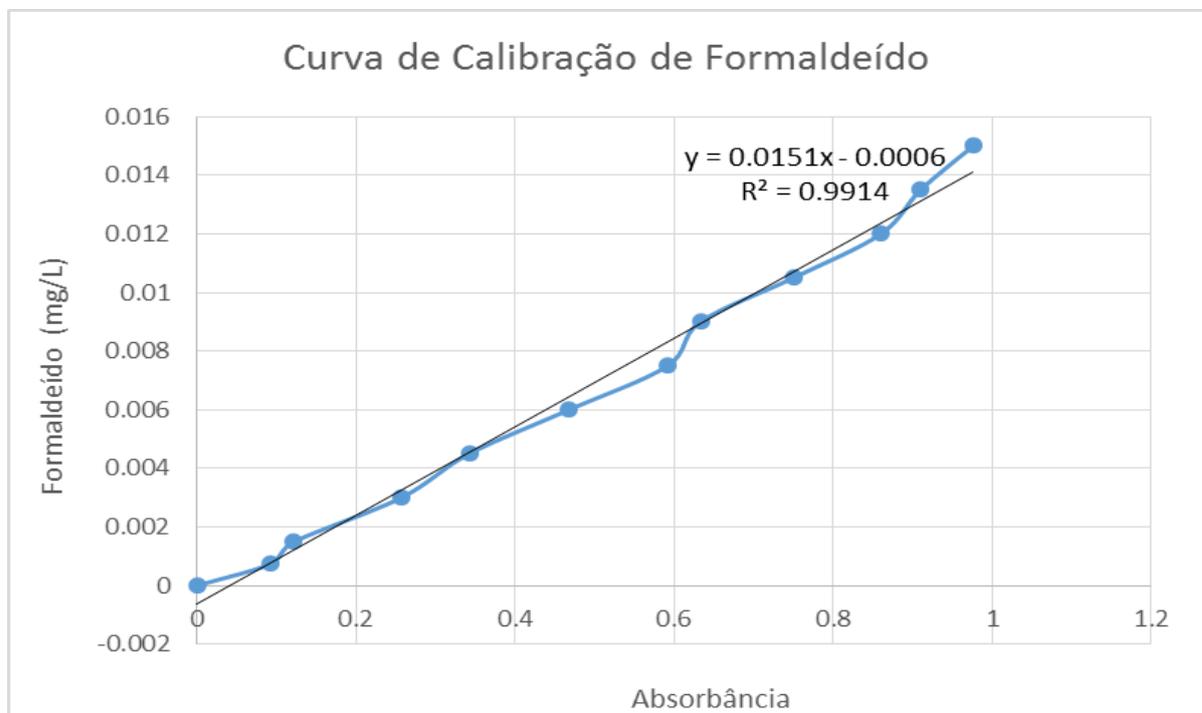


Figura 7. Curva de Calibração do Formaldeído, realizado para determinar a concentração de formaldeído em solução aquosa.

5 CONCLUSÕES

- As misturas de partículas de casca com as de madeira influenciaram nas propriedades físicas dos painéis somente de maneira significativa no teor umidade e inchamento em espessura 2 horas, porém de forma positiva, sendo observado melhores resultados à temperatura de 160°C e adição de até 15 % de casca.
- Com relação aos testes mecânicos, foi observado que as diferentes temperaturas de prensagem e a adição da partícula casca influenciaram em todos os testes, sendo os melhores resultados encontrados, também à temperatura de 160°C e até a proporção de 15% de casca. -
- Entretanto, essas alterações não trouxeram baixa qualidade significativa dos mesmos, tornando-se uma alternativa viável em misturas em até 15% de partícula casca, inclusive no aproveitamento de resíduos;
- O aumento da temperatura de prensagem influenciou favoravelmente na fabricação dos painéis aglomerados, mostrando assim que, a temperatura de 160 °C foi a que colaborou para melhor qualidade dos painéis, e isso foi verificado em todas as proporções de mistura das partículas estudadas.
- Nos testes químicos para análise da concentração de formaldeído, foi observada redução do mesmo nos painéis de acordo com o aumento da proporção de partículas casca.
- O tratamento que apresentou melhores resultados, possuindo o equilíbrio entre a qualidade física e mecânica e a redução da emissão de formaldeído, foi o tratamento com a proporção de 15% de partícula de cascas.

