

ZAÍRA MORAIS DOS SANTOS HURTADO DE MENDOZA

**EFEITO DA INCLUSÃO LAMINAR NAS PROPRIEDADES
DE PAINÉIS AGLOMERADOS FABRICADOS COM RESÍDUOS
DA INDÚSTRIA LAMINADORA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

ZAÍRA MORAIS DOS SANTOS HURTADO DE MENDOZA

**EFEITO DA INCLUSÃO LAMINAR NAS PROPRIEDADES DE
PAINÉIS AGLOMERADOS FABRICADOS COM RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA LAMINADORA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Doctor *Scientiae*.

APROVADA: 05 de novembro de 2010.

Prof.^a Angélica de C. O. Carneiro
(Co-Orientadora)

Prof.^a Ana Márcia M. L. Carvalho
(Co-Orientadora)

Dr.^a Rosimeire C. dos Santos

Dr. Daniel Camara Barcellos

Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

*Ao meu querido esposo
Pedro Hurtado de Mendoza Borges*

e

*Ao meu amado filho
Pedro Hurtado de Mendoza Morais,*

Com amor e carinho, dedico

"Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma".

Lavoisier, Antoine Laurent (1743-1794)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado coragem para enfrentar tantos desafios.

Ao meu querido esposo Pedro Hurtado de Mendoza Borges, companheiro de sonhos, que me ajudou, discutindo, lendo, corrigindo e elaborando a estatística da tese, pelo amor, companheirismo e incentivo.

Ao meu amado filho Pedro Hurtado de Mendoza Morais, alma pura e iluminada, que com sua sabedoria de criança sempre me mostrou o lado alegre da vida, pelo amor e confiança depositada.

Aos meus adoráveis pais, João Batista dos Santos (in memoriam) e Maria Aparecida Morais dos Santos, e aos meus irmãos e irmãs, pelo carinho, pela grande dedicação, pela confiança e pelo incentivo.

À Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, por ter me concedido a licença para capacitação, em especial agradeço aos Professores José Eduardo Penna e Norman Barros Logsdon, pelo carinho e incentivo, e ao Professor Walmir da Silva Moreira, pela colaboração e presteza em assumir os meus encargos didáticos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Professor Benedito Rocha Vital, pela orientação, pelas sugestões, pelos ensinamentos e pela amizade.

Ao professor Ricardo Marius Della Lúcia, pelo incentivo, pelos ensinamentos, pelo bom humor e por estar sempre presente no aperfeiçoamento da minha formação profissional.

À Professora Angélica de Cássia de Oliveira Carneiro, pelas valiosas sugestões, pelos conhecimentos transmitidos, pelas oportunidades, pela amizade e pelo companheirismo.

À Professora Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, pelas críticas e sugestões, pela amizade e companheirismo ao longo da minha jornada.

Ao pesquisador Dr. Daniel Camara Barcellos e à pesquisadora Dr^a Rosimeire Cavalcante dos Santos, pelas sugestões durante a defesa de tese e pelo profissionalismo com que conduzem seus trabalhos.

À super amiga Solange, pela solidariedade em me acompanhar nessa trajetória, sempre com muito dinamismo, competência e carinho.

À amiga Carla, pelos grandes ensinamentos e companheirismo.

Ao CPP (Centro de Pesquisa do Paricá-Pará) por ter cedido o material de pesquisa.

À Capes, pelo apoio financeiro.

Ao meu bolsista de iniciação científica, Paulo Ivan Lima, pela amizade, colaboração, dedicação e pelos momentos agradáveis de convivência.

Aos meus estagiários, Túlio, Andressa, Cássio e Nero, pela ajuda e dedicação na coleta de dados, pela amizade e alegre convivência.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (Lapem), Sr. Maninho, Sr. José Maria, Aristeu, Sálvio (Moiado) e Bráulio, pelos seus serviços prestados, pela amizade, pela colaboração e pelo companheirismo no decorrer do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), Oswaldo, Joel, Fernando e Fabiano, pela ajuda, dedicação e amizade

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, Ritinha (pós-graduação), Jamile, Imaculada, Marquione, Noêmia, Alexandre, Neuzinha, Alfredo, Rita e Cida, pela amizade e carinho.

Aos meus eternos amigos e colegas da pós-graduação em tecnologia de produtos florestais, Juliana, Flávia, Mariana, Maria Fernanda, Graziela, Marina, Wescley, Fábio (Sete), Renato, Cristiane (Cris), Lorena, Márcia, Simone, Bruno, Bruno Geike, Tito, Mateus, Adriana e Vanessa, pela amizade, pela colaboração e pelo companheirismo.

