

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENAN ZUNTA RAIA

**LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Hevea*
brasiliensis – CLONE RRIM600**

CURITIBA
2017

RENAN ZUNTA RAIA

**LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Hevea*
brasiliensis – CLONE RRIM600**

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

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Coorientadores: Prof^a. Dra. Rosilani Trianoski
Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade

CURITIBA
2017

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Raia, Renan Zunta

Laminação e produção de painéis compensados de *Hevea brasiliensis* : clone RRIM600 / Renan Zunta Raia. – Curitiba, 2017.
90 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

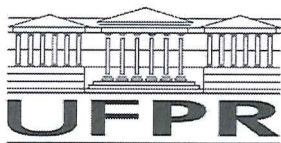
Coorientadores: Profa. Dra. Rosilani Trianoski
Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 06/11/2017.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Painéis de madeira. 2. Compensados de madeira. 3. Lâminas de madeira. 4. Madeira – Química. 5. Seringueira. 6. Teses. I. Iwakiri, Setsuo. II. Trianoski, Rosilani. III. Andrade, Alan Sulato de. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9
CDU – 634.0.832



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RENAN ZUNTA RAIA** intitulada: **LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Hevea brasiliensis* - Clone RRIM600**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 06 de Novembro de 2017.

SETSUO IWAKIRI

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

MARINA MIEKO NISHIDATE KUMODE

Avaliador Externo (PUC/PR)

CARLOS FREDERICO ALICE PARCHEN

Avaliador Externo (UFPR)



À minha família, por acreditar e investir em mim.

Aos meus pais, pela educação e apoio, pois, sem isso, não seria possível atingir os objetivos aos quais me propus.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por iluminar meus caminhos e me dar forças para seguir sempre em frente;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de conhecimento e pelo desenvolvimento deste trabalho;

À Capes, pelo incentivo financeiro primordial para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Setsuo Iwakiri, pela orientação, ensinamentos, paciência e amizade, que foram, para mim, de grande importância profissional e pessoal;

À Profa. Dra. Rosilani Trianoski, pela coorientação, confiança, amizade e incentivo;

Ao Prof. Dr. Alan Sulato de Andrade, pela coorientação e confiança;

Ao corpo técnico da Fazenda Guanabara, em especial, ao Leandro José da Costa, pela doação do material essencial para a realização deste trabalho;

À APABOR, na pessoa de Heiko Rossmann, que me incentivou e colaborou para o andamento deste trabalho;

Aos professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, pelos ensinamentos em sala de aula e também nas conversas do dia a dia;

Aos técnicos laboratoriais Sr. Ademir Cavalli, Sr. Gilberto Silva e Sr. Mauro Tavora, os quais foram de grande importância dentro e fora dos Laboratórios da Universidade Federal do Paraná;

Aos funcionários da Biblioteca de Ciências Florestais e Madeireira da UFPR, pela disponibilidade e ajuda na busca de literaturas;

Aos funcionários Reinaldo e David, da secretaria do Programa de Pós-graduação, pelas informações e auxílio;

Aos colegas do Laboratório de Painéis Thiago Souza da Rosa, Ana Paula Namikata, Giuliano Ferreira e de outros laboratórios Vinicius Schweitzer e Eraldo Bonfatti, pelos momentos de descontração e conselhos.

E, para finalizar, agradeço às pessoas que foram primordiais no andamento e na conclusão deste trabalho:

Aos meus familiares, minha mãe, Ivone Zunta Raia, meu pai, Paulo Amarildo Raia, meu irmão, Rodrigo Zunta Raia, que desempenharam papel importante nesta

caminhada, ajudando-me, apoiando-me, aconselhando-se e principalmente transmitindo, mesmo de longe, todo amor e carinho para que este trabalho pudesse ser concluído;

À minha namorada Maiele Brum Polasso, por estar sempre ao meu lado ao longo desta caminhada, não deixando-me fraquejar nos momentos de dúvidas e, por diversas vezes, aturando-me nos momentos de estresse;

Enfim, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram parte da realização deste trabalho.

Muito obrigado.

O cientista não é o homem que fornece as verdadeiras respostas;
é quem faz as verdadeiras perguntas.

(Claude Lévi-Strauss)

RESUMO

A *Hevea brasiliensis* é uma espécie de grande destaque no Brasil por ser matéria-prima básica da borracha natural, no entanto, são escassos os estudos correlacionando esta espécie à produção de painéis de madeira. Baseado nisto, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da laminação e a produção de painéis compensados de madeira de *Hevea brasiliensis*, bem como a influência da extração do látex na qualidade dos produtos. A coleta do material foi realizada em um plantio com 27 anos, localizado na cidade de Paranapoema, região Noroeste do Paraná. A metodologia empregada iniciou com a amostragem de 4 árvores, das quais foram retirados 2 toretes e 4 discos por árvore. Após coletados, os toretes foram laminados para determinação do rendimento e perdas da laminação; posteriormente, foram avaliadas a densidade básica e a composição química da madeira a partir dos discos. Os painéis foram produzidos com 5 lâminas, utilizando resina fenólica, inicialmente diferenciados pelas regiões de laminação (com e sem extração de látex) e, em seguida, com variação da gramatura de 140, 160 e 180 g/m² e teores de sólidos da batida de cola de 35 e 40%. A avaliação dos painéis foi baseada nas Normas Europeias EN, visando ao mercado europeu, que é o principal destino das exportações de compensados. As propriedades físico-mecânicas avaliadas foram a densidade aparente, flexão estática e cisalhamento da linha de cola. O rendimento da laminação e a qualidade de lâminas apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando viabilidade na utilização de *Hevea brasiliensis* para produção de lâminas. A madeira foi classificada como de média densidade, e a composição química não apresentou resultados inibidores à produção de painéis compensados, devido à baixa concentração de extrativos e de teor de cinzas. O painel de extração de látex não influenciou na qualidade dos painéis, tendo os resultados médios de flexão estática e cisalhamento da linha de cola atendido aos requisitos mínimos da norma. A gramatura não exerceu influência sobre as propriedades mecânicas dos painéis, contudo, influenciou a densidade aparente desses. Os painéis produzidos com gramatura de 140g/m² não atenderam aos requisitos mínimos da norma, entretanto, os painéis com gramatura de 160 e 180g/m² foram aprovados pela norma, sendo assim, recomendado o uso da gramatura de 160 g/m², em função do menor custo-benefício. O teor de sólidos da batida de cola influenciou as propriedades mecânicas dos painéis, porém, como os dois teores avaliados atenderam aos requisitos mínimos da norma, é recomendado, do ponto de vista econômico, a formulação com teor de sólidos de 35%. Por meio deste estudo, pôde-se comprovar a potencialidade do uso da espécie *Hevea brasiliensis* na produção de lâminas e painéis compensados.

Palavras-chave: Seringueira. Compensado fenólico. Extração de Látex. Propriedades físico-químicas. Espécie alternativa.

ABSTRACT

Hevea brasiliensis is a very prominent species in Brazil, as it is the basic raw material of natural rubber, however, there are few studies correlating this species to the wood panels production. Based on this, the objective of this work was to evaluate the technical feasibility of laminating and plywood production of *Hevea brasiliensis*, as well as the influence of latex extraction on products quality. The material was collected in a 27-year-old plantation, located in the Paranapoema's city, Northwest region of Paraná. The methodology used started with the sampling of 4 trees, from which 2 logs and 4 disks were removed per tree. After being collected, the logs were laminated to determine the lamination yield and losses, after which the basic density and chemical composition of the wood were evaluated from the discs. The panels were produced with 5 slides using phenolic resin, initially differentiated by the lamination regions (with and without latex extraction) and then with a weight variation of 140, 160 and 180 g/m² and solids contents of the glue beat of 35 and 40%. The evaluation of the panels was based on European EN standards, targeting the European market, which is the main destination of plywood exports. The physical-mechanical properties evaluated were the apparent density, static bending and resistance of the glue line to shearing. The lamination yield and slab quality showed satisfactory results, demonstrating the feasibility of using *Hevea brasiliensis* to slides production. The wood was classified as medium density, and the chemical composition did not present inhibitory results to the production of compensated panels due to the low extractive concentration and ash content. The latex extraction panel did not influence the quality of the panels, with the average static bending and resistance of the glue line to shearing results meeting the minimum requirements of the standard. The weight had no influence on the mechanical properties of the panels, however it influenced the apparent density of the panels. Panels produced with a weight of 140 g/m² did not meet the minimum requirements of the standard, however, panels weighing 160 and 180 g/m² were approved by the standard, so it is recommended to use a weight of 160 g/m², due the to the lower cost-benefit. The solid content of the glue beat influenced the mechanical properties of the panels, however, since the two evaluated contents met the minimum requirements of the standard, the formulation with a solids content of 35% is economically recommended. Through this study it was possible to prove the potential of the use of the *Hevea brasiliensis* species in the veneers and plywood production.

Keywords: Rubber tree. Phenolic plywood. Latex extraction. Physicochemical properties. Alternative species.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ANATÔMICAS DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i>	19
FIGURA 2 -	EFEITO DA BARRA DE COMPRESSÃO NA QUALIDADE DA LAMINAÇÃO.....	22
FIGURA 3 -	DESTINO DAS EXPORTAÇÕES DE COMPENSADOS BRASILEIROS NO MERCADO INTERNACIONAL.....	28
FIGURA 4 -	PLANTIO DE <i>Hevea brasiliensis</i> EM PARANAPOEMA – PR E SECCIONAMENTO DAS TORAS.....	35
FIGURA 5 -	POSIÇÕES DE COLETA DOS DISCOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E PROPRIEDADE QUÍMICA DA MADEIRA, E DOS TORETES PARA LAMINAÇÃO.....	36
FIGURA 6 -	LAYOUT DE CORTE DOS DISCOS PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA.....	37
FIGURA 7 -	LAYOUT DE CORTE DOS DISCOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	38
FIGURA 8 -	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i>	39
FIGURA 9 -	TORETES PARA PRODUÇÃO DAS LÂMINAS.....	42
FIGURA 10 -	ETAPAS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i>	42
FIGURA 11 -	PREPARAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	46
FIGURA 12 -	PLANO DE CORTE PARA CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i>	18
TABELA 2 -	EXPORTAÇÕES DE PAINÉIS COMPENSADOS NO PERÍODO DE 2008 A 2015.....	27
TABELA 3 -	RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E TEMPO DE PRENSAGEM.....	33
TABELA 4 -	VARIAÇÃO DA PRESSÃO CONFORME FATORES DO PROCESSO.....	33
TABELA 5 -	NORMAS EMPREGADOS PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS.....	38
TABELA 6 -	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA ETAPA DO EFEITO DA EXTRAÇÃO DE LÁTEX SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	45
TABELA 7 -	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA ETAPA DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE GRAMATURA E TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	46
TABELA 8 -	DIMENSÕES, AMOSTRAGEM DOS CORPOS DE PROVA E NORMAS UTILIZADAS.....	48
TABELA 9 -	RESULTADOS DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i> AO LONGE DO EIXO LONGITUDINAL.....	49
TABELA 10 -	RESULTADOS DA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Hevea brasiliensis</i>	51
TABELA 11 -	VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DAS TORAS DE <i>Hevea brasiliensis</i>	54
TABELA 12 -	VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	56
TABELA 13 -	RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO.....	58
TABELA 14 -	REQUISITOS DA NORMA EN 314-2 PARA ENSAIOS DE CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA.....	59

TABELA 15 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA	61
TABELA 16 - COMPARATIVO DOS RESULTADOS DA PESQUISA COM PAINÉIS COMERCIAIS.....	62
TABELA 17 - VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS.....	63
TABELA 18 - EFEITO DA GRAMATURA NA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS.....	64
TABELA 19 - EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS.....	65
TABELA 20 - RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO.....	66
TABELA 21 - EFEITO DA GRAMATURA NA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO	69
TABELA 22 - EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO	72
TABELA 23 - RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA.....	74
TABELA 24 - EFEITO DA GRAMATURA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA.....	76
TABELA 25 - EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA.....	77

LISTA DE SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

COPANT – Comissão Panamericana de Normas Técnicas

EN – Norma Europeia

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

NBR – Norma Brasileira

PNQM – Programa Nacional de Qualidade da Madeira

RRIM – Rubber Research Institute of Malaysia

SNIF – Serviço Nacional de Informação Florestal

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE – <i>Hevea brasiliensis</i>	18
2.2	PRODUÇÃO DE LÂMINAS DE MADEIRA.....	21
2.2.1	Laminação de toras.....	21
2.2.2	Secagem de lâminas.....	24
2.3	PAINÉIS COMPENSADOS.....	25
2.4	VARIÁVEIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS.....	28
2.4.1	Variáveis inerentes à madeira que afetam a qualidade dos painéis compensados.....	28
2.4.1.1	Densidade da madeira.....	28
2.4.1.2	pH e extrativos.....	29
2.4.1.3	Teor de umidade das lâminas.....	29
2.4.2	Variáveis do processo de produção de painéis compensados.....	30
2.4.2.1	Preparação e aplicação do adesivo.....	30
2.4.2.2	Montagem e assemblagem de compensados.....	31
2.4.2.3	Prensagem dos painéis.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	COLETA DE MATERIAL.....	35
3.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	36
3.3	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	37
3.4	LAMINAÇÃO DAS TORAS E SECAGEM DE LÂMINAS.....	41
3.5	RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO.....	43
3.6	PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS.....	44
3.6.1	Etapa 1 – Efeito do painel de extração de látex.....	45

3.6.2	Etapa 2 – Efeito da gramatura e teor de sólidos da batida de cola...	45
3.7	PREPARAÇÃO E ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA.....	47
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA.....	49
4.2	PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	50
4.3	RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO.....	54
4.4	EFEITO DA EXTRAÇÃO DE LÁTEX NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	55
4.4.1	Densidade aparente dos painéis.....	55
4.4.2	Resistência ao cisalhamento.....	57
4.4.3	Flexão estática paralela e perpendicular.....	60
4.5	EFEITO DA VARIAÇÃO DA GRAMATURA E TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	63
4.5.1	Densidade aparente dos painéis.....	63
4.5.2	Resistência da linha de cola ao cisalhamento.....	65
4.5.3	Flexão estática paralela e perpendicular.....	74
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A produção de painéis compensados possui grande importância na balança comercial de exportação do Brasil, superando 500 milhões de dólares de arrecadação ao ano. A exportação dos painéis compensados arrecada maiores valores que os painéis particulados e de fibras (SNIF, 2016), onde destaca-se o continente asiático como principal destino.

Existe uma forte pressão ambiental para o uso de madeiras de origem conhecida e certificada e legalmente extraídas na produção de painéis de madeira no Brasil. Atualmente, espécies de *Pinus* destacam-se como as principais fontes de matéria-prima na produção de painéis compensados. Contudo, estudos de espécies não convencionais são de grande importância, haja vista que tendem a aumentar a oferta de matéria-prima ao setor de indústrias de base florestal, além de contribuir para minimizar as pressões ambientais sobre o uso de madeira nativa.

A cultura da *Hevea brasiliensis* enfrentou diversos desafios para consolidar-se como uma atividade lucrativa e sustentável, mesmo sendo muito explorada comercialmente para obtenção do látex. Apesar de ser uma espécie nativa da região amazônica, plantios clonais vêm obtendo sucesso nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e, mais recentemente, no Norte do Paraná.

Dentre os diversos clones de *Hevea brasiliensis* plantados no Brasil, o que tem apresentado melhores resultados na produção de látex é o RRIM 600, desenvolvido pelo Rubber Research Institute of Malaysia – RRIM, órgão da Malásia responsável pelo desenvolvimento de clones desta espécie.

Embora os plantios de *Hevea brasiliensis* tenham como principal objetivo a extração do látex, apresentam boas perspectivas no fornecimento de matéria-prima para o setor de base florestal, tanto em volume como em qualidade da matéria-prima, no entanto, informações tecnológicas sobre a sua utilização são muito escassas no Brasil.

Em meio a este cenário, a produção de painéis de madeira surge como uma alternativa viável para a utilização da madeira de *Hevea brasiliensis*. Dentre os painéis à base de madeira, destaca-se o painel compensado, empregado como painel estrutural na construção civil, pisos laminados e em menor quantidade na indústria moveleira.

A produção de painéis compensados pode ser apontada como uma alternativa para agregar valor aos plantios de *Hevea brasiliensis*, considerando que, ao fim do ciclo produtivo do látex, entre 25 e 30 anos, as árvores, no Brasil, são abatidas para reformulação do plantio e utilizadas como biomassa para produção de energia.

Do ponto de vista tecnológico, os produtos laminados de madeira refletem, de certa maneira, as características da madeira sólida utilizada na sua produção. No Brasil, estudos sobre as propriedades da madeira de *Hevea brasiliensis* e seu uso em painéis de madeira são ainda muito incipientes.