6 RECOMENDAÇÃO

Tendo em vista o potencial de uso das cascas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* na fabricação de painéis aglomerados, recomenda-se estudar a interação química e/ou física dos componentes presentes na mesma com o formaldeído, afim de entender mais especificamente sua interação que permite com que o formaldeído fique retido não estando mais totalmente livre no painel.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Painéis de partículas de média densidade**: Terminologia: NBR 14810-1. Rio de Janeiro, 2013.
- ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Relatório setorial** n. 008, 2014.
- ALMEIDA, V. C.; CARNEIRO, A. C.O.; VITAL, B. R.; LELIS, R. C. C. O uso da farinha de *Orbignya speciosa* na formulação de adesivo para compensados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 237-242, 2014.
- ALONGE, F. A.; CHAMMA, P. V. C.; ROCHA, R. R. Produtos ecoeficientes na arquitetura: a produção de painéis feitos a partir do compósito de plástico e casca de arroz. In: X FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, **Anais ...v. 10, n. 1, 2014, pp. 13-27, 2014.**
- ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Quim. Nova**, v. 35, n. 10, p. 2025-2039, 2012.
- ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M.; AZAMBUJA, M. A.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFÓRO, A. L.; LAHR, F. A. R. Particleboard Produced with Sawmill Waste of Different Wood Species. **Advanced Materials Research**, v. 885, p. 689-693, 2014.
- ANTUNEN, M. et al. Indoor air pollution exposure. Indoor Air Quality and Health Effects, Projeto n. **SSPE-CT-2004-502671**, 2008.
- AZAMBUJA, R. R. **Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de painéis aglomerados**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 02, p. 178-187, 2007.
- BELINI, U. L. FILHO, M. T.; CHAGAS, M. P.; DIAS, C. T. S. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.707-713, 2008.
- BRICKUS, L. R.; NETO, F. R. A. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, v. 22, n. 01, p. 65-74, 1999.
- BRITO, E. O.; BATISTA, D. C.; VIDAURRE, G.B.; SAMPAIO, L. C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm. com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* f. Muell. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 04, p. 369-375, 2005.
- BRITO, E. O.; SÁ-ROCHA, J. D.; VIDAURRE, G. B.; BATISTA, D. C.; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G. C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 11, n. 02, p. 01 – 06, 2004.

BOLOGNESI, L. SANTOS, E. J.; ABATE, G. Determination of formaldehyde by flow injection analysis with spectrophotometric detection exploiting brilliant green–sulphite reaction. **Chemical Papers**, v. 69, n. 06, p. 791–798, 2015.

BREGINSKI, H. D. B. **Qualidade do ar: estudo sobre a presença de formaldeído**. 2015.136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, C. I. & LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. **Matéria**, v. 09, n. 01, p. 32-42, 2004.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 01, p. 47-53, 2009.

CARVALHO, A. G.; ANDRADE, B. G.; CABRAL, C. P. T.; E VITAL, B. R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.209-214, 2015.

CARVALHO, A. G.; LELIS, R. C. C.; NASCIMENTO, A. M. Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 479-489, 2014.

CARVALHO, M. Z.; **Abordagem multivariada comportamento físico-químicas e caracterização de adesivos do das propriedades naturais à base de taninos**. 2016. 136 f. Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CLOUTIER A. **Panneaux Agglomérés I. Notes de Cours. Département des sciences du bois et de la forêt**. Université Laval, Québec, Canadá, 1998.

COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA – CEE. Classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas. Bruxelas, 2006. Disponível em: <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l21276.htm>>. Acesso em: 20 set. 2007.

COSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

COSTA, N. A.; MARTINS, D.; PEREIRA, J.; MARTINS, J.; FERRA, J.; CRUZ, P.; MENDES, A.; MAGALHÃES, F. D.; CARVALHO, L. H. C NMR Study of Presence of Uron Structures in Amino Adhesives and Relation with Wood-Based Panels Performance. **Jornal of Applied Polymer science**, v. 130, p. 4500-4507, 2013.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Particleboard, Forestry Production and Trade. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/F/FO/E>>. Acesso em: Outubro de 2014.