À D. Geralda (Gegê), que com todo seu carinho tomou conta de mim e de minha família com muita dedicação.

Obrigada!

BIOGRAFIA

Zaíra Morais dos Santos Hurtado de Mendoza nasceu em Bom Despacho - MG, no dia 09 de março de 1964.

Em 1984 entrou para o curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, colando grau em julho de 1988.

Em agosto de 1988, iniciou o programa de pós-graduação em Ciência Florestal, nível mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em agosto de 1991.

Em 1992, entrou como professora visitante na universidade Federal de Mato Grosso, passando a professora efetiva em 2002.

Em 2006, continuou seus estudos de pós-graduação em Ciência Florestal, nível doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em novembro de 2010.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE QUADROS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Resíduos do processamento da madeira	4
2.2. Painéis aglomerados	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Material	20
3.2. Métodos	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Dimensões das partículas	28
4.2. Propriedades Físicas	29
4.2.1. Umidade de equilíbrio higroscópico	29
4.2.2. Massa específica	31
4.2.3. Absorção de água após imersão em água	37
4.2.4. Inchamento em espessura após imersão em água	47
4.2.5. Expansão linear	57

4.3. Propriedades Mecânicas	64
4.3.1. Resistência à tração perpendicular (Ligação interna)	64
4.3.2. Resistência à flexão estática	71
4.3.2.1. Módulo de ruptura (MOR)	71
4.3.2.2. Módulo de elasticidade (MOE)	78
4.3.3. Resistência superficial (Dureza Janka)	83
4.3.4. Resistência ao arrancamento de parafuso	89
4.4. Correlação entre as propriedades	96
5. CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de retirada dos corpos de prova para os testes físicos e mecânicos	23
Figura 2. Massa específica para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	34
Figura 3. Massa específica dos painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	35
Figura 4. Absorção de água após 2 horas de imersão, para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	41
Figura 5. Absorção de água após 2 horas de imersão para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	42
Figura 6. Absorção de água após 24 horas para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	44
Figura 7. Absorção de água após 24 horas para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	45

Figura 8.	Inchamento em espessura após imersão em água por 2 horas, para painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	51
Figura 9.	Inchamento em espessura após imersão em água por 2 horas para os painéis aglomerados com inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	52
Figura 10.	Inchamento em espessura após imersão em água por 24 horas para os painéis aglomerados sem inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	54
Figura 11.	Inchamento em espessura após imersão em água por 24 horas para os painéis aglomerados com inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	55
Figura 12.	Expansão linear para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	61
Figura 13.	Expansão linear para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	62
Figura 14.	Resistência à tração perpendicular para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	68
Figura 15.	Resistência à tração perpendicular para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	69
Figura 16.	Módulo de ruptura para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	75

Figura 17.	Módulo de ruptura para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	77
Figura 18.	Módulo de elasticidade para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	80
Figura 19.	Módulo de elasticidade para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	81
Figura 20.	Dureza Janka para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	86
Figura 21.	Dureza Janka para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	88
Figura 22.	Resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	92
Figura 23.	Resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.	94

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Propriedades dos adesivos utilizados para produção dos painéis	20
Quadro 2. Especificações técnicas utilizadas na confecção dos painéis	22
Quadro 3. Teor de adesivo e taxa de compactação em cada condição experimental estabelecida	24
Quadro 4. Tratamentos definidos para a pesquisa	25
Quadro 5. Funções utilizadas para transformar os dados originais das propriedades físicas	26
Quadro 6. Funções utilizadas para transformar os dados originais das propriedades mecânicas	27
Quadro 7. Valores médios das dimensões das partículas provenientes dos três tipos de resíduos	28
Quadro 8. Parâmetros estatísticos para umidade de equilíbrio higroscópico	30
Quadro 9. Resultados do teste F para a massa específica	32
Quadro 10. Valores médios de massa específica e resultados do teste Tukey	33
Quadro 11. Resultados do teste F para a absorção de água	38
Quadro 12. Valores médios da absorção de água e resultados do teste Tukey	40