Neste contexto, torna-se necessário mais estudos que visem caracterizar tecnologicamente a madeira de *Hevea brasiliensis* e avaliar o seu potencial para fabricação de painéis compensados, objetivando fornecer informações para melhor aproveitamento da sua madeira e por consequência obter-se uma maior valorização das florestas de seringueira disponíveis no Brasil, representando um uso final para sua madeira, no caso, a construção civil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade de uso da madeira de *Hevea brasiliensis* clone RRIM 600 para a produção de lâminas e de painéis compensados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar a densidade básica e composição química da madeira de *Hevea brasiliensis* clone RRIM 600 e os efeitos da extração de látex;
- b) Determinar o rendimento médio de *Hevea brasiliensis* na laminação;
- c) Avaliar o efeito do painel de extração de látex da *Hevea brasiliensis* nas propriedades mecânicas dos painéis compensados produzidos com resina fenólica;

- d) Avaliar o efeito da gramatura e a formulação da batida de cola nas propriedades mecânicas dos painéis compensados produzidos com resina fenólica;
- e) Realizar estudos comparativos dos resultados de *Hevea brasiliensis* com os requisitos normativos e dados disponíveis na literatura para *Pinus taeda*, espécie empregada comercialmente na produção de compensados no Brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE – *Hevea brasiliensis*

A seringueira é uma espécie pertencente ao gênero *Hevea*, inserido na família *Euphorbiaceae*, popularmente conhecida como seringueira. Possui distribuição natural circunscrita aos limites da região amazônica, abrangendo a Amazônia brasileira, Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Equador, Suriname e Guiana, porém, se adapta a diversos ambientes. Das onze espécies deste gênero, a que possui maior capacidade produtiva e variabilidade genética é a *Hevea brasiliensis* (COSTA et al., 2001; GONÇALVES et al., 2001; FRANCISCO et al., 2004).

Campelo Junior (2000) e Lorenzi (2000) descrevem a espécie como uma árvore de ciclo perene, semidecídua, naturalmente presente em solos argilosos e férteis da beira de rios e várzeas da região amazônica, porém, se adapta a outras regiões tropicais.

Nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Bahia e Norte do Paraná, bem como em alguns países asiáticos, a *Hevea brasiliensis* é cultivada como monocultura e tem como principal produto o látex, utilizado como base da produção de borracha natural (MARINHO, 2006).

Na Tabela 1 estão apresentadas as características macroscópicas da madeira de *Hevea brasiliensis* (SANTANA; EIRAS, 1999).

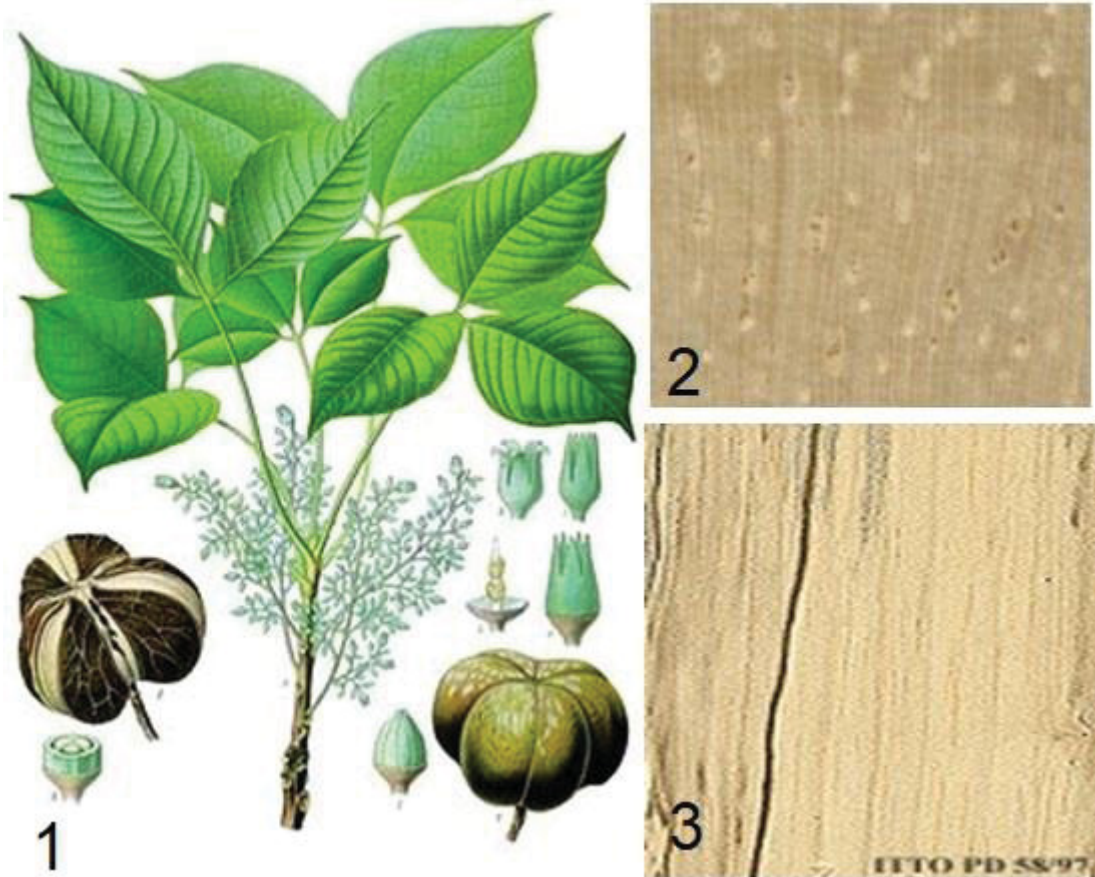
TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis*

Cerne/Alburno	Indistinto
Cor de cerne/alburno	Marrom claro/Marrom claro
Anéis de crescimento	Distintos a irregulares
Grã – Textura	Direita – Média
Plano tangencial	Em linhas vasculares pouco destacadas e em forma de “V”, causadas pela camada de crescimento
Plano radial	Em faixa longitudinal pouco destacadas
Brilho – Cheiro	Moderado – Imperceptível
Resistência ao corte	Macia

FONTE: SANTANA; EIRAS (1999).

Na Figura 1 estão ilustradas algumas características botânicas e anatômicas da madeira de *Hevea brasiliensis*.

FIGURA 1 – CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E ANATÔMICAS DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis*



FONTE: LORENZI (2000).

NOTA: (1) Folhas, semente, fruto e flor da *Hevea brasiliensis*; (2) e (3) Corte transversal e tangencial da madeira de *Hevea brasiliensis*

O clone RRIM 600, desenvolvido pelo Rubber Research Institute of Malaysia – RRIM, é o principal clone de *Hevea brasiliensis* e apresenta uma alta taxa de plantas aptas à sangria aos 6 anos de idade, podendo chegar a 77%. De acordo com Pereira, Pereira e Benesi (2001), é o clone mais plantado no Brasil e, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ; 2015), o plantio de seringueira abrange aproximadamente 230 mil hectares.

A produtividade do látex varia com o clone plantado e com as condições edafoclimáticas e sanitárias do local do plantio (GONÇALVES et al., 2001; ORTOLANI et al. 1999), portanto, torna-se necessária uma prévia avaliação da região de implantação do seringal.

Dentre os cuidados essenciais para um plantio de *Hevea brasiliensis*, o principal é evitar regiões com temperaturas inferiores à 20°C e umidade excessiva, tendo em vista que plantios em localidades com essas características possuem a

propensão ao desenvolvimento de doenças, o que pode acarretar grandes perdas de produção (MARQUES, 2000).

O período de extração do látex inicia-se aos sete ou oito anos após o plantio, tempo este que depende do método de manejo empregado, podendo ser retardado até que a árvore atinja o diâmetro mínimo para retirada do látex (PEREIRA; PEREIRA; BENESI et al., 2001).

O método de extração utilizado atualmente em plantios de seringueira é o 1/2S, d/7, que consiste em realizar a retirada do látex das plantas com um intervalo de 4 a 7 dias, utilizando Etefom como estimulante, no entanto, este intervalo considera o clone e a concentração do estimulante (BERNARDES; CASTRO; FURTADO, 1998; TOLEDO; GHILARDI, 2000).

Quando finda o período produtivo do látex nas árvores de *Hevea brasiliensis*, que pode atingir 30 anos (BALSINGER; BAHDON; WHITEMAN, 2000; TOLEDO; GHILARDI; 2000), o povoamento é abatido para replantio (HONG, 1995). A madeira oriunda do corte é comumente usada como biomassa para energia, contudo, seu aproveitamento para fins mais nobres, somado ao uso múltiplo da floresta, é uma forma de potencializar economicamente o plantio (LIMA et al., 2015).

Conforme Melo, Coradin e Mendes (1990) e Lorenzi (2000), a madeira de seringueira apresenta média densidade, tendo seus valores variando de 0,56 g/cm³ a 0,65g/cm³. Possui coloração branca e baixa durabilidade natural, o que torna a madeira altamente suscetível ao ataque de fungos e insetos devido à ausência de extrativos que os repelem (MILINGLIANG; ZHIJUAN, 2008)

Segundo Coneglian (2011), a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta cerne e alborno sem distinção, grã direita, textura média e uma distribuição anatômica uniforme com fibras curtas (1501,21 mm) e vasos com dimensões de 757,8 mm.

Matan e Kyokong (2003); Euftrade Junior et al. (2011) e Servolo Filho (2013) relatam que a madeira de *Hevea brasiliensis* se enquadra à norma NBR 7190/97 e está apta para a utilização como estrutura, baseado nos valores obtidos para os ensaios mecânicos.

Escobar (2011) classifica a madeira de *Hevea brasiliensis* como tendo boas características de trabalhabilidade (serrado, furação, torneado, pregado e colado), porém, o látex residual da madeira pode empastar os dentes das ferramentas, atrapalhando o corte. O referido autor relata que a espécie pode ser facilmente curvada, com auxílio de vaporização, e tingida com a mesma facilidade.

Eufrade Junior et al. (2011) afirmam que a madeira de seringueira está apta à utilização na construção civil para fabricação de forros, de rodapés e, também, de modo temporário, em andaimes e em formas de concreto, além de apresentar boas características para fabricação de painéis de madeira, assoalhos e móveis em geral.

Okino et al. (2004), estudando clones de *Hevea brasiliensis*, concluíram que a espécie é tecnicamente viável para a produção de painéis OSB, aglomerados *in natura* e cimento-madeira, mostrando o potencial de utilização da madeira de seringueira na produção de painéis de madeira.

2.2 PRODUÇÃO DE LÂMINAS DE MADEIRA

2.2.1 Laminação de toras

Segundo Iwakiri (2005), a laminação de madeiras é datada de 3000 anos antes de Cristo, quando as lâminas ainda eram obtidas por meio de serras manuais e utilizadas para a produção de móveis clássicos e artesanais. Mesmo precária, a utilização de serras possuía vantagens em relação ao processo atual, principalmente pela desnecessidade de aquecimento das toras, no entanto, a produção era bem menor e com grande geração de resíduos.

De acordo com o autor supracitado, o desenvolvimento do processo de laminação da madeira só ocorreu a partir da invenção do torno laminador, pois, com este equipamento, era possível obter lâminas com maiores dimensões através do desenrolamento de toras.

No século XX, indústrias de painéis compensados se instalaram no Brasil e no mundo e, com isso, houve um grande salto na produção de lâminas, sempre com grande investimento em equipamento para obtenção de lâminas de qualidade superior (KAZMIERCZAK, 2012).

Conforme o Manual do Técnico Florestal (1986), as lâminas de madeira podem ser obtidas utilizando-se diferentes equipamentos, tendo o torno desenrolador como principal equipamento utilizado. As lâminas torneadas são obtidas através do desenrolamento de toras que, com movimentos rotacionais contra uma faca, originam uma lâmina contínua de grande dimensão.

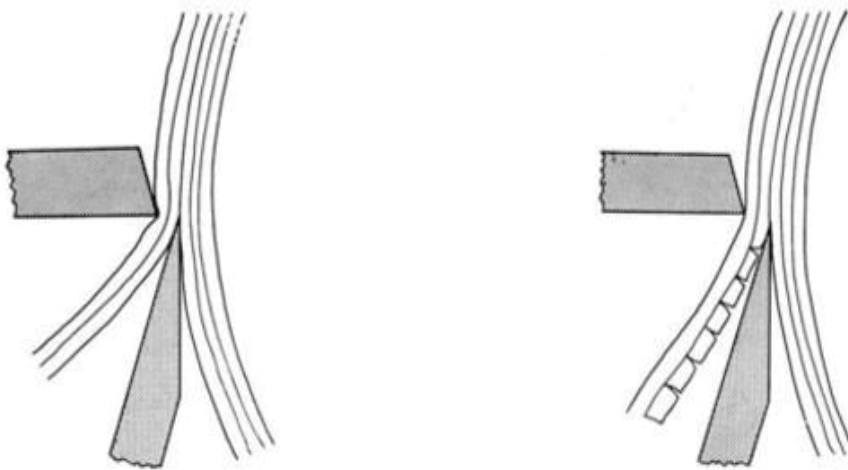
Segundo Palka (1973) e Iwakiri (2005), o torno desenrolador é constituído de dois componentes principais, a faca e a barra de compressão. A faca tem como

principal função de separar as lâminas da madeira na espessura determinada, sendo um dos componentes que representa maior custo de manutenção. A barra de compressão tem a função de comprimir a madeira imediatamente antes do corte e guiar a faca, de modo a minimizar o fendilhamento superficial da lâmina e auxiliar no controle da espessura e aspereza da superfície.

A faca e barra de compressão devem estar geometricamente acuradas com o eixo de rotação da tora para obtenção de uma lâmina sem fendilhamento superficial, rugosidade mínima e espessura padronizada (SUCHSLAND; JANKOWSKY, 1979; IWAKIRI, 2005).

Na figura 2 está ilustrado o efeito da barra de compressão sobre a qualidade das lâminas.

FIGURA 2 – EFEITO DA BARRA DE COMPRESSÃO NA QUALIDADE DA LAMINAÇÃO



FONTE: IWAKIRI (2005).

Segundo Iwakiri (2005), a velocidade de rotação do torno pode variar de 50 a 300 RPM e, a velocidade de corte, entre 30 a 50 m/min, de modo que estes parâmetros exercem uma grande influência na qualidade das lâminas produzidas. Lâminas produzidas com velocidades muito baixas podem resultar em uma superfície áspera e espessura desuniforme. Por outro lado, velocidades maiores podem ocasionar fendilhamento na lâmina, diminuindo a sua resistência à tração perpendicular.

Iwakiri (2005) e Pio (1996) citam que o ângulo de afiação da faca deve estar na faixa de 18 a 27°, sendo que um ângulo médio de 21° é considerado como sendo um ajuste referencial para a laminação de madeiras de diferentes espécies.

Segundo Lutz (1978), a maioria das espécies arbóreas podem ser utilizadas como matéria-prima para laminação, mas a qualidade das lâminas e sua facilidade de obtenção variam conforme esta escolha.

O autor em questão ainda relata que folhosas são espécies de maior facilidade de laminação, isto ocorre pela resistência aos esforços de flexão presente nelas, o que resulta em lâminas com menos fendilhamento. Isto ocorre devido ao menor conteúdo de lignina das folhosas e maior plasticidade da madeira.

De acordo com Lutz (1978); Gonçalves e Almeida (1998) e Thoemen, Irlle e Sernek (2010), a qualidade dos painéis compensados depende amplamente da qualidade das lâminas.

A obtenção de lâminas de qualidade exige um equipamento com boa manutenção e toras em condições facilitadas para um corte com máxima qualidade. Iwakiri (2005) especifica também que a qualidade das lâminas é influenciada pela qualidade da tora, condições de armazenamento, aquecimento das toras e condições mecânicas, de ajuste e operacionais do torno.

A qualidade de uma lâmina é avaliada com base na uniformidade da espessura, rugosidade superficial, presença ou ausência de fendas, cor e figura; sendo espessura, rugosidade e fendas superficiais, os fatores diretamente ligados à regulagem do torno. Uma lâmina ideal deve possuir espessura uniforme, baixa rugosidade, planicidade máxima, ausência de fendilhamento, cor e figura agradáveis (WANGAAR; SARAOS, 1959).

Feihl e Godin (1970) e Jankowski (1978) afirmam que a rugosidade excessiva das lâminas provoca o aumento no consumo de resina, prejudica a linha de cola, e condiciona a quantidade de madeira que será retirada das faces do painel durante o lixamento, além de que lâminas com fendas superficiais muito profundas podem romper-se quando manipulada; sob variações bruscas de umidade, pode provocar a delaminação do painel compensado; ou ainda ocasionar o aparecimento de rachaduras na superfície, indesejáveis em painéis cujas faces irão receber um acabamento mais aprimorado.

A densidade da madeira é uma característica muito importante a ser considerada na produção de lâminas, uma vez que espécies de baixa densidade tendem a gerar lâminas felpudas e madeiras com alta densidade tendem a gerar lâminas mais quebradiças, além de consumir mais energia para processá-las (PIO,

1996). De acordo com Lutz (1978), nos EUA, a faixa de densidade ideal varia de 0,320 a 0,650 g/cm³.