FRADINHO, D. M.; NETO, C. P.; EVTUGUIN, D.; JORGE, F. C.; IRLE, M. A.; GIL, M. H.; J. JESUS, P. Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. **Industrial Crops and Products**. v. 16, n.1, p. 23-32, 2002.

FREIRE, A. L. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; ARAÚJO JR., C. P. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados - Uma revisão de literatura. **Revista Espacios**, v.36. n.10. 2015.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GANJEGUNTE, G. K.; CONDRON, L. M.; CLINTON, P. W.; DAVIS, M. R.; MAHIEU, N. Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p. 197-211, 2003.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v. 26 n 03, set./out. 2003.

GUÉRON, A. L. & GARRIDO, V. Requisitos ambientais, acesso a mercados e competitividade na indústria de madeira e móveis do Brasil. Barreiras Técnicas às Exportações. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas>>, 2004.

HARUN, J. & LABOSKY, JR., P. Chemical constituents of five northeastern barks. **Wood and Fiber Science**, v. 17, n. 2, p. 274-280, 1985.

INCA. Formol ou Formaldeído. Disponível em: <http://www1.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=795> . Acesso em: 15 mar. 2015.

INSTITUTO MÁRIO PENNA. Formol ou Formaldeído. Disponível em: <<http://www.mariopenna.org.br/mariopenna/Pagina.do?idSecao=88>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA (INMETRO). Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo. Acesso em: 13 set. 2016. <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp>

JANTUNEN, M. et al. Indoor air pollution exposure. **Indoor Air Quality and Health Effects**. Projeto n. SSPE-CT-2004-502671, 2008.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serrarias na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p. 251-256, 2000.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 04, p. 323-328, 2005.

KHODER, M.I.; SHAKOUR, A.A.; FARAG, S.A.; HAMEED, A.A.A. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo, **J.E.M.**, 2, 123, 2000.

KIM, S.; KIM, J.A.; KIM, H.J.; KIM, S.D. Determination of formaldehyde and TVOC emission factor from wood-based composites by small chamber method, **Polymer Testing**, 25, 605-606, 2006.

LABAT, G.A.A. & GONÇALVES, A.R. Oxidation in Acidic Medium of Lignins from Agricultural Residues. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 148, n.1, p. 151-161, 2008.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos do desdobro de toras de *Pinus* spp, sílica ativa e cinza de casca de arroz em compósito cimento-madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 459-469, 2010.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

Manual de Biossegurança, Parte III – Laboratórios. Capítulo 13 - Biossegurança no Laboratório de Diagnóstico e de Pesquisa. Disponível em:
<<http://www1.saude.ba.gov.br/divisa/arquivos/mat-publico/manual-biosseguranca.pdf>>.
Acesso em: 15 mar. 2015.

MATTOS, R.L.G., GONÇALVES, R.M., CHAGAS, F.B., 2008. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. **BNDS Setorial** 27: 121-156.

MELO, R. R.; MENEZZI, C. H. S. Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados. **Silva Lusitana**, © EFN, Lisboa. Portugal, v. 18, n. 01, p. 59-73, 2010.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 04, n. 02, p. 152-175, 2013.

MESQUITA, R. G. A.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; TONOLI, G. H. D.; MARCONCINI, J. M. Inclusão de feixes de sisal na produção de painéis MDP de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, 2015

MORAIS, W. W. C.; HASELEIN, C. R.; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; MORAIS, J. B. F. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldoidea* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.

MOTA, S. Introdução à engenharia ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - **ABES**, Rio de Janeiro, 4ª edição, p. 343, 2006.

NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L. LAHR, F. A. R. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 03, p. 103-112, 2014.

NIOSH, Formaldehyde by Vis., NIOSH Manual of analytical methods, method n° 3500, 4th edition, **The National Institute for Occupational Safety and Health**, 1994.

NUNES, E. L. S. **Análise dos aerodispersóides sólidos produzidos na industrialização da madeira**. 2008. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Occupational Safety & Health Administration - OSHA, Disponível em: <https://www.osha.gov/OshDoc/data_General_Facts/formaldehydefactsheet.html> Acesso em: 06 mar. 2014.