De acordo com Albino et al. (2011), os constituintes químicos da madeira influenciam no processo de laminação, pois a presença de certos tipos de extrativos e altos teores de cinzas podem causar desgaste excessivo das facas e tornar o processo inviável.

A umidade é outro fator importante a considerar na laminação, pois a madeira é comprimida contra uma faca para a realização do corte, e o excesso de água pode fazer com que haja compressão sobre as fibras, arrebatando-as, prejudicando a qualidade superficial da lâmina (LUTZ, 1978).

Uma das formas de evitar a perda da qualidade das lâminas é realizando o cozimento das toras, que é um processo que visa aumentar a elasticidade da madeira, favorecendo o melhor acabamento da superfície das lâminas e facilitando o processo de laminação (PRATA, 2006).

Lutz (1978) afirma que toras com umidades entre 50 e 60% resultam em lâminas de boa qualidade, já toras com umidades muito baixas, inferiores a 25%, resultam em lâminas de baixa qualidade.

2.2.2 Secagem de lâminas

A secagem de lâminas de madeira é um processo de retirada de água até um determinado teor de umidade, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de forma técnica e economicamente viável para o uso final a que se destina. O objetivo básico da secagem de lâminas é oferecer condições adequadas para a sua colagem e formação de painéis (IWAKIRI, 2005).

Os defeitos decorrentes da secagem da lâmina podem ocorrer quando cuidados mínimos não são adotados, pois, como a madeira é fraca perpendicularmente à grã, frequentemente surgem fendas nas lâminas. Uma das principais razões do surgimento de fendas é a manipulação brusca das lâminas, visto que as fendas se iniciam com a lâmina ainda no estado verde (THOEMEN; IRLE; SERNEK, 2010).

De acordo com Umaña e Brito (2004), apesar da secagem de lâminas ser mais fácil que a secagem de madeira, devido a menor espessura, é um dos processos mais importantes, pois, geralmente, altos teores de umidade resultam,

posteriormente, em problemas na colagem, podendo também ocasionar falha na impregnação de resina na madeira, causando bolhas de vapor na linha de cola, acarretando delaminação ou até mesmo estouro dos painéis na saída da prensa.

Porém, quando o teor de umidade é extremamente baixo, também podem ocorrer problemas na colagem, tendo em vista que a lâmina absorverá mais resina, aumentando, assim, a velocidade de cura e a solidificação, ocasionando falhas na linha de cola (TOMASELLI, 1980).

O Programa Nacional da Qualidade da Madeira (ABIMCI, 2009) estabelece requisitos mínimos de teores de umidade para lâminas de capa, contracapa e miolo utilizadas em painéis compensados, com base na resina a ser utilizada. Em média, o PNQM estabelece que lâminas de capa e contracapa devem possuir uma umidade inferior a 12%, e o miolo menor que 8%, quando utilizada resina fenólica na produção.

Para se chegar ao teor de umidade desejável, uma série de fatores devem ser considerados no processo de secagem das lâminas, os inerentes à própria madeira e os relativos ao controle do processo de secagem. Segundo Iwakiri (2005), os inerentes à madeira são a espécie, a densidade da madeira, a espessura da lâmina e o teor de umidade inicial; e os inerentes ao processo, o volume de lâminas e a velocidade de passagem das lâminas, assim como temperatura, umidade relativa e velocidade de ar.

Comstock (1981) afirma que a densidade da madeira tem relação inversa com a velocidade, ou seja, quanto maior a densidade, menor será a velocidade de secagem.

Lutz (1978) afirma que a temperatura possui relação inversa com o tempo de secagem. Quando a secagem das lâminas é efetuada com altas temperaturas, próximas aos 280°C, a superfície das lâminas perde suas características ideais para adesão; com temperaturas de 210°C ou menores, a superfície mantém essas características.

2.3 PAINÉIS COMPENSADOS

Iwakiri (2005) descreve os painéis compensados como um painel fabricado através da colagem de lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacente, e colados sob efeitos da pressão e

temperatura. A primeira e última lâminas são chamadas de capa e contracapa e, as lâminas internas de miolo (BODIG; JAYNE, 1982).

A madeira de *Pinus* é a principal matéria-prima utilizada na produção industrial de painéis compensados no Brasil, devido ao rápido crescimento das espécies e a possibilidade de substituição das espécies nativas que, antigamente, eram utilizadas (IWAKIRI et al., 2007).

Como forma de aumentar a oferta de matéria-prima para o setor de base florestal, algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas. Como exemplo, pode-se citar Iwakiri et al. (2013) que, avaliando painéis laminados de sequoia (*Sequoia sempervirens*), concluíram que as lâminas desta espécie podem ser utilizadas como miolo em painéis compensados para uso externo.

Segundo Kazmierczak (2012), os painéis compensados encontrados no mercado são de três tipos: laminados, sarrafeados e multissarrafeados. Os primeiros são produzidos com finas lâminas de madeira prensadas. No compensado sarrafeado, o miolo é constituído de sarrafos colados lado a lado e revestidos com lâminas. No multissarrafeado, o miolo é composto de lâminas prensadas e coladas na vertical, fazendo uma espécie de “sanduíche”.

Os painéis compensados podem ser classificados em três grupos, com base na sua aplicação, sendo eles: (1) para o uso interno (IR), que são painéis utilizados em locais protegidos da ação da água ou da alta umidade, colados com adesivos à base de uréia-formaldeído; (2) para o uso Intermediário (IM), que são utilizados em locais com alta umidade relativa podendo, algumas vezes, receber a ação de água e são colados com adesivos à base de melanina-ureia-formaldeído; (3) para uso Externo (EX), que são painéis para uso em ambientes externos ou fechados que são submetidos a umedecimento e secagem ou ação da água, colados com adesivos à base de fenol-formaldeído (IWAKIRI, 2005).

Ainda segundo o mesmo autor, no Brasil os painéis compensados são regidos pela norma NBR3 – INMETRO, que os classifica em: de uso geral, forma de concreto, decorativo, industrial, naval, sarrafeado, resinado e plastificado. O mais utilizado no Brasil, é o compensado para forma de concreto, no qual é utilizado uma resina à prova d'água e é admitido para uso exterior, e muito difundido para construção civil, tanto para forma de concreto para construções menores, como para caixarias em construção maiores.

De acordo com Kazmierczak (2012), a produção de painéis compensados em escala industrial iniciou-se em meados do século XX na região Sul do país, onde o Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) era a principal matéria-prima, e esta produção era totalmente absorvida pelo mercado interno. Já em meados da década de 70, as empresas iniciaram as exportações dos painéis, principalmente para países como Estados Unidos, Reino Unido, Porto Rico e Alemanha.

Segundo o Serviço Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2016), houve uma queda nas exportações de painéis compensados entre os anos de 2008 e 2011, resultado da crise econômica mundial, porém, com a retomada da economia no ano de 2012, houve um aumento significativo do volume de painéis compensados exportados, conforme Tabela 2.

TABELA 2 – EXPORTAÇÕES DE PAINÉIS COMPENSADOS NO PERÍODO DE 2008 A 2015

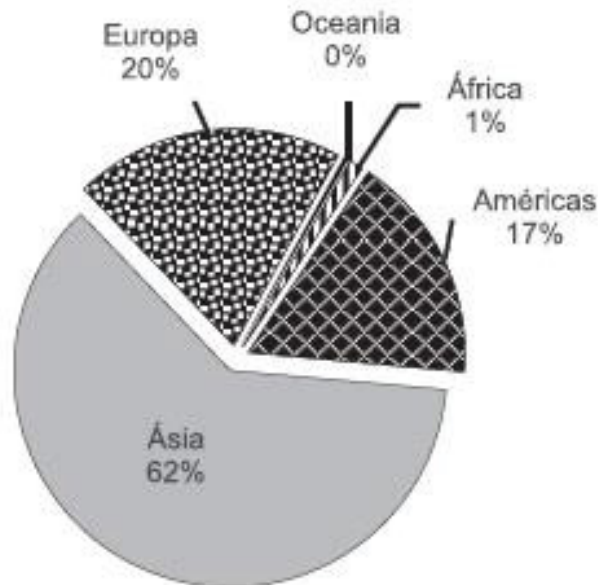
Produto	Ano							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Painéis Compensados em milhões de m ³	2,1	1,5	1,4	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9

FONTE: Adaptada de SNIF (2016).

Dados do SNIF (2016) ainda apontam que os estados brasileiros que possuem o maior volume de exportação de painéis compensados são Paraná e Santa Catarina, sendo estes, também, os responsáveis pela maior arrecadação monetária.

Biazus, Da Hora e Leite (2010) descrevem que o continente asiático é o principal destino das exportações mundiais de painéis compensados, seguido do continente Europeu e Americano (Figura 3). Tal fato é explicado pelos autores como uma tendência cultural deste continente que utilizam destes painéis na construção civil.

FIGURA 3 – DESTINO DAS EXPORTAÇÕES DE COMPENSADOS BRASILEIROS NO MERCADO INTERNACIONAL



FONTE: BIAZUS; DA HORA; LEITE, 2010.

2.4 VARIÁVEIS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS

Na produção de painéis compensados muitas variáveis devem ser consideradas, entre elas as propriedades físicas e químicas da madeira, o tipo e a quantidade de adesivo e os parâmetros de prensagem. Este controle tem por objetivo a obtenção de um produto final com características desejáveis e que atendam aos valores mínimos impostos pelas normas de referência sob a qual um produto é avaliado (TRIANOSKI et al., 2015).

2.4.1 Variáveis inerentes à madeira que afetam a qualidade dos painéis compensados

2.4.1.1 Densidade da madeira

A densidade da madeira possui relação inversa com a porosidade e a ação de penetração de adesivos na estrutura lenhosa. Madeiras de alta densidade apresentam a tendência de limitação da mobilidade do adesivo, resultando no enfraquecimento da ligação adesiva (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991; KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; SELLERS, 1985). Por outro lado, em madeiras de baixa

densidade ocorre maior penetração do adesivo e poderá resultar em linha de cola “faminta”. Com isso, há a necessidade de adaptação das formulações dos adesivos baseando-se na densidade da madeira (IWAKIRI, 2005).

Espécies de média densidade, como a *Hevea brasiliensis*, possuem uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais, que requerem maior resistência mecânica (IWAKIRI et al., 2007).

A relação entre densidade da madeira e as propriedades mecânicas é amplamente conhecida. Iwakiri et al. (2002), analisando os efeitos do crescimento radial do *Pinus taeda* na densidade das lâminas e nas resistências mecânicas dos painéis compensados, concluíram que lâminas obtidas das partes mais externas das toras apresentaram maiores densidade e resultaram em maiores resistências mecânicas, quando utilizadas na capa e na contracapa de painéis.

2.4.1.2 pH e extrativos

Marra (1992) relata que a composição química de uma espécie pode afetar a colagem de lâminas em painéis compensados. As propriedades químicas mais importantes na colagem de madeiras são os extrativos, pH e teor de cinzas (IWAKIRI, 2005).

Os extrativos podem afetar as reações de polimerização da resina, diminuindo a qualidade de colagem, limitando o desempenho da linha de cola e, conseqüentemente, restringindo ou, até mesmo, inviabilizando sua utilização (HILLIS; BROWN, 1978; MARRA, 1992; JANKOWSKI, 1988; LIMA et al., 2007; CLOUTIER, 1998).

Além dos extrativos, o pH pode inibir as reações químicas de endurecimento da resina e coesão adequada da linha de cola, aumentando o tempo de prensagem (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; FENGEL; WEGENER, 1989).

Madeiras com pH pouco ácido requerem catalisador externo para acelerar a cura da resina ureia-formaldeído e, assim, efetuar a prensagem em tempo aceitável (BINDER, 1967). Por outro lado, pH extremamente ácido pode resultar na pré-cura da resina, prejudicando a qualidade da colagem e diminuindo a resistência da linha de cola (MALONEY, 1993; ALBUQUERQUE, 2002).

O conteúdo de cinzas na madeira não afeta diretamente a performance da ligação adesiva, no entanto, poderá afetar o pH ou as características de usinabilidade da madeira, devido à presença de minerais como sílica e seu efeito quanto ao desgaste excessivo das peças cortantes (IWAKIRI, 2005).

2.4.1.3 Teor de umidade das lâminas

Segundo Marra (1992), o teor de umidade e sua distribuição dentro e entre peças de madeira influenciam a formação e o desempenho da colagem, exigindo um aprimorado controle do processo. O autor ainda especifica que as mudanças dimensionais, causadas pela umidade, tendem a causar tensões na linha de cola.

Vick (1999) relata que o controle do teor de umidade é altamente crítico quando o adesivo é curado em prensa quente, pois o excesso de umidade se transforma em vapor d'água com alta pressão dentro do produto e pode causar estouro de painéis e delaminação.

2.4.2 Variáveis do processo de produção de painéis compensados

2.4.2.1 Preparação e aplicação do adesivo

Segundo Ferreira (2011), a colagem adequada de madeiras está diretamente relacionada a algumas características físico-químicas dos adesivos como: viscosidade, *gel time* e teor de sólidos.

A viscosidade de um líquido pode ser definida como a resistência ao fluxo livre entre camadas de uma matéria, ou, ainda, a grandeza que caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento. O *gel time* corresponde ao período transcorrido desde a preparação do adesivo para aplicação, que inclui a adição de catalisador, extensores, etc., até o “ponto” de endurecimento, ou a fase de gel, quando atinge a máxima elasticidade. O teor de sólidos é definido como a quantidade de sólidos contidos na resina. A resina é composta de componentes sólidos e líquidos voláteis constituídos de solventes orgânicos (IWAKIRI, 2005).

Marra (1992) relata que as resinas ureia-formaldeído (UF) e fenol-formaldeído (FF) são as mais utilizadas na fabricação de painéis industriais. Segundo Forss e Fuhrmann (1979), a resina ureia-formaldeído tem como principal

vantagem o baixo custo, entretanto, possui baixa resistência à umidade e seu uso é restrito ao ambiente interno. Para painéis de uso externo, utiliza-se resina fenol-formaldeído ou melamina-ureia-formaldeído, pois estas possuem maior resistência à umidade. Assim, a escolha de adesivo deve considerar sempre o produto final, ou seja, o ambiente onde será utilizado (KELLY, 1977).

A formulação da batida de cola e a gramatura são parâmetros que irão influenciar diretamente na qualidade da colagem e, ao mesmo tempo, no custo de produção do compensado (SELBO, 1975; SELLERS, 1985; BALDWIN, 1995).

O adesivo utilizado para a colagem de lâminas é preparado através da mistura de vários componentes como: resina, extensor, água, materiais de enchimento, entre outros materiais mais pontuais, como retardantes de fogo e imunizantes contra agentes biodegradadores. A formulação é definida em função do tipo de resina e dos níveis de qualidade requeridos do painel compensado (IWAKIRI, 2005).

A gramatura do adesivo depende do tipo de resina, da espessura da lâmina e da formulação. A escolha apropriada da gramatura, ou seja, a quantidade de adesivo por m² de madeira a ser colada, deve considerar que os adesivos possuem alto custo e interferem na resistência e na qualidade da colagem (SANTOS; DEL MENEZZI, 2010). Segundo Faherty e Williamson (1997), a utilização do teste de cisalhamento da linha de cola é a maneira mais eficaz de testar a resistência da colagem realizada por adesivos.

2.4.2.2 Montagem e assemblagem de compensados

O princípio de construção de um painel compensado é baseado na laminação cruzada e na restrição da linha de cola e tem, como finalidade, o balanceamento dos comportamentos físico-mecânicos das lâminas de camadas adjacentes, dispostas nos sentidos paralelo e perpendicular ao plano do painel (BODIG; JAYNE, 1982).

Segundo Pinto (2011), as lâminas que recebem toda a carga exercida são as de capa e contracapa e, portanto, determinam a qualidade dos painéis. Por esta razão, lâminas de qualidade superior são utilizadas nestas posições e, as de qualidade inferior, são utilizadas para compor o miolo.

Após a montagem, é necessário um determinado “tempo de espera”, ou tempo de assemblagem, para que ocorra a transferência adequada do adesivo para as lâminas adjacentes e a absorção do adesivo pelas lâminas. O tempo de assemblagem refere-se ao tempo transcorrido entre a montagem dos painéis compensados e o carregamento na prensa quente (IWAKIRI 2005).

Se este tempo for menor do que o ideal, não haverá penetração suficiente do adesivo na lâmina, ocasionando perda da qualidade da colagem. Se for maior, ocorrerá uma polimerização parcial do adesivo antes da prensagem. A não compatibilidade entre o adesivo e a madeira resulta em uma linha de cola sem resistência e perda da qualidade do painel (JANKOWSKY, 1980; LIMA et al., 2011).

2.4.2.3 Prensagem dos painéis

O ciclo de prensagem influencia as propriedades dos painéis compensados, e o perfeito controle desta etapa é de fundamental importância, pois dela depende, em grande parte, a qualidade final dos painéis (MATOS, 1988; GUIMARÃES JUNIOR et al., 2009)

Os principais parâmetros do ciclo de prensagem são: o tempo, a pressão e a temperatura de prensagem, contudo, a assemblagem, a pré-prensagem e, também, o acondicionamento, contribuem para o aumento da qualidade dos painéis (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977).

A pré-prensagem tem como principal finalidade auxiliar na transferência e na distribuição do adesivo entre as lâminas e facilitar as operações de carregamento da prensa (IWAKIRI, 2005). Um controle importante nesta etapa é com relação à pressão, para que não haja efeito sobre a espessura final do painel (PRATA, 2006).

Segundo Iwakiri (2005), o tempo de prensagem de um painel está relacionado ao tempo necessário para que a linha de cola mais interna atinja a temperatura de cura da resina. Portanto, o tempo de prensagem depende, diretamente, da espessura do painel, da temperatura da prensagem e do tipo de adesivo utilizado.

Lehmann e Hefty (1973) e Nock e Richter (1978) relacionam o tempo de prensagem com alguns fatores, dos quais pode-se destacar: o tipo de resina, o catalisador, o teor de umidade da lâmina, o tipo e a quantidade de extensor, a

temperatura de prensagem, a espessura do painel, a densidade da madeira e a porosidade.

Pio (1996) afirma que o tempo de prensagem, especialmente o dos painéis compensados, é calculado considerando um "tempo básico" que varia entre 2 e 4 minutos e depende do tipo de resina, da temperatura de prensagem e da espessura do painel.

Com o aumento da temperatura, há uma diminuição do tempo de prensagem, conforme apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E TEMPO DE PRENSAGEM

T °C	min/mm
50	4-5
60	3-4
70	2
80	2
90	1
100	1
110	0,5
120	0,5
130	0,5
140	0,5

FONTE: NOCK; RICHTER (1978).

Segundo Prata (2006), as indústrias de resinas especificam que, para resinas à base de fenol-formaldeído, utiliza-se o tempo de 1 min/mm para temperaturas abaixo de 140°C e, acima desta temperatura, o tempo utilizado é de 0,8 min/mm.

A pressão aplicada durante a prensagem dos painéis tem a finalidade de transferir o adesivo entre as lâminas e assegurar um contato adequado entre as lâminas e os pratos quentes da prensa. Com a prensagem, ocorre a redução de espaços vazios na madeira devido à compressão e melhora a difusão de calor a partir da superfície ao centro do painel. O nível de pressão a ser aplicado está em função da densidade da madeira, da superfície das lâminas e da gramatura (MOSLEMI, 1974; MATOS, 1988; IWAKIRI, 2005).

Na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros de pressão para alguns fatores inerentes à madeira e ao processo.

TABELA 4 - VARIAÇÃO DA PRESSÃO CONFORME FATORES DO PROCESSO

FATOR DE PRESSAO	PRESSÃO	
	BAIXA	ALTA
Densidade da madeira	Baixa	Alta
Superfície da Lâmina	Lisa	Áspera
Gramatura (adesivo)	Elevada	Baixa

FONTE: Adaptada de IWAKIRI (2005).

Pio (1996) recomenda temperaturas de 70 a 120°C para prensagem de painéis com resina uréica e superior a 135°C para resina fenólica, no entanto, flutuações de $\pm 5^\circ\text{C}$ não interferem na qualidade final do painel compensado. Prata (2006), por sua vez, menciona que fabricantes de resinas orientam a utilização de temperaturas entre 125 a 150°C para adesivo fenólico.

Após serem retirados da prensa, os painéis compensados encontram-se em condições de instabilidade em relação ao teor de umidade e temperatura. O teor de umidade da superfície é menor em relação ao centro, ao passo que a temperatura da superfície é maior em relação ao centro do painel. O período de acondicionamento visa equalizar os gradientes de temperatura e umidade dos painéis, além de realizar a cura adicional da resina (IWAKIRI, 2005).

Após esta etapa, os painéis passam por uma pré-classificação, esquadrejamento, calibração e lixamento, e classificação final.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DE MATERIAL

Foram coletadas quatro árvores de *Hevea brasiliensis* provenientes de um plantio com idade de 27 anos, localizado na cidade de Paranapoema, Mesorregião Noroeste do estado do Paraná ($22^{\circ}38'02''$ S e $52^{\circ}05'52''$ O) com clima caracterizado como subtropical. O plantio está localizado na propriedade Fazenda Guanabara, tendo como principal atividade a extração de látex.

As árvores foram selecionadas aleatoriamente no plantio, abatidas e, posteriormente, seccionadas em dois toretes com 1,5m de comprimento cada (Figura 4).

FIGURA 4 – PLANTIO DE *Hevea brasiliensis* EM PARANAPOEMA – PR E SECCIONAMENTO DAS TORAS



FONTE: O autor (2016).

Cada torete foi separado por altura, sendo um na altura do painel de resinagem e outro acima. Foram retirados discos na base, na altura de 1,5m, de 3m, abaixo de cada torete, e um último a 6m de altura para a determinação da densidade básica e das propriedades químicas, conforme Figura 5.

FIGURA 5 – POSIÇÕES DE COLETA DOS DISCOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E PROPRIEDADE QUÍMICA DA MADEIRA, E DOS TORETES PARA LAMINAÇÃO



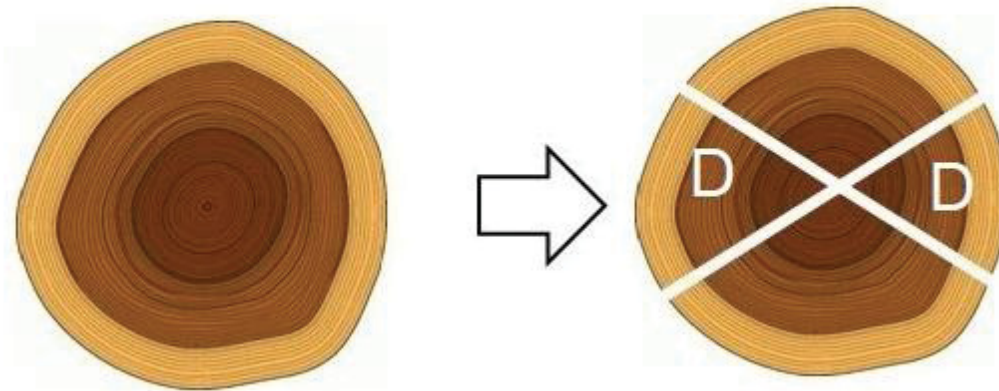
FONTE: O autor (2017).

NOTA: "D e Q": Discos utilizados para determinação da densidade básica e propriedades químicas da madeira; 1 e 2: Toretos utilizados para laminação, sendo 1 com extração de látex e 2 sem extração de látex.

3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Para a determinação da densidade básica da madeira de *Hevea brasiliensis*, foram retiradas duas cunhas opostas de cada disco (Figura 6). As cunhas foram saturadas para obtenção do volume pelo método da balança hidrostática, seguindo recomendações da Norma Copant 461/72.

FIGURA 6 – LAYOUT DE CORTE DOS DISCOS PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA



FONTE: O autor (2017).

NOTA: D – Cunhas utilizadas para densidade básica.

A densidade básica foi obtida por meio da relação entre massa seca e o volume saturado, segundo a Norma Copant 461/72 (1).

$$Db = \frac{Ms}{Vs} \quad (1)$$

Onde:

Db = Densidade básica (g/cm^3)

Ms = Massa seca (g)

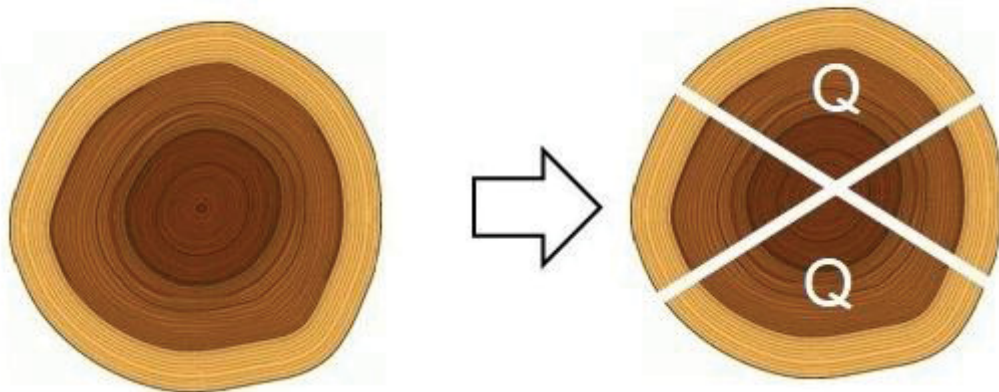
Vs = Volume saturado (cm^3)

3.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

Para determinação das propriedades químicas da madeira de *Hevea brasiliensis*, as duas cunhas restantes de cada disco (Figura 7) foram transformadas em cavacos por meio de um picador de disco e, posteriormente, reduzidos em partículas em um moinho de martelos. As partículas foram transformadas em serragem em moinho de facas do tipo *Wiley*, e classificadas manualmente em peneiras de 40 e 60 *mesh*, sendo utilizado o material retido na malha de 60 *mesh*, conforme norma TAPPI 264 cm-97. As partículas obtidas a partir das cunhas, para

as quatro árvores, foram misturadas conforme altura para obtenção de um valor único para cada altura.

FIGURA 7 - LAYOUT DE CORTE DOS DISCOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA



FONTE: O autor (2017).

NOTA: Q – Cunhas utilizadas na determinação da composição química.

Na Tabela 5 estão apresentadas as normas utilizadas para a realização da análise química do material.

TABELA 5 – NORMAS EMPREGADAS PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS

ANÁLISE QUÍMICA	NORMAS
Extrativos Totais	TAPPI T 204 om-97
Lignina Klason Insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Lignina Solúvel	Goldschimidt (1971)
Teor de Cinzas	TAPPI T 211 om-02
Ph	TAPPI T 252 om-02 – adaptada

FONTE: O autor (2017).

Para a determinação do pH da madeira foi realizada uma adaptação da norma TAPPI 252 om-02, em que foram pesados 2g de serragem absolutamente seca, transferidas para um erlenmeyer com 200ml de água destilada e mantidas sob fervura durante uma hora à 97°C, em banho-maria. As amostras foram resfriadas à temperatura ambiente (25°C) para a obtenção do pH em pHmetro digital após intervalo de 2 e 24 horas.

Na Figura 8 estão ilustrados os equipamentos utilizados na determinação das propriedades químicas da madeira.

FIGURA 8 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis*



FONTE: O autor (2017).

NOTA: (1) Espectrofotometria da lignina solúvel; (2) Filtragem da lignina klason; e (3) Extração dos extrativos totais (álcool/tolueno, álcool e água).

As equações utilizadas para a obtenção dos valores dos teores de holocelulose, extrativos totais, lignina Klason, solúvel e total, bem como o teor de cinzas, estão apresentadas a seguir:

- HOLOCELULOSE

$$H = 100 - (ET - LT) \quad (2)$$

Onde:

H = Teor de holocelulose (%)

ET = Extrativos totais (%)

LT = Lignina total (%)

- EXTRATIVOS TOTAIS

$$ET (\%) = (1 - Ma) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

ET = Extrativos totais (%)

Ma = Massa absolutamente seca de serragem sem a tara do cadinho (g)

- LIGNINA KLASON (RESIDUAL)

$$L.R.(%) = \left(\frac{\frac{(Mf)}{0,3}}{1 - \left(\frac{E.T.}{100} \right)} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

L.R.(%) = Lignina Klason (Residual)

Mf = Massa absolutamente seca de lignina sem a tara do cadinho (g).

E.T. = Extrativos totais (%).

- LIGNINA SOLÚVEL

$$L.S.(%) = \left[\frac{4,53 \times L215 - L280}{300 \times \left(\frac{0,3}{1 - \frac{E.T.}{100}} \right)} \right] \times 100 \quad (5)$$

Onde:

L.S. = Lignina solúvel (%).

L215 = Absorbância no comprimento de onda 215nm

L280= Absorbância no comprimento de onda 280nm
 E.T. = Extrativos totais (%).

- LIGNINA TOTAL

$$L.T.(%) = L.R.(%) + L.S.(%) \quad (6)$$

Onde:

L.T. = Lignina total (%)

L.R. = Lignina Klason (%)

L.S. = Lignina solúvel (%)

- CINZAS

$$T_c = \frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} \times 100 \quad (7)$$

Sendo:

T_c = Teor de cinzas (%)

P_{ac} = Peso cinzas (g) + Peso cadinho (g)

P_c = Peso cadinho (g)

P_{as} = Peso da amostra seca (g)

3.4 LAMINAÇÃO DAS TORAS E SECAGEM DE LÂMINAS

A partir de toretes de 0,65m de comprimento (Figura 9), sem cozimento, lâminas com 2mm de espessura nominal foram obtidas através de um torno desfolhador rotativo, no Laboratório de Painéis de Madeira da UFPR.

FIGURA 9 – TORETES PARA PRODUÇÃO DAS LÂMINAS



FONTE: O autor (2016).

Antes da laminação foram medidas duas circunferências do torete com casca, uma em cada extremidade, devido à conicidade da tora. Após o arredondamento do torete no torno, as medidas foram novamente determinadas no torete já arredondado. Posterior à laminação, obteve-se como material restante um rolo resto com diâmetro médio de 9 cm. Obtidas as lâminas, estas foram seccionadas com dimensões de 60x60 cm em uma guilhotina pneumática.

Na Figura 10 estão ilustradas as etapas do processo de laminação da madeira de *Hevea brasiliensis*.

FIGURA 10 – ETAPAS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis*

FONTE: O autor (2016).

NOTA: 1) Etapa inicial de descascamento do torete; 2) Arredondamento; e 3) Laminação.

Foi adotada uma pré-secagem ao ar livre pelo período de um dia, sendo as lâminas dispostas separadamente, atingindo teor de umidade entre 15 e 25%. Para manufatura dos painéis, as lâminas foram secas em estufa até atingirem teor de umidade médio de 8%.

3.5 RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO

O cálculo de rendimento foi realizado com base na razão entre o volume total das lâminas e o volume do torete. Para a cálculo do percentual de perdas por arredondamento, baseou-se na razão entre o volume do torete, antes e depois de arredondado.

As equações utilizadas para obtenção das perdas por arredondamento, volume do torete, das lâminas e rendimento médio estão descritas a seguir:

- PERDAS POR ARREDONDAMENTO

$$Pa = \frac{V_t}{V_a} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

Pa - Perdas por arredondamento (%)

V_t - Volume do torete com casca (m³)

V_a - Volume do torete arredondado (m³)

- VOLUME DO TORETE

$$V_t = \frac{(\phi_m)^2 \times \pi}{40000} \times h \quad (9)$$

Onde:

V_t - Volume total do torete (m³)

ϕ_m - Diâmetro médio do torete, na situação desejada (cm)

π - Constante PI (3,14159)

h - Comprimento do torete (m)

- VOLUME DAS LÂMINAS

$$Vl = c \times l \times e \times n \quad (10)$$

Onde:

Vl - Volume total das lâminas (m³)

c - Comprimento das lâminas (m)

l - Largura das lâminas (m)

e - Espessura média das lâminas, 4 pontos por lâmina (m)

n - Quantidade de lâminas inteiras por torete

- RENDIMENTO MÉDIO

$$R = \frac{Vl}{Vt} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

R - Rendimento da laminação (%)

Vl - Volume total de lâminas (m³)

Vt - Volume do torete com casca (m³)

3.6 PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS

A produção dos painéis compensados foi dividida em duas etapas: (1) para avaliação da influência do painel de extração de látex nas propriedades físico-mecânicas dos painéis; (2) para avaliação da influência da interação entre diferentes gramaturas e formulações nas propriedades físico-mecânicas dos painéis.

3.6.1 Etapa 1 – Efeito do painel de extração de látex

Foram produzidos 3 painéis por tratamento, constituídos de cinco lâminas, tendo o painel uma espessura nominal de 10mm. Foi utilizada resina fenol-formaldeído com teor de sólidos de 54,50%.

O adesivo foi formulado com 100 partes de resina, 30 de farinha de trigo e 25 de água, resultando em um teor de sólidos da batida de cola de 35%. A gramatura adotada nesta primeira etapa foi de 180 g/m² (linha simples).

As lâminas foram sobrepostas alternadamente para a formação do painel, e este foi deixado em assemblagem por 40 minutos. Os painéis foram prensados por 10 minutos, à temperatura de 140°C e pressão específica de 10 Kgf/cm².

Na Tabela 6 está apresentado o delineamento experimental desta etapa.