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas**. 2001. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVEIRA, E. F. **Avaliação quantitativa de formaldeído em uma empresa de fabricação de painéis de mdf e mdp**. 2013. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

ORLANDO, U. S.; OKUDA, T.; BAES, A.U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Chemical properties of anion-exchangers prepared from waste natural materials. **Reactive & Functional Polymers**, v. 55, p. 311-318, 2002.

PEREIRA, E. A.; CARDOSO, A. A.; DASGUPTA, P. K. Gota suspensa para avaliação de aldeído total no ar interno e externo do ambiente. **Química Nova**. v. 24, n. 4, p 443-448, 2001.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. 134 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

REMADE – Revista da madeira, n° 71, 2003. <http://www.remade.com.br>.

SAMET, J. M.; MARBURY, M. C.; SPENGLER, J. D.; Health Effects and Sources of Indoor Air Pollution. Part II. **American Review of Respiratory Disease**, v. 137, n. 01, p. 221-242, 1988.

RIOS, P. D.; PEREIRA, G. F.; VIEIRA, H. C.; GRUBERT, W.; CUNHA, A. B.; BRAND, M. A. Avaliação do potencial da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham para a produção de painéis de madeira aglomerada. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 497-508, 2016.

ROSA, T. S. **Utilização de cinco espécies de eucalyptus provenientes de plantios de curta rotação para a produção de painéis particulados**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O.; MORI, F. A.; CASTRO, R. V. O.; MENDES, R. F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (dc.) macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de pet. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, 2011.

SCHIRMER, W. N.; PIAN, L. B.; SZYMANSKI, M. S. E.; GAUER, M. A. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.16, n. 08 p.3583-3590, 2011.

SILVA, A. A.; BERGAMASCO, R.; REZENDE, L. C. S. H.; SILVA, C. A.; FREITAS, B. O. Aproveitamento de resíduos de madeira de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., Santa Catarina. **Anais...** Santa Catarina, Florianópolis. 2014.

SILVA, B. C.; VIEIRA, M. C.; OLIVEIRA, G. L.; GONÇALVES, F. G.; RODRIGUES, N. D.; LELIS, R. C. C.; IWAKIRI, S. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 04, p. 511-519, 2012.

SILVA, C. A.; SILVA, A. A.; NISHI, L.; SILVA, M. F.; REZENDE, L. C. S. H.; Bergamasco, R. Incorporação de lodo de tratamento de água na fabricação de painéis de madeira aglomerada. **ENGEVISTA**, v. 17, n. 3, p. 398-406, 2015.

SILVA, G. V. A. **Estudo de Emissões de COVs por Materiais usados em Interiores de Edifícios**. Tese (Doutoramento em Ciências) - Universidade do Porto, 2000.

SOUZA, J. T. & SOUZA, B.V. Avaliação da composição química da casca de pinus taeda l. visando à produção de açúcares fermentescíveis. **Xanxerê – Pesquisa**, 2015.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Acrocarpus fraxinifolius*, compostos com diferentes percentuais de casca. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 04, p. 761-769, 2013.

USDA. USDA forest service. Disponível em: <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn091.pdf>>. Acesso em: 08 de Nov, 2015.

VALZANO, F. A Literature Review on the Composting of Composite Wood Products, Recycled Organics Unit. December 2000.

VIEGAS, S. P.C.; PRISTA, J. Formaldeído em habitações domésticas: contaminação ambiental e potenciais fontes. **Saúde & Tecnologia**, p. 10-16, nov. 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. Método de determinação da massa específica da madeira. **Boletim Técnico SIF, Viçosa**, n. 2, p. 1-21, 1984.

WEBER, C. & IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015.

ZHANG, Y.; ZHENG, J.; GUO, H.; LI, Y.; LU, M. Urea formaldehyde resin with low formaldehyde content modified by phenol formaldehyde intermediates and properties of its bamboo particleboards. **Jornal of Applied Polymer science**, v. 132, 27, 2015.

ZHOU, X.; ESSAWY, H. A.; A. PIZZI, A.; ZHANG, J.; X. LI, X.; DU, G. First/second generation of dendritic ester-co-aldehyde-terminated poly (amidoamine) as modifying components of melamine urea formaldehyde (MUF) adhesives: subsequent use in particleboards production. **J Polym Res**, v. 21, p. 364-379, 2014.