TABELA 6 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA ETAPA DO EFEITO DA EXTRAÇÃO DE LÁTEX SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS

TRATAMENTO	PARTES DA ÁRVORE
T1 (S/ LÁTEX)	Lâminas obtidas da parte do tronco sem extração de látex
T2 (C/ LÁTEX)	Lâminas obtidas da parte do tronco com extração de látex

FONTE: O autor (2016).

Após a confecção dos painéis, estes foram esquadrejados e acondicionados em câmara climática à temperatura de 20₊₃°C e umidade relativa de 65₊₅% até atingir a umidade de equilíbrio aproximado de 12%. Posteriormente, foram confeccionados os corpos de prova para avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis.

3.6.2 Etapa 2 – Efeito da gramatura e teor de sólidos da batida de cola

Foram produzidos 3 painéis por tratamento, constituídos de cinco lâminas, sem distinção da altura da retirada, tendo o painel espessura nominal de 10mm. Foi utilizada resina fenol-formaldeído com teor de sólidos de 54,50%.

Os adesivos foram formulados com: 100 partes de resina, 30 de farinha de trigo e 25 de água, resultando em um teor de sólidos de batida de cola de 35%, e com: 100 partes de resina, 20 de farinha de trigo e 25 de água, resultando em um teor de sólidos de batida de cola de 40%.

Para cada formulação, a resina foi aplicada sobre as lâminas com gramaturas de 140, 160 e 180 g/m² (linha simples), e os painéis foram prensados por 10 minutos, à temperatura de 140°C e pressão específica de 10 Kgf/cm².

Na Tabela 7 está apresentado o delineamento experimental desta etapa.

TABELA 7 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL DA ETAPA DO EFEITO DA VARIAÇÃO DE GRAMATURA E TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA SOBRE AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS

TRATAMENTO	TEOR DE SÓLIDOS (%)	GRAMATURA (g/m ²)
T1 – 35% - 140 g/m ²	35,16	140
T2 – 35% - 160 g/m ²		160
T3 – 35% - 180 g/m ²		180
T4 – 40% - 140g/m ²	40,37	140
T5 – 40% - 160 g/m ²		160
T6 – 40% - 180 g/m ²		180

FONTE: O autor (2017).

Na figura 11 pode ser visualizada as etapas de montagem, assemblagem e prensagem dos painéis.

FIGURA 11 – PREPARAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS



FONTE: O autor (2017).

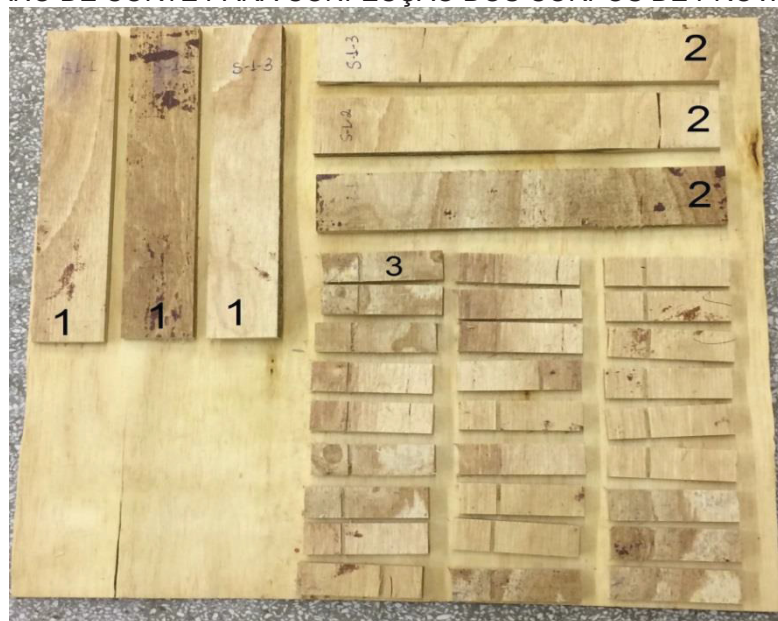
NOTA: (1) Aplicação da resina; (2) Assemblagem; e (3) Prensagem.

3.7 PREPARAÇÃO E ENSAIOS DOS CORPOS DE PROVA

De cada painel foram retirados seis corpos de prova para ensaios de flexão estática, sendo três na posição paralela e três na perpendicular ao plano do painel, e 27 corpos de prova para cisalhamento da linha de cola, sendo utilizados cinco para cada pré-tratamento (seco, água fria, fervura 6 horas, fervura 24 horas e ciclo de fervura), conforme plano de corte ilustrado na Figura 12.

Os pré-tratamento tem o objetivo de submeter os corpos de prova à diversos ambientes, que imitam as suas possibilidades de uso, sendo o ciclo fervura o pré-tratamento mais prejudicial ao painel, que consiste em 4 horas de fervura, seguidos por 20 horas de secagem em estufa e finalizado com mais 4 horas de fervura.

FIGURA 12 – PLANO DE CORTE PARA CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS



FONTE: O autor (2017).

NOTA: (1) Flexão Estática Paralela; (2) Flexão Estática Perpendicular; e (3) Cisalhamento da linha de cola.

As propriedades físico-mecânicas avaliadas foram a densidade aparente, flexão estática, paralela e perpendicular ao plano do painel, e cisalhamento da linha de cola, todos conforme as Normas Europeias EN. Ressalta-se que, para a determinação da densidade aparente, utilizou-se todos os corpos de prova de flexão estática.

Na Tabela 8 estão apresentados os ensaios, as quantidades de corpos de prova e as respectivas normas utilizadas para avaliação físico-mecânica.

TABELA 8 – DIMENSÕES, AMOSTRAGEM DOS CORPOS DE PROVA E NORMAS UTILIZADAS

Ensaio		Quantidade de Corpos de prova/Painel	Normas
Densidade Aparente		6	EN 323
Flexão Estática	Paralelo	3	EN 310
	Perpendicular	3	EN 310
Cisalhamento em linha de cola	Seco	5	EN 314-1
	Ciclo de Fervura	5	EN 314-1
	Fervura 6h	5	EN 314-1
	Fervura 72h	5	EN 314-1
	Água Fria	5	EN 314-1

FONTE: O autor (2017).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio do teste de Grubbs para verificação de *outliers*, de Kolmogorov Smirnov para verificação da normalidade dos dados, de Bartlett para confirmação da homogeneidade da variância e, por fim, submeteu-se os dados à análise da variância (ANOVA). Rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias por meio do teste de Tukey à 95% de confiabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Na Tabela 9 estão apresentados os valores médios obtidos para a densidade básica da madeira ao longo do fuste.

TABELA 9 – RESULTADOS DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* AO LONGO DO EIXO LONGITUDINAL

Posição	Densidade básica (g/cm ³)
BASE	0,617 a (21,50%)
1,5m	0,529 a (15,31%)
3,0m	0,587 a (27,28%)
6,0m	0,555 a (29,99%)
MÉDIA	0,572

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os valores médios de densidade básica da madeira variaram de 0,529 g/cm³ na altura de 1,5m a 0,617 g/cm³ na base, sendo as médias estatisticamente iguais entre si, porém em médias absolutas notou-se que a densidade na base se mostrou maior que a encontrada nas outras alturas, comprovando que a madeira mais velha presente na base, possui uma densidade superior à encontrada nas regiões mais altas da árvore.

Os valores médios de densidade básica da madeira de *Hevea brasiliensis* mostraram-se superiores aos encontrados por Leonello (2011) e Matan e Kyokong (2013), que, estudando o clone RIMM 600, obtiveram densidades básicas de 0,581 g/cm³ e 0,580 g/cm³, respectivamente. Esta diferença pode ser atribuída à idade das árvores, 29 e 30 anos, respectivamente e também às condições edafoclimáticas dos locais de coleta.

Por outro lado, os resultados mostraram-se semelhantes aos encontrados por Santana, Eiras e Pastore (2001) para diferentes clones de seringueira, cujos valores médios variaram de 0,47 g/cm³ a 0,51 g/cm³; e superiores aos encontrados

por Arango Alzate, Filho e Piedade (2005) e Segura e Silva Junior (2016), para *Eucalyptus urograndis*, cujos valores médios foram de 0,49 g/cm³ e 0,45 g/cm³, respectivamente.

Com valor médio de 0,572 g/cm³, a madeira de *Hevea brasiliensis* pode ser classificada como de média densidade, conforme classificação recomendada por Melo, Coradin e Mendes (1990) e Lorenzi (2000). Os valores médios de densidade básica encontrados nesta pesquisa se mostraram maiores às de espécies de *Pinus* mais utilizada para a fabricação de painéis compensados no país.

Iwakiri et al. (2007), relata que espécies de média densidade, como o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e *Hevea brasiliensis*, possuem uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais, que requerem maior resistência mecânica.

A partir dos valores médios obtidos para a densidade básica da madeira de *Hevea brasiliensis*, pode-se afirmar que, provavelmente, não haverá problemas na produção de compensados utilizando esta espécie, pois, segundo Marra (1992) e Sellers (1985), madeiras de média densidade tendem a resultar em uma ligação adequada entre adesivo e madeira.

Os resultados médios de densidade básica obtidos, no sentido longitudinal, indicam uma homogeneidade para a madeira de *Hevea brasiliensis*, onde não houve influência do painel de extração de látex. Baseado nisto, pode-se dizer a madeira de *Hevea brasiliensis* apresenta potencial para a laminação.

4.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA

Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios obtidos na análise química da madeira de *Hevea brasiliensis*.

TABELA 10 - RESULTADOS MÉDIOS DA ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis*

Posição	Parâmetros da composição química da madeira						
	ET (%)	LK (%)	LS (%)	LT (%)	H (%)	C (%)	pH
BASE	6,00a	19,61a	3,79b	23,40a	70,60c	1,04b	6,65a
	(7,23%)	(1,47%)	(0,40%)	(1,17%)	(0,97%)	(2,09%)	(0,56%)
1,5m	5,39a	19,06ab	3,81b	22,86ab	71,74bc	1,11ab	6,50b
	(5,30%)	(3,48%)	(0,26%)	(2,83%)	(1,30%)	(1,01%)	(0,76%)
3,0m	4,42b	18,46ab	3,85a	22,31ab	73,27ab	1,18 a	6,51b
	(8,69%)	(5,45%)	(0,45%)	(4,57%)	(1,06%)	(5,40%)	(0,93%)
6,0m	4,39b	17,55b	3,86a	21,41b	74,20a	1,11ab	6,29c
	(3,31%)	(2,38%)	(0,15%)	(1,92%)	(0,74%)	(4,30%)	(1,02%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

LEGENDA: ET – Extrativos totais, %; LK – Lignina Klason; LS – Lignina solúvel; Lignina total; %. H – Holocelulose, %; C – Cinzas.

Os valores médios de extrativos totais variaram de 4,39%, na altura 6,0m, a 6,00%, na base, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados na base e na altura 1,5m foram estatisticamente iguais entre si e superiores às demais alturas. A concentração de extrativos apresentou a tendência de diminuição com a altura da árvore.

A madeira de *Hevea brasiliensis* apresentou percentual de extrativos compatível com os valores mencionados por Fengel e Wegener (1989), em que os autores relatam valores médios variando de 1% a 5% para extrativos totais em folhosas. Baseado nisto, pôde-se classificar a madeira de *Hevea brasiliensis* como de baixa concentração de extrativos, pelo fato de apresentar valores inferiores a 10% (SJÖSTRÖM, 1981).

A presença de extrativos é responsável por inúmeras interações como adsorção e dessorção de umidade, retração volumétrica e molhabilidade (CRUZ, 2006), desta forma, pelo baixo teor de extrativos encontrado para a madeira de *Hevea brasiliensis*, pode-se afirmar que, possivelmente, não haverá problemas relacionados à permeabilidade do adesivo na madeira.

Paes et al. (2009) e Melo et al. (2013), estudando espécies nativas, concluíram que uma concentração de extrativos superior à 10% pode não favorecer o processo de colagem, pois interfere na polimerização da resina. Desta forma, a

baixa concentração de extrativos totais encontrada para *Hevea brasiliensis* pode favorecer a sua utilização na produção de painéis compensados.

Em relação ao painel de extração de látex, Severo et al. (2013), avaliando a concentração de extrativos em árvores de seringueira, encontraram valores médios superiores aos encontrados nesta pesquisa, sendo de 7,69% para região sem extração a 7,25% para região com extração de látex.

Os valores médios de extrativos totais obtidos mostraram-se inferiores aos encontrados por Oliveira Junior (2011), para árvores de seringueira, com 53 anos de idade, proveniente do estado de São Paulo e Riyaphan et al. (2015), para árvores, com 13 anos de idade, provenientes da Malásia, cujos valores médios foram, respectivamente, de 7% e 9%. A variação observada pode ser atribuída à diferença de idade entre as árvores dos trabalhos mencionados.

Os valores médios de lignina Klason variaram de 17,55% a 6,0m de altura a 19,61% na base, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados na base e nas alturas 1,5m e 3,0m foram iguais estatisticamente entre si e superiores ao encontrado a 6,0m de altura.

Para *Hevea brasiliensis*, a concentração de lignina Klason seguiu o mesmo padrão de concentração das árvores avaliadas por Janeiro (2011), comprovando que os teores de lignina estão diretamente ligados à altura da árvore.

Os valores médios de lignina solúvel variaram de 3,79% na base a 3,86% a 6,0m de altura, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados nas alturas 3,0m e comercial se mostraram iguais estatisticamente entre si e superiores às demais alturas.

Os valores médios de lignina total variaram de 21,41% a 6,0m de altura a 23,40% na base, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados na base e nas alturas 1,5m e 3,0m foram iguais estatisticamente entre si e superiores aos encontrados a 6,0m de altura.

Para *Hevea brasiliensis*, os valores médios de lignina total obtidos mostraram-se próximos aos descritos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 1998), que apresentou valores médios de 22,1%, e também dos resultados encontrados por Boerhendy, Agustina e Suryaningtyas (2011), que encontraram valores médios de aproximadamente 20,78%.

Os valores médios de holocelulose variaram de 70,60% na base a 74,20% a 6,0m de altura, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados nas alturas 3,0m e comercial foram iguais estatisticamente entre si e superiores às demais alturas. Pôde-se constatar que, diferentemente do teor de extrativos, a concentração de holocelulose apresentou tendência de diminuição com a altura.

Para *Hevea brasiliensis*, os resultados médios obtidos para holocelulose mostraram-se compatíveis com os encontrados pelo IBAMA (1998), cujo valor médio foi de 74,5%, e também por Allwi (2006), que encontrou valores médios variando de 73,44 a 77,79%.

Os valores médios de teor de cinzas variaram de 1,04% na base a 1,18% na altura 3,0m, sendo as médias estatisticamente diferentes. Os valores médios encontrados nas alturas 1,5m, 3,0m e comercial foram iguais estatisticamente entre si e superiores aos encontrados na base. Pôde-se constatar que a madeira apresentou a tendência de aumento do teor de cinzas com a altura.

O teor de cinzas da *Hevea brasiliensis* apresentou valores médios superiores aos encontrados por Segura (2011) para *Eucalyptus urophylla*, cujo valor médio foi de 0,45%; e os apresentados por Trianoski (2010) para *Pinus taeda*, cujo valor médio foi de 0,30%. Porém, os valores são compatíveis com os apresentados por Browing (1963), Sjöström (1981) e Fengel e Wegener (1989) que relatam que, para espécies tropicais, o teor de cinzas pode chegar a 5%.

As cinzas representam o teor de material inorgânico presente na madeira, que são constituídos principalmente por íons de cálcio, cobre, manganês, ferro, magnésio, alumínio, potássio e sódio, encontrados na forma de carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos (COSTA et al., 1997), isto posto, a quantidade de material inorgânico da madeira pode afetar a produção de lâminas, causando um desgaste excessivo das facas.

Com base nos resultados de teor de cinzas da madeira de *Hevea brasiliensis*, espera-se que as lâminas obtidas nesta pesquisa não ocasionem um desgaste excessivo das facas, o que facilita a manutenção da qualidade do produto obtido.

Os valores médios de pH variaram de 6,29 na base a 6,65 a 6,0m de altura, sendo as médias estatisticamente diferentes. O valor médio encontrado na base se mostrou superior aos obtidos para as demais alturas. Constatou-se a tendência de

diminuição do pH com o aumento da altura da árvore, repetindo o comportamento encontrado para concentração de extrativos.

Os valores médios de pH encontrados para *Hevea brasiliensis* mostraram-se próximos aos encontrados por Trianoski (2010), para espécies florestais alternativas, cujos valores médios foram de 5,45 para *Melia azedarach* e 5,52 para *Toona ciliata*; e superiores aos encontrados, pela mesma autora, para *Pinus taeda*, cujo valor foi de 4,5.

Com base nos resultados obtidos, foi possível observar que, nas regiões mais próximas do painel de extração, detectou-se maior acidez, devido ao fato de receberem maiores estímulos químicos para a produção de látex. Isso pode ser atribuído ao fato do látex ser um extrativo, e mesmo com o pH 6,9, próximo da neutralidade, tem este valor alterado para 5,0 quando exposto ao ar, condição que a madeira analisada se encontrava (VIRGENS FILHO; MOREIRA; CASTRO, 2003).

Valores baixos de pH podem causar a inibição das reações químicas de polimerização do adesivo, prejudicando o processo de colagem (MARRA, 1992). Com base nos valores médios de pH encontrados, estima-se que, possivelmente, não haverá problema na colagem fenólica, considerando que a cura desta resina acontece em meio alcalino.

4.3 RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios das variáveis do processo de laminação das toras de *Hevea brasiliensis*.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DAS TORAS DE *Hevea brasiliensis*

Espécie	VT (m³)	RL (%)	PC (%)	PRR (%)	C
<i>Hevea brasiliensis</i>	0,02641	44,35	39,35	16,30	0,9727
Coefficiente de Variação	19,72	15,41	17,69	20,34	1,17

FONTE: O autor (2017).

LEGENDA: VT – Volume médio dos toretes; RL – Rendimento da laminação; PC – Perdas por descascamento e arredondamento; PRR – Perdas com o rolo resto; C – Fator de conicidade da tora (cm/cm).

O rendimento médio da laminação das toras de *Hevea brasiliensis* foi de 44,35%. O valor médio do rendimento da laminação de *Hevea brasiliensis* mostrou-se superior ao encontrado por Escobar (2011) para árvores da mesma espécie, cujo

valor foi de 36,60%, e os inferiores obtidos por Lisboa et al. (2015) para *Amburana cearensis*, *Sclerobium paniculatum* e *Myracrodruon urundeuva*, cujos valores médios foram de 52, 54 e 35%, respectivamente.

Por outro lado, o resultado médio obtido mostrou-se inferior quando comparado com os valores médios encontrados por Bonduelle et al. (2006) para *Pinus*, cujo valor médio foi de 48% e por Bortolletto Júnior (2008), avaliando especificamente a espécie de *Pinus merkusii*, cujo valor médio foi de 54,4%.

Em relação às perdas no processo de laminação das toras de *Hevea brasiliensis*, encontrou-se valor médio de 55,65% para perdas totais, ou seja, as perdas por arredondamento, retalhos, lâminas quebradas e rolo resto.

O valor médio encontrado para perdas no processo de laminação, mostrou-se inferior ao encontrado por Escobar (2011) para a laminação de seringueira, cujo valor foi de 58,65%; e superior ao encontrado por Bonduelle et al. (2006) para espécies de *Pinus*, utilizadas comercialmente no estado do Paraná, cujo valor foi de 48%.

O percentual de perdas e o rendimento da laminação estão diretamente relacionados ao fator de conicidade da madeira, portanto, quanto menor a conicidade da madeira, maior a probabilidade de alto rendimento e minimização das perdas (BALDWIN, 1981; SELLERS, 1985). A conicidade de 0,97 encontrada para as toras de *Hevea brasiliensis*, pode ter contribuído para o rendimento satisfatório encontrado para a espécie.

4.4 EFEITO DA EXTRAÇÃO DE LÁTEX NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

4.4.1 Densidade aparente dos painéis

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios encontrados para densidade aparente dos painéis compensados de *Hevea brasiliensis*.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS COMPENSADOS

Tratamento	Densidade Aparente (g/cm ³)
T1 (S/ EXTRAÇÃO)	0,674 a (1,31%)
T2 (C/ EXTRAÇÃO)	0,655 b (1,79%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

LEGENDA: T1 – painéis com lâminas da região sem extração de látex; T2 – painéis com lâminas da região com extração de látex.

Os valores médios de densidade aparente dos painéis variaram de 0,655 g/cm³ para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2) a 0,674 g/cm³ para painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1). Os painéis produzidos a partir de lâminas sem extração de látex (T1) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao outro tratamento (T2).

Estes valores podem ser atribuídos, em partes, pela diferença da densidade básica entre as regiões de extração das lâminas, em que esta se mostrou superior na porção da árvore onde não há a extração de látex.

Para o clone RIMM 600 de *Hevea brasiliensis*, a densidade aparente dos painéis foi, aproximadamente, 14% superior à densidade da madeira, apresentando aumento dos valores com a compressão da madeira durante o processo de prensagem das lâminas.

A densidade aparente de painéis, normalmente, é superior à da madeira, pois a pressão aplicada ocasiona uma retração dos painéis quando a madeira apresenta umidade próxima de 10%, aumentando a densidade do material prensado. Com isso, a densidade do produto comprimido tende a ser superior ao produto original. (WELLONS et al., 1983).

Em relação aos painéis comerciais de *Pinus taeda*, os dados apresentados no catálogo técnico da Abimci (2002) são de 0,565 g/cm³ para densidade aparente de painéis compensados, sendo, aproximadamente, 15% inferior ao encontrado para *Hevea brasiliensis*. Com base neste resultado, espera-se que a resistência à flexão estática dos compensados de *Hevea brasiliensis* seja superior à de painéis de *Pinus taeda*, visto a influência desta propriedade na resistência à flexão estática.

4.4.2 Resistência ao cisalhamento

Na Tabela 13 estão apresentados os valores médios obtidos para a resistência da linha de cola ao cisalhamento, para painéis com lâminas obtidas da região sem extração e com extração de látex.

TABELA 13 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO

Tratamento	Pré-Tratamento									
	Seco (MPa)	Falha (%)	Água Fria (MPa)	Falha (%)	Fervura 6h (MPa)	Falha (%)	Ciclo de Fervura (MPa)	Falha (%)	Fervura 72h (MPa)	Falha (%)
T1 (S/EXTRAÇÃO)	1,85 a (7,99%)	56	1,35 a (9,01%)	45	1,08 b (14,83%)	30	1,08 a (22,64%)	29	1,00 b (17,37%)	41
T2 (C/EXTRAÇÃO)	1,91 a (17,72%)	58	1,44 a (24,42%)	53	1,25 a (13,50%)	50	1,23 a (24,99%)	45	1,15 a (11,67%)	50

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

LEGENDA: T1 – painéis com lâminas da região sem extração de látex; T2 – painéis com lâminas da região com extração de látex.

Os valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento, no pré-tratamento a seco, variaram de 1,85 MPa para os painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração (T1) a 1,91 MPa para os painéis produzidos a partir de lâminas da região com extração (T2), sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em água fria, os valores médios variaram de 1,35 MPa painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1) a 1,44 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2), sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em fervura 6 horas, os valores médios variaram de 1,08 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1) a 1,25 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2). Os painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao Tratamento (T1).

No pré-tratamento em ciclo de fervura, os valores médios variaram de 1,08 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1) a 1,23 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2), sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em fervura 72 horas, os valores médios variaram de 1,08 MPa e de 1,00 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1) a 1,15 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2). Os painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao Tratamento (T1).

Na Tabela 14 estão apresentados os requisitos mínimos da norma EN 314-2 para resistência ao cisalhamento da linha de cola.

TABELA 14 – REQUISITOS DA NORMA EN 314-2 PARA ENSAIOS DE CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA

Tensão de Ruptura – t_R (MPa)	Falha na Madeira (%)
$0,2 \geq t_R > 0,4$	$\geq 80\%$
$0,4 \geq t_R > 0,6$	$\geq 60\%$
$0,6 \geq t_R > 1,0$	$\geq 40\%$
$t_R > 1,0$	SEM EXIGÊNCIA

FONTE: Adaptado de EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2002a).

O maior valor da resistência da linha de cola ao cisalhamento foi de 1,91 MPa, para o pré-tratamento a seco e o menor foi de 1,00 MPa, para o pré-

tratamento em fervura 72 horas. Com base nos valores médios encontrados, notou-se que estes foram superiores ao mínimo de 1,00 MPa exigido pela norma EN 314-2, sendo, portanto, descartada a avaliação da falha na madeira.

Os resultados obtidos para resistência da linha de cola ao cisalhamento, mostraram-se próximos aos encontrados por Albino et al. (2011), estudando painéis compensados de *Toona ciliata*, cujos valores médios variaram de 1,61 MPa a 2,11 MPa para o teste seco, utilizando gramatura de 270 e 320 g/m², e aos obtidos por Prata (2006) para painéis comerciais de *Pinus* de 5 lâminas e colagem fenólica, cujos valores médios variaram de 0,78 MPa a 1,33 MPa para o pré-tratamento em ciclo de fervura.

Na avaliação do pré-tratamento em fervura 6 horas, os resultados obtidos mostraram-se compatíveis com os encontrados por Iwakiri et al. (2009), utilizando 6 espécies de *Pinus* em painéis compensados, cujos valores variaram de 0,88 MPa a 1,42 MPa.

Marra (1992) e Iwakiri (2005) afirmam que a densidade da madeira pode influenciar a qualidade da linha de cola, tendo a premissa de que madeiras com baixa densidade podem originar uma linha de cola “faminta” e madeiras de alta densidade uma linha de cola não ancorada. Os valores médios encontrados mostram que os painéis de *Hevea brasiliensis* apresentaram colagem satisfatória e atenderam aos requisitos mínimos da norma.

Com base nos resultados, notou-se que os valores médios de resistência ao cisalhamento da linha da cola foram superiores para painéis produzidos a partir de lâminas com extração (T2), o que pode ser atribuído à extração do látex, pois esta atividade aumenta a porosidade da madeira, resultando em uma maior penetração do adesivo na lâmina, melhorando a colagem e aumentando a resistência ao cisalhamento.

4.4.3 Flexão estática paralela e perpendicular

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios para módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), nos sentidos paralelo e perpendicular.

TABELA 15 – RESULTADOS MÉDIOS DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Tratamento	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
T1 (S/ EXTRAÇÃO)	66 a (11,54%)	7934 a (5,20%)	34 a (10,22%)	2393 a (5,99%)
T2 (C/ EXTRAÇÃO)	51 b (24,12%)	6048 b (22,76%)	33 a (21,24%)	2054 b (9,42%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

LEGENDA: T1 – painéis com lâminas da região sem extração de látex; T2 – painéis com lâminas da região com extração de látex.

Os valores médios de MOR paralelo variaram de 51 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região com extração de látex (T2) a 66 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex (T1). Os painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex (T1) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao tratamento (T2).

Os valores médios de MOE paralelo variaram de 6048 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região com extração de látex (T2) a 7934 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex (T1). Os painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex (T1) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao Tratamento (T2).

Os valores médios de MOR perpendicular variaram de 33 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região com extração de látex (T2) a 34 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex, sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE perpendicular variaram de 2054 MPa para painéis produzidos a partir de lâminas da região com extração de látex (T2) a 2393 MPa painéis produzidos a partir de lâminas da região sem extração de látex (T1). Os painéis produzidos a partir de lâminas da região de extração de látex (T1) apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao Tratamento (T2).

Com base na Tabela 16, notou-se que os valores de MOR e MOE paralelo obtidos nesta pesquisa foram aproximadamente 35% superiores aos apresentados para compensados tropicais e de *Pinus* no Catálogo da ABIMCI (2007). Baseado neste resultado, pode-se afirmar que a *Hevea brasiliensis* é uma espécie de elevado potencial para a produção de painéis compensados.

Já para o sentido perpendicular, apenas os valores médios do MOR foram superiores aos valores de referência para painéis comerciais. Entretanto, os valores obtidos para MOE mostraram-se compatíveis aos divulgados pela ABIMCI (2007).

TABELA 16 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS DA PESQUISA COM PAINÉIS COMERCIAIS

Normas	Flexão Estática			
	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Pesquisa ¹	66	7934	34	2393
Pesquisa ²	51	6048	33	2054
ABIMCI ³	40	4908	33	3305

FONTE: O autor (2017)

NOTAS: ¹Resultados da pesquisa para T1; ²Resultados da pesquisa para T2; ³ABIMCI (2007): compensado estrutural de madeira de *Pinus* uso externo (ensaio norma EN).

Os valores médios de MOR paralelo e perpendicular, encontrados para compensados de *Hevea brasiliensis* mostraram-se próximos aos encontrados por Escobar (2011), avaliando a mesma espécie, cujos valores médios obtidos foram 43 MPa a 57 MPa para MOR paralelo e 35 MPa a 41 MPa para MOR perpendicular.

Os valores médios de MOR, paralelo e perpendicular encontrados nesta pesquisa, mostraram-se superiores aos encontrados por Bortolletto Júnior e Garcia (2004) para painéis compensados industriais de *Pinus*, cujos valores variaram de 34 MPa a 40 MPa e 32 MPa a 36 MPa, respectivamente.

Em relação ao MOE paralelo, os valores médios obtidos para compensados de *Hevea brasiliensis*, mostraram-se superiores aos valores médios encontrados por Iwakiri et al. (2001) para painéis de diferentes espécies *Pinus*, cujos valores médios variaram de 4078 MPa, para *Pinus caribaea* a 6930, para *Pinus maximinoi*.

Com base nos resultados, notou-se que os valores médios de MOE paralelo e perpendicular foram superiores para painéis produzidos a partir de lâminas sem extração (T1), o que pode estar relacionado à extração de látex, pois esta atividade diminui a densidade básica da madeira, prejudicando a resistência à flexão estática dos painéis.

4.5 EFEITO DA VARIAÇÃO DA GRAMATURA E TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

4.5.1 Densidade aparente dos painéis

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios da densidade aparente dos painéis compensados produzidos com resina fenol-formaldeído com diferentes gramaturas e teor de sólidos da batida de cola.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS

Tratamento*	Densidade Aparente (g/cm ³)
T1 – 35% - 140 g/m ²	0,664 b (2,55%)
T2 – 35% - 160 g/m ²	0,679 a (1,59%)
T3 – 35% - 180 g/m ²	0,664 b (1,09%)
T4 – 40% - 140g/m ²	0,651 c (1,95%)
T5 – 40% - 160 g/m ²	0,658 bc (2,40%)
T6 – 40% - 180 g/m ²	0,687 a (1,78%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

* Painéis produzidos com lâminas aleatorizadas, sem distinção de torete.

Os valores médios de densidade aparente dos painéis variaram de 0,651 g/cm³ para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 140 g/m² (T4) a 0,687 g/cm³ para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 180 g/m² (T6), sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 180 g/m² (T6) e teor de sólidos 35% e gramatura de 160 g/m² (T2) apresentaram médias estatisticamente iguais entre si e superiores aos demais tratamentos.

Apesar das diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos, todos apresentaram valores absolutos superiores aos publicados pela ABIMCI (2002) para painéis de *Pinus*, que apresentou valor de densidade aparente de,

aproximadamente, 0,565 g/cm³. Os resultados encontrados podem ser interpretados como bons, visto que uma maior densidade aparente dos painéis pode acarretar no aumento da resistência à flexão estática.

Os resultados encontrados para densidade aparentes dos painéis de *Hevea brasiliensis* mostraram-se inferiores aos encontrados por Escobar (2011) para painéis de seringueira produzidos com 9 lâminas, cujos valores médios variaram de 0,723 g/cm³ a 0,815 g/cm³; e superiores aos encontrados por Pinto e Iwakiri (2013) para painéis compensados de *Cryptomeria japonica*, produzidos com cinco lâminas e espessura nominal de 10mm, cujos valores médios variaram de 0,435 g/cm³ a 0,526 g/cm³, sendo esta diferença atribuída a diferença de densidade entre as espécies.

Na Tabela 18 está apresentado o efeito da gramatura sobre a densidade aparente dos painéis.

TABELA 18 – EFEITO DA GRAMATURA NA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS

Gramatura (g/m ²)	Densidade Aparente (g/cm ³)
140	0,657 b (2,47%)
160	0,669 a (2,55%)
180	0,675 a (2,18%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência da gramatura, os valores médios de densidade aparente dos painéis variaram de 0,657 g/cm³ para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 0,675 g/cm³ para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com gramaturas de 160 g/m² e 180 g/m² apresentaram médias estatisticamente iguais entre si e superiores aos painéis produzidos com a gramatura de 140 g/m², sendo detectada uma tendência de aumento da densidade com a gramatura.

Em relação ao efeito da gramatura sobre a densidade aparente dos painéis, os resultados encontrados mostraram-se distintos aos obtidos por Pinto e Iwakiri (2013) para painéis compensados de *Cryptomeria japonica*, em que os autores

constatarem que a variação de gramatura de 270 g/m² e 300 g/m² não influenciou a densidade aparente dos painéis compensados.

Os resultados apresentaram tendência de aumento da densidade aparente dos painéis com a gramatura, devido à maior presença de resina nestes tratamentos e, conseqüentemente, partes sólidas de resina nas maiores gramaturas, o que pode ter influenciado a densidade aparente dos painéis.

Na Tabela 19 está apresentado o efeito do teor de sólidos da batida de cola sobre a densidade aparente dos painéis.

TABELA 19 – EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NA DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS

Teor de sólidos da batida de cola (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)
35	0,669 a (2,09%)
40	0,665 a (3,07%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência do teor de sólidos da batida de cola, os valores médios de densidade aparente dos painéis variaram de 0,665 g/cm³ para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 0,669 g/cm³ para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, sendo as médias estatisticamente iguais.

Em relação ao efeito do teor de sólidos da batida de cola sobre a densidade aparente dos painéis, os resultados encontrados mostraram-se semelhantes ao encontrado por Iwakiri et al. (2013), em que os autores concluíram que o uso de diferentes formulações, resultando em diferentes teores de sólidos de batida de cola, não influenciou a densidade aparentes dos painéis compensados fenólicos de *Sequoia sempervirens*.

4.5.2 Resistência da linha de cola ao cisalhamento

Na Tabela 20 estão apresentados os resultados médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*, produzidos com diferentes gramaturas e teores de sólidos de batida de cola.

TABELA 20 – RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA

Tratamento*	Seco (MPa)	Falha (%)	Água fria (MPa)	Falha (%)	Fervura 6h (MPa)	Falha (%)	Ciclo de fervura (MPa)	Falha (%)	Fervura 72h (MPa)	Falha (%)
T1 – 35% - 140 g/m ²	1,10 a (46,56%)	44	0,73 b (54,13%)	33	0,76 bc (65,03%)	31	0,96 b (40,85%)	18	0,44 b (67,16%)	33
T2 – 35% - 160 g/m ²	2,00 a (15,92%)	67	1,50 a (36,29%)	41	1,06 ab (49,55%)	51	1,10 ab (33,34%)	29	1,09 a (33,13%)	52
T3 – 35% - 180 g/m ²	1,89 a (9,69%)	58	1,40 a (11,27%)	50	1,17 ab (9,78%)	37	1,15 ab (18,42%)	40	1,08 a (11,30%)	49
T4 – 40% - 140g/m ²	1,19 a (55,56%)	41	0,86 b (53,08%)	35	0,60 c (63,27%)	35	0,51 c (69,70%)	29	0,65 b (55,49%)	34
T5 – 40% - 160 g/m ²	1,79 a (12,54%)	69	1,59 a (22,37%)	69	1,39 a (20,91%)	68	1,35 a (25,39%)	46	1,35 a (21,00%)	60
T6 – 40% - 180 g/m ²	1,99 a (28,82%)	72	1,36 a (25,60%)	73	1,21 ab (20,40%)	47	1,22 ab (23,67%)	40	1,12 a (23,25%)	61

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

* Painéis produzidos com lâminas aleatorizadas, sem distinção de torete.

Os valores médios da resistência da linha de cola ao cisalhamento, no pré-tratamento a seco, variaram de 1,10 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 2,00 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 160 g/m² (T2), sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em água fria, os valores médios variaram de 0,73 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 1,59 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5), sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com gramaturas 160 e 180 g/m², para ambos os teores de sólidos, apresentaram médias estatisticamente iguais entre si e superiores aos demais tratamentos.

No pré-tratamento em fervura 6 horas, os valores médios variaram de 0,76 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 1,39 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5), sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5) apresentaram médias estatisticamente superiores aos demais tratamentos.

No pré-tratamento em ciclo de fervura, os resultados médios variaram de 0,96 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 1,35 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5), sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5) apresentaram médias estatisticamente superiores aos demais tratamentos.

No pré-tratamento em fervura 72 horas, os valores médios variaram de 0,44 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 1,35 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5), sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com gramaturas 160 e 180 g/m², para ambos os teores de sólidos, apresentaram médias estatisticamente iguais entre si e superiores em comparação com os demais tratamentos.

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram-se muito próximos aos encontrados por Almeida (2011) para cisalhamento da linha de cola em compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, cujos

valores médios variaram de 1,28 MPa a 1,65 MPa, no pré-tratamento a seco, para gramatura de 190 g/m² e 210 g/m², respectivamente.

O fato de a interação de menor gramatura e menor teor de sólidos da batida de cola apresentar os menores valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento pode ser atribuído à baixa disponibilidade de resina, o que possivelmente afetou o desempenho da ancoragem resultando em uma colagem fraca.

Na Tabela 21 está apresentado o efeito da gramatura sobre a resistência da linha de cola ao cisalhamento.

TABELA 21 – EFEITO DA GRAMATURA NA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISCALHAMENTO

Gramatura (g/m ²)	Seco (MPa)	Falha (%)	Água fria (MPa)	Falha (%)	Fervura 6h (MPa)	Fervura (%)	Falha (%)	Ciclo de fervura (MPa)	Falha (%)	Fervura 72h (MPa)	Falha (%)
140	1,41 b (50,05%)	43	0,80 b (53,26%)	34	0,65 b (67,64%)	33	37	0,71 b (60,75%)	37	0,53 b (62,44%)	39
	1,89 a (15,40%)	68	1,55 a (29,39%)	55	1,22 a (36,68%)	60	38	1,22 a (30,38%)	38	1,23 a (28,46%)	56
180	1,93 a (21,79%)	65	1,38 a (19,45%)	62	1,19 a (16,00%)	42	40	1,19 a (21,16%)	40	1,10 a (18,07%)	55

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência da gramatura, os valores médios da resistência da linha de cola ao cisalhamento, no pré-tratamento a seco, variaram de 1,14 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 1,93 MPa para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

No pré-tratamento em água fria, os valores médios variaram de 0,80 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 1,55 MPa para painéis produzidos com gramatura de 160 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

No pré-tratamento em fervura 6 horas, os valores médios variaram de 0,65 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 1,22 MPa para painéis produzidos com gramatura de 160 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

No pré-tratamento em ciclo de fervura, os valores médios variaram de 0,71 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 1,22 MPa para painéis produzidos com gramatura de 160 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

No pré-tratamento em fervura 72 horas, os valores médios variaram de 0,53 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 1,23 MPa para painéis produzidos com gramatura de 160 g/m², sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

Notou-se que, de forma geral, os painéis produzidos com gramaturas de 160 e 180 g/m² apresentaram médias estatisticamente iguais e superiores aos painéis produzidos com gramatura de 140 g/m².

Com base nos valores médios encontrados para resistência da linha de cola ao cisalhamento pôde-se observar que os painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² não atenderam aos requisitos mínimos da norma EN 314-2, com exceção do pré-tratamento a seco.

Os valores médios encontrados para painéis produzidos com as gramaturas de 160 g/m² e 180 g/m² tiveram as médias estatisticamente iguais, o que representa um aspecto importante sob o ponto de vista econômico, podendo ser recomendado o uso da gramatura de 160 g/m², visando a redução dos custos.

Os resultados obtidos para a influência da gramatura na resistência da linha de cola ao cisalhamento para painéis compensados de *Hevea brasiliensis* se

mostraram semelhantes aos encontrados por Almeida (2002) para painéis compensados de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cujo autor não verificou influência significativa para variação da gramatura de 320 g/m² e 360 g/m² sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola, e também semelhantes aos obtidos por Pinto (2011) para painéis compensados de *Cryptomeria japonica*, em que a variação da gramatura de 270 g/m² e 300 g/m² não influenciou a resistência da linha de cola ao cisalhamento.

Na Tabela 22 está apresentado o efeito do teor de sólidos da batida de cola sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola.

TABELA 22 – EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NA RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO CISALHAMENTO

Teor de sólidos da batida de cola (%)	Seco (MPa)	Falha (%)	Água fria (MPa)	Falha (%)	Fervura 6h (MPa)	Falha (%)	Ciclo de fervura (MPa)	Falha (%)	Fervura 72h (MPa)	Falha (%)
35	1,66 a (32,28%)	57	1,23 a (41,92%)	42	1,05 a (39,79%)	40	1,05 a (29,97%)	29	0,89 b (45,30%)	45
40	1,65 a (37,21%)	61	1,28 a (38,16%)	59	1,07 a (42,71%)	50	1,08 a (46,22%)	39	1,08 a (37,02%)	55

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência do teor de sólidos da batida de cola, os valores médios da resistência da linha de cola ao cisalhamento, no pré-tratamento a seco, variaram de 1,65 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 1,66 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em água fria, os valores médios variaram de 1,23 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 1,28 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamentos em fervura 6h, os valores médios variaram de 1,05 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 1,07 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em ciclo de fervura, os valores médios variaram de 1,05 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 1,08 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, sendo as médias estatisticamente iguais.

No pré-tratamento em fervura 72 horas, os valores médios variaram de 0,89 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% a 1,08 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 40% apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao outro tratamento.

Na avaliação comparativa com a Norma Europeia EN 314-2, os dois teores de sólidos da batida de cola apresentaram valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento superiores ao valor mínimo de 1,00 MPa, independentemente da percentagem de falhas na madeira, com exceção do teor de sólidos de 35%, no pré-tratamento fervura em 72 horas. Porém, estes painéis atingiram o requisito mínimo da norma por apresentarem a resistência de 0,89 MPa associada a uma percentagem de falhas na madeira superior a 40%.

Os resultados obtidos para a influência do teor de sólidos na resistência da linha de cola ao cisalhamento mostraram-se semelhantes aos encontrados por Iwakiri et al. (2007) avaliando painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*, cujos resultados apontam que diferentes teores de sólidos da batida de cola não influenciaram, de forma significativa, a resistência da linha de cola ao cisalhamento, resultado semelhante ao encontrado para *Hevea brasiliensis*.

De maneira geral, os resultados indicam que não houve influência significativa dos teores de sólidos da batida de cola na resistência da linha de cola

dos painéis produzidos com lâminas de *Hevea brasiliensis*. Essa constatação é importante sob o ponto de vista econômico, tendo em vista que a redução da porção de resina fenol-formaldeído da composição da batida de cola não reduziu os valores de resistência da linha de cola.

4.5.3 Flexão estática paralela e perpendicular

Na Tabela 23 estão apresentados os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendicular.

TABELA 23 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

Tratamento*	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
T1 – 35% - 140 g/m ²	45 a (31,86%)	7968 a (9,57%)	32 a (15,61%)	2326 ab (12,60%)
T2 – 35% - 160 g/m ²	53 a (30,76%)	7351 ab (6,67%)	33 a (10,45%)	2437 a (8,67%)
T3 – 35% - 180 g/m ²	58 a (13,21%)	6991 ab (9,81%)	33 a (10,45%)	2224 ab (6,68%)
T4 – 40% - 140g/m ²	47 a (48,35%)	6107 b (29,73%)	32 a (20,85%)	2144 ab (22,43%)
T5 – 40% - 160 g/m ²	50 a (30,02%)	6351 ab (24,43%)	31 a (30,75%)	1848 b (31,43%)
T6 – 40% - 180 g/m ²	50 a (29,14%)	6267 b (20,87%)	35 a (12,12%)	1961 ab (13,02%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

* Painéis produzidos com lâminas aleatorizadas, sem distinção de tореte.

Os valores médios de MOR paralelo variaram de 45 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) a 58 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 180 g/m² (T3), sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE paralelo variaram de 6107 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 140 g/m² (T4) a 7968 MPa para painéis com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1), sendo as

médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 140 g/m² (T1) apresentaram médias estatisticamente superiores aos tratamentos com gramatura de 160 e 180 g/m² com teor de sólidos de 40% e iguais aos demais tratamentos.

Os valores médios de MOR perpendicular variaram de 31 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5) a 35 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 180 g/m² (T6), sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE perpendicular variaram de 1848 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5) a 2347 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 160 g/m² (T2) a, sendo as médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e gramatura de 160 g/m² (T2) apresentaram médias estatisticamente superiores aos painéis produzidos com teor de sólidos de 40% e gramatura de 160 g/m² (T5) e iguais aos demais tratamentos.

Os valores de MOR e MOE paralelo e perpendicular obtidos para painéis de *Hevea brasiliensis* mostraram-se aproximadamente 50% superiores aos encontrados por Pinto e Iwakiri (2013), para painéis compensados de *Cryptomeria japonica*, cujos valores médios de MOR paralelo e perpendicular, variaram de 21 MPa a 43 MPa e de 12 MPa a 22 MPa, respectivamente, e os valores médios de MOE paralelo e perpendicular, variaram de 2592 MPa a 5722 MPa e 1140 MPa a 2000 MPa, respectivamente. As diferenças encontradas podem ser atribuídas à menor densidade dos painéis de *Cryptomeria japonica*, entre 0,490 g/cm³ e 0,491 g/cm³, em relação aos painéis de *Hevea brasiliensis*, entre 0,657 g/cm³ e 0,675 g/cm³.

Em relação ao MOR e ao MOE paralelo obtidos nesta pesquisa, os resultados mostraram-se superiores quando comparados com os valores médios encontrados por Palma et al. (2011) para painéis compensados da mesma espécie e seguindo o mesmo arranjo de produção, cujos valores variaram de 43 MPa a 57 MPa e 5227 MPa a 6772 MPa, respectivamente.

Por outro lado, os valores médios de MOR e MOE perpendicular obtidos nesta pesquisa mostraram-se inferiores quando comparados com os resultados dos autores supracitados, cujos valores médios variaram de 35 MPa a 43 MPa e 2915 MPa a 3736 MPa, respectivamente.

Na Tabela 24 está apresentado o efeito da gramatura sobre o MOR e o MOE em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendicular.

TABELA 24 – EFEITO DA GRAMATURA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA

Gramatura (g/m ²)	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
140	46 a	7038 a	32 a	2235 a
	(39,59%)	(23,57%)	(17,68%)	(17,78%)
160	51 a	6851 a	32 a	2142 a
	(29,73%)	(17,94%)	(21,96%)	(24,32%)
180	54 a	6629 a	34 a	2092 a
	(22,33%)	(16,29%)	(11,40%)	(11,63%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência da gramatura sobre a resistência à flexão estática, os valores médios de MOR paralelo variaram de 46 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 54 MPa para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m², sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE paralelo variaram de 6629 MPa para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m² a 7038 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m², sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOR perpendicular variaram de 32 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m² a 34 MPa para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m², sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE perpendicular variaram de 2092 MPa para painéis produzidos com gramatura de 180 g/m² a 2235 MPa para painéis produzidos com gramatura de 140 g/m², sendo as médias estatisticamente iguais.

Os painéis produzidos com as gramaturas de 140, 160 e 180 g/m² não apresentaram diferenças estatísticas entre si, comprovando que a variação da gramatura não exerceu influência sobre a resistência à flexão estática.

A relação entre gramatura e resistência à flexão estática encontrada para painéis compensados de *Hevea brasiliensis*, mostrou-se distinta à obtida por Iwakiri et al. (2011) que, avaliando painéis de paricá produzidos com diferentes gramaturas,

concluíram que a variação das gramaturas, utilizando resina fenólica, resultou em um incremento dos valores médios de MOR e MOE, paralelo e perpendicular.

Por outro lado, os resultados mostraram-se semelhantes quando comparados com os encontrados por Albino et al. (2011) para painéis compensados de *Toona ciliata*, cujos resultados mostraram que a variação da gramatura não influenciou os resultados de MOR e de MOE paralelo e perpendicular.

Na Tabela 25 está apresentado o efeito do teor de sólidos da batida de cola sobre MOR e MOE em flexão estática, nos sentidos paralelo e perpendicular.

TABELA 25 – EFEITO DO TEOR DE SÓLIDOS DA BATIDA DE COLA NO MÓDULO DE ELASTICIDADE E RUPTURA EM FLEXÃO ESTÁTICA

Teor de sólidos da batida de cola (%)	Paralelo		Perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
35	52 a	7437 a	33 a	2329 a
	(26,88%)	(10,18%)	(12,01%)	(10,05%)
40	49 a	6242 b	33 a	1984 b
	(34,50%)	(24,25%)	(21,79%)	(23,12%)

FONTE: O autor (2017).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para a influência do teor de sólidos da batida de cola, os valores médios de MOR paralelo variaram de 49 MPa, para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, a 52 MPa, para painéis produzidos com 35%, sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE paralelo variaram de 6242 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 40% a 7437 MPa para painéis produzidos com 35% de teor de sólidos. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 35% apresentaram médias superiores e estatisticamente diferentes em relação ao outro tratamento

Os valores médios de MOR perpendicular variaram de 33 MPa nos painéis produzidos com teor de sólidos de 40%, a 33 MPa, para painéis produzidos com teor de sólidos de 35%, sendo as médias estatisticamente iguais.

Os valores médios de MOE perpendicular variaram de 1984 MPa para painéis produzidos com 40% de teor de sólidos a 2329 MPa para painéis produzidos com teor de sólidos de 35%. Os painéis produzidos com teor de sólidos de 35%

apresentaram médias superiores e estatisticamente diferentes em relação ao outro tratamento.

Em relação à influência do teor de sólidos da batida de cola na resistência à flexão estática de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*, os resultados foram semelhantes aos encontrados por Iwakiri et al. (2006) para painéis de *Eucalyptus grandis*, cujos valores indicaram que a variação do teor de sólidos da batida de cola não influenciou os resultados de MOR paralelo e perpendicular.

Os valores médios encontrados para MOE paralelo e perpendicular para painéis produzidos com teor de sólidos de 35% foram superiores e estatisticamente diferentes aos valores médios encontrados para painéis produzidos com teor de sólidos de 40%. Essa diferença pode ser atribuída à maior densidade aparente encontrada em painéis produzidos com teor de sólidos de 35% e não propriamente à variação do teor de sólidos da batida de cola.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir das informações obtidas e da análise efetuada, foi possível constatar que, com densidade básica média de $0,572 \text{ g/cm}^3$, a espécie *Hevea brasiliensis* é classificada como de média densidade, apresentando-se, dessa forma, adequada à laminação.

No que diz respeito aos resultados da análise química, estes demonstraram que a espécie estudada não possui propriedades químicas inibidoras que possam inviabilizar a produção de painéis compensados.

Quanto ao rendimento médio do processo de laminação da madeira de *Hevea brasiliensis*, este foi de 44,35%, sendo considerado, portanto, um resultado satisfatório.

Os resultados obtidos, para densidade aparente dos painéis de *Hevea brasiliensis*, mostraram-se superiores aos de painéis de *Pinus taeda*, resultado considerado bom, tendo em vista a sua influência sobre a flexão estática.

As lâminas obtidas da região sem o painel de extração de látex apresentaram maiores valores médios de densidade aparente e resistência à flexão estática e em valores absolutos menor resistência ao cisalhamento.

De maneira geral, a variação da gramatura não influenciou os resultados de flexão estática, causando efeito apenas sobre os resultados de densidade aparente dos painéis e a resistência da linha de cola ao cisalhamento.

Os resultados da resistência da linha de cola ao cisalhamento dos painéis, produzidos com gramatura de 140 g/m^2 , não atingiram os valores mínimos da norma EN 314-2. Já os painéis produzidos com gramatura de 160 g/m^2 e 180 g/m^2 foram aprovados e mostraram-se estatisticamente iguais, portanto, do ponto de vista econômico, recomenda-se a utilização da menor gramatura.

Os diferentes teores de sólidos da batida de cola não influenciaram significativamente, a densidade aparente dos painéis e a resistência ao cisalhamento, entretanto, exerceram efeito sobre MOE paralelo e perpendicular, de modo que os resultados superaram os de painéis comerciais de *Pinus taeda*, sendo recomendado o uso do menor teor de sólidos.

A qualidade das lâminas e o rendimento da laminação apontam a madeira de *Hevea brasiliensis* Clone RRIM 600 com potencial para produção de lâminas. Os

resultados das propriedades físico-mecânicas dos painéis demonstram que a espécie apresenta potencial para produção de painéis compensados fenólicos.

Diante das conclusões obtidas, recomenda-se que as indústrias de painéis compensados utilizem a madeira de seringueira oriunda de plantios, para produção de compensados fenólicos, visando a valorização da madeira e a melhoria das propriedades dos painéis para a construção civil. Para pesquisas futura, recomenda-se a utilização de uma variação maior de gramatura, bem como a utilização de toras cozidas para obtenção de melhores resultados de rendimento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 31:000.05-001/1**: chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Catálogo técnico de compensados de *Pinus***. Curitiba: ABIMCI, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Catálogo Técnico 2**: Painéis de compensado de *Pinus*. Curitiba: ABIMCI, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Parâmetros para compensados de madeira tropical e *Pinus PNQM-CT e PNQM-CP***. Curitiba: ABIMCI, 2009.
- ALBINO, V. C. S.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- ALLWI, N. I. **Anatomical structure and physical properties of newly introduced *Hevea* species**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Putra Malaysia University, Kuala Lumpur, 2006.
- ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para produção de lâminas e manufatura de painéis compensados**. 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ALMEIDA, N. F. **Avaliação da qualidade de madeira de um híbrido de *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de painéis compensados**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- ARANGO ALZATE, S. B.; FILHO, M. T.; PIEDADE, S. M. de S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, E. *saligna* Sm. e E. *grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, ago. 2005.
- BALDWIN, R. F. **Plywood and veneer-based products: manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1995.

BALSINGER, J. BAHDON, J.; WHITEMAN, A. **Asia-Pacific forestry sector Outlook study: the utilization, processing and demand for rubberwood as a source of wood supply.** Roma: FAO, 2000.

BINDER, K. A. Resin application and quality in particleboard manufacture. In: SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, 1., 1967, Pullman. **Paper and abstracts...** Pullman, 1967. p. 235-250.

BERNARDES, M. S.; CASTRO, P. R. C.; FURTADO, E. L. **Sistema de sangria da seringueira.** Piracicaba: Rhodia, 1998.

BIAZUS, A.; DA HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, v. 40, n. 32, p. 323-384, set. 2010.

BOERHENDY, H. I.; AGUSTINA, D. S.; SURYANINGTYAS, H. **Basic characteristics of rubber wood for some recommended clones in Indonesia.** Jakarta: IRRDB, 2011.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 35-41, nov./dez. 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Avaliação da qualidade de madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensado. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n4/22605.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BROWING, B. L. **The Chemistry of Wood.** New York, Interscience, 1963.

CAMPELO JÚNIOR, J. H. Estimativa de transpiração em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2000.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIA APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1998. p. 173-185.

CONEGLIAN, A. **Efeito da resistência natural e tratamentos químicos no lenho juvenil e adulto de *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. ao fungo manchador *Botryodiplodia theobromae* e cupim *Cryptotermes brevis*.** 150 f. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

COMSTOCK, G. L. The kinetics of veneer jet drying. **Forest Products Journal**, Madison, v. 21, n. 9, p. 104-111, 1981.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**: Determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972.

COSTA, M. M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; FOELKEL, C. E. B. Avaliação preliminar do potencial de quatro madeiras de eucalipto na produção de polpa solúvel branqueada pela sequência OA(ZQ)P. **Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 385-392, 1997.

COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. S.; ODALIA-RÍMOLI, A.; ARRUDA, E. J. Melhoramento e conservação genética aplicados ao Desenvolvimento Local – o caso da seringueira (*Hevea* sp.). **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, Campo Grande, v. 1, n. 2, p. 51-58, 2001.

CRUZ, M. M. S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina ureia-formaldeído**. 2006. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

Escobar, J. F, **Influência da qualidade das lâminas no desempenho físico-mecânico de painéis compensados de *Hevea brasiliensis***. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Lisboa, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-1**: plywood – Bonding Quality. Part 1: Test methods. Londres, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-2**: contraplacados – Qualidade da colagem. Parte 2: Requisitos. Lisboa, 2002a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323**: wood based panels – Determination of density. Londres, 2002.

EUFRADE JUNIOR, H. J.; BALLARIN, A. W.; LEONELLO, E. C. Caracterização mecânica da madeira do clone RRIM 600 de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex. A. Juss.) Müll. Arg.) à compressão paralela às fibras. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2011, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP; 2011.

FAHERTY, K. F.; WILLIAMSON, G. **Wood engineering and construction handbook**. 3. ed., New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1997.

FEIHL, O.; GODIN, V. **Peeling defects in veneer, their causes and control.** Ottawa: Canadian Forestry Service, 1970.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions.** Berlin: Springer, 1989.

FERREIRA, B. S. **Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de *Eucalyptus* sp. e adesivo PVA.** 2011. 65 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Itapeva, 2011.

FORSS, K.G.; FUHRMANN, A. Finnish plywood, particleboard, and fiberboard made with a lignin base adhesive. **Forest Products Journal**, Madison, v.29, n.7, p.39-43, 1979.

GONÇALVES, P. S.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLANI, A. A.; FONSECA, F. S. **Manual de heveicultura para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

GONÇALVES, S. L. M.; ALMEIDA, A. R. C. A indústria de lâminas e compensados de madeira no Estado do Amazonas: um cenário do processo produtivo e tendências para o próximo milênio. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 15., 1998, Niterói. **Anais...** Niterói: UFF, 1998. p. 47-56.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensados de eucalipto: Estudo de caso de espécies e procedências. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 10-18, jan./mar. 2008.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. ***Eucalyptus* for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1978.

HONG, L. T. Rubberwood utilization: a success story. In: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS, 20., 1995, Tampere. **Paper and abstracts...** Tampere: IUFRO, 1995. p. 1-12.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico 2016:** Indicadores do setor brasileiro de árvores plantadas. Brasília: GWA, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Anuário Estatístico:** mercado da borracha. Brasília: BDPA, 1998.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G. BRAND, M. A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S.; SHIMOYAMA, V. R.; PEDROSA, A. L.; ANJOS, R. A. M. Efeito do crescimento radial de *Pinus taeda* L. nas propriedades do painel compensado. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. único, p. 90-96, 2002.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S.; NETO, A. R.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA, W. P. Avaliação da qualidade de compensados fenólicos de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S.; PRATA, J. G.; ROSSO, S. Produção de compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 363-367, 2007.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de painéis compensados de *Pinus* tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, n. 3, v. 39, p. 669-673, 2009.

IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Floresta**, Curitiba, n. 3, v. 41, p. 451-458, 2011.

JANEIRO, A. R. **Análise do teor de compostos fenólicos em diferentes órgãos vegetativos de espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais**. 35 f. Monografia. Especialização em Gestão Ambiental) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro 2011.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 45 p.

JANKOWSKY, I. P. Qualidade das lâminas de *Pinus strobus* (Martinez) var. *chiapensis* obtidas por desenrolamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 50-59, 1978.

JANKOWSKY I. P., Variação da resistência à flexão estática do compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem. **Circular Técnica**, Piracicaba, n. 124, p. 6-11, dez. 1980.

KAZMIERCZAK, S. **Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis***. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irapati, 2012.

KELLY, M. W. A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards. Madison: U.S. Prod. Lab., 1977.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975.

LEHMANN, G. R. L.; HEFTY, F. F. **Factors affecting particleboard pressing time: interactions with catalyst system**. Madison: USDA Forest Service, 1973.

LEONELLO, E. C. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores de *Hevea brasiliensis* em três condições de sanidade no estado de São Paulo**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

LIMA, I. S.; MACEDO, H. R.; GALLO, P. B.; GONÇALVES, P. S.; GARCIA, J. N.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; SEBEN, A. M. Seleção de clones de *Hevea brasiliensis* para a região de Mococa, Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 137-143, dez. 2015.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, abr./jun. 2007.

LIMA, N. N.; PIO, N. S.; CUNHA, U. S.; LUCAS FILHO, F. C.; BARBOSA FILHO, J. Influência da gramatura na resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento em painéis de *Copaifera duckei* Dawyer e *Eperua oleífera* Ducke. **Acta amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, p. 83-90, 2011.

LISBOA, F. J. N.; GUIMARÃES, I. L.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Avaliação do processo de laminação de madeira de *Sclerobium paniculatum*, *Myracrodruon urundeuva* e *Amburana cearenses*. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, n. 21, v. 11, p. 324-333, jun. 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 2000.

LUTZ, J. F. **Wood veneer**: log selection, cutting and drying, Washington: USDA Bulletin, 1978

MACHADO, J. F. **Produção de painéis compensados para uso exterior com madeira de paricá e embaúba**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2016.

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

MANUAL DO TÉCNICO FLORESTAL **Apostila do Colégio Florestal de Irati**. Campo Largo, 1986.

MARINHO, J. T. S. Seringueira: opções de cultivo e geração de renda na Amazônia. **Ambiente Florestal**. Curitiba, maio 2006. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/seringueira%3A_opcoes_de_cultivo_e_geracao_de_renda_na_amazonia.html>. Acesso em: 02 jun. 2017.

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

MARQUES, J. R. Seringueira. **CEPLAC Notícias**, Campo Grande, dez. 2000. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/seringueira.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

MATAN, N.; KYOKONG, B. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of juvenile rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, Songkla, v. 25, n. 3, p. 327-340, 2003.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: 6º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, FLORESTAS E MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E PRODUÇÃO, PATRIMÔNIO SOCIA, 67., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1990, p. 695-699,

MELO, R. R. et al. Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 238-249, 2013.

MILINGLIANG, J.; ZHIJUAN, W. Rubberwood preservation by friendly preservatives. In: YOUKE, Z. **Promotion of rubberwood processing technology in the Asia-Pacific region**. Haikou: ITTO/CFC, 2008. p.117-128.

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

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G. **Tópicos de tecnologia da madeira: adesão e adesivos**. Curitiba Universidade Federal do Paraná, 1978.

OKINO, E. Y. A., SOUZA, M. R. D., SANTANA, M. A. E., SOUSA, M. E. D., e TEIXEIRA, D. E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 451-457, 2004.

OLIVEIRA JUNIOR, E. F. **Determinação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em relação ao painel de extração de látex**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

ORTOLANI, A. A. Fatores climáticos condicionantes da produção de látex da seringueira. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE HEVEICULTURA PAULISTA, 1., 1999, Barretos. **Anais...** Barretos: SAA-SP/APABOR, 1999. p. 19-30.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R.; SANTOS, G. J. C. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos xilófagos em simulares de campo. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 511-520, 2009.

PALKA, L. C. **Veneer cutting review**. Toronto: Forest Products, 1973.

PALMA, H. A. L.; ESCOBAR, J. F.; BALLARIN, A. W.; LEONELLO, E. C. Influência da qualidade das lâminas no desempenho mecânico de painéis compensados de *Hevea brasiliensis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, n, 19, v. 2, p. 133-140, 2012.

PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; BENESI, J. F. C. **Desempenho de clones de seringueira sob diferentes sistemas de sangria**. Planaltina: Embrapa, 2001.

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de *Cryptomeria japonica* para laminação e produção de painéis compensado**. 2011, 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PINTO, J. A.; IWAKIRI, S. Estudo sobre a viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para produção de painéis compensados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 29-37, mar. 2013.

PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Dours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RIYAPHAN, J.; PHUMICHA, T.; NEIMSUWAN, T.; WITAYAKRAN, S.; SUNGSING, K.; KAVEETA, R.; PHUMICHA, C. Variability in chemical and mechanical properties of Pará rubber (*Hevea brasiliensis*) trees. **ScienceAsia**, Nakhon Pathom, v. 41, n. 4, p. 251-258, ago. 2015.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M. **Madeira de *Hevea brasiliensis*: adequação tecnológica para a sua utilização**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1999.

SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação da madeira de quatro clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Floresta**, Brasília, v. 70, p. 61-68, jun. 2001.

SANTOS, C. M. T; DEL MENEZZI, C. H. S. Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: Seru (*Allantoma lineata*) e Marupá (*Simarouba amara*). **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 354-354, 2010.

SEGURA, T. E. S.; SIVA JÚNIOR, F. G. Potential of *C. citriodora* wood species for kraft pulp production. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 15, n. 3, p. 159-164, 2016.

SELBO, M. L. Adhesive Bonding of wood. Washington: **USDA Technical Bulletin**, 1975.

- SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985.
- SERVOLO FILHO, H. J. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*-RRIM600 E GT1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual**. 94 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- SEVERO, E. T. D.; OLIVEIRA JUNIOR, E. F.; SANSÍGOLO, C. A.; ROCHA, C. D.; CALONEGO, F. W. Properties of juvenile and mature woods of *Hevea brasiliensis* untapped and with tapped panels. **European journal of wood and wood products**, Berlin, v. 71, n. 6, p. 815-818, 2013.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry fundamentals and applications**. New York. Academic Press, 1981.
- SERVIÇO NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. Comercio – Exportação e Importação. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/>>. Acesso em: 05 out. 2016.
- SUCHSLAND, O.; JANKOWSKY, I. P. A regulagem do torno desenrolador. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 28, n. 326, p. 12-16, 1979.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 204 cm-97**: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 211 om-02**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2002.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 251 om-02**: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2002.
- THOEMEN, H., IRLE, M., SERNEK, M. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Brunel University Press: Londres, 2010.
- TOLEDO, P. E. N.; GHILARDI, A. A. Custo de produção e rentabilidade do cultivo da seringueira no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 30-46, maio 2000.
- TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* spp. produzida em reflorestamento. In: ENCONTRO DA IUFRO SOBRE PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCARIA, 2., 1979, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1980. p. 286- 291.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; HIGA, A. R.; BRAZ, R. L. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 759-768, 2015.

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

UMAÑA, C. L. A, BRITO, E. O, Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas, **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, n. 78, v.13, p. 34-39, fev. 2004.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999.

VIRGENS FILHO, A. C.; MOREIRA, A.; CASTRO, P. R. C. Características físicas e químicas do látex e crescimento da seringueira em função da calagem e da adubação NPK em dois sistemas de exploração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1237-1245, 2003.

WANGAARD, F. F. e SARAOS, R. P. Effect of several variables on quality of rotary cut veneer. **Forest Products Journal**, Madison, v. 6, n. 9, p. 179-187, jun., 1959.

WELLONS, J. D.; KRAHMER, R. L.; SANDOE, M. D.; JOKERST, R. W. Thickness loss in hot-pressed plywood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 33, n. 1, p. 27-34, jan. 1983.