Quadro 13.	Resultados do teste F para o inchamento em espessura	48
Quadro 14.	Valores médios de inchamento em espessura e resultados do teste Tukey	49
Quadro 15.	Resultados do teste F para a expansão linear	58
Quadro 16.	Valores médios da expansão linear e resultados do teste Tukey	59
Quadro 17.	Resultados do teste F para a resistência à tração perpendicular	65
Quadro 18.	Valores médios da resistência à tração perpendicular e resultados do teste Tukey	66
Quadro 19.	Resultados do teste F para a resistência à flexão estática	72
Quadro 20.	Valores médios da resistência à flexão estática e resultados do teste Tukey	73
Quadro 21.	Resultados do teste F para a dureza Janka	84
Quadro 22.	Valores médios de dureza Janka e resultados do teste Tukey	85
Quadro 23.	Resultados do teste F para a resistência ao arrancamento de parafuso	90
Quadro 24.	Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso e resultados do teste Tukey	91
Quadro 25.	Coeficiente de correlação entre as propriedades físicas para os painéis aglomerados sem inclusão laminar	97
Quadro 26.	Coeficiente de correlação entre as propriedades físicas para os painéis aglomerados com inclusão laminar	98
Quadro 27.	Coeficiente de correlação entre as propriedades mecânicas e a massa específica para os painéis aglomerados sem inclusão laminar	99
Quadro 28.	Coeficiente de correlação entre as propriedades mecânicas e a massa específica para os painéis aglomerados com inclusão laminar	100

RESUMO

MENDOZA, Zaíra Morais dos Santos Hurtado de. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2010. **Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Co-Orientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

O interesse em utilizar resíduos da indústria madeireira motivou este trabalho de pesquisa, que teve como objetivo produzir painéis aglomerados com três diferentes tipos de resíduos da laminação de *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke (Paricá), aplicando-se a técnica de inclusão de lâminas. Como aglomerantes, foram utilizados o adesivo ureia-formaldeído e o adesivo de silicato de sódio, ambos nos teores de 8% e 10%, respectivamente. Os ensaios físicos e mecânicos dos painéis foram feitos segundo a norma ABNT/NBR 14810-3(2002). Os resultados foram comparados com a referida norma e com as normas ANSI/A-208.1(1993) e DIN 68m 761-1(1961). Concluiu-se que os resíduos da indústria laminadora podem ser usados como matéria-prima para a produção de painéis aglomerados. É possível a inclusão de lâminas na composição estrutural dos painéis aglomerados, como um aprimoramento. A inclusão de lâminas reduziu a absorção de água e o inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão, tendo também contribuído para aumentar o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade dos painéis. O adesivo de silicato de sódio foi mais

hidrofílico do que o adesivo de ureia-formaldeído, não devendo ser utilizado em painéis que serão colocados em ambiente externo. O aumento na absorção de água após duas horas de imersão originou um aumento no inchamento em espessura, independentemente do tipo de painel e da classe de adesivo. O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, bem como a dureza Janka e o arrancamento de parafuso, tiveram correlação positiva independentemente do tipo de painel e de adesivo. O tipo de resíduo influenciou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, sendo que aqueles confeccionados com partículas provenientes de cavacos apresentaram, de forma geral, as melhores propriedades. Os painéis confeccionados com partículas provenientes de cavacos, impregnadas com o adesivo ureia-formaldeído 8%, fazendo-se a inclusão de lâminas na face/contra face e 1,7 de taxa de compactação, satisfizeram a maioria dos requisitos das normas, resultando em uma economia de adesivo.

ABSTRACT

MENDOZA, Zaíra Morais dos Santos Hurtado de. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2010. **Effect of the laminate inclusion in the properties of agglomerated panels manufactured with residues of the laminating industry.** Adviser: Benedito Rocha Vital. Co-Advisers: Angélica de Cássia de Oliveira Carneiro and Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

The interest in using wood industry residues motivated this research work, which aimed to produce agglomerate panels with three different lamination waste types of *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke (Paricá), applying the laminas inclusion's technique. Urea-formaldehyde adhesive and sodium silicate were used for agglomerating, at 8% content and 10%, respectively. The panels physical tests and mechanical were made according to Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brazilian Association of Technical Standards) - ABNT/NBR 14810-3(2002). The results were compared with these standards, with American National Standards Institute - ANSI/A-208.1(1993), and with Deutsches Institut für Normung - DIN 68m 761-1(1961). It is concluded that the waste from laminator industry can be used as feedstock for producing particleboard panels. It is possible to include laminas on the agglomerate's structural composition, such as an improvement. The laminas inclusion reduced the water absorption and thickness swelling after two and twenty-four hours of immersion, and also contributed to increasing the rupture modulus and the panel's elasticity modulus. Sodium

silicate adhesive was more hydrophilic than the urea-formaldehyde adhesive and should not be used in outdoors panels. Immersion for two hours led to more water absorption and to a thickness swelling increasing, regardless of panel type and class of adhesive. The rupture modulus, the elasticity modulus, the Janka hardness, and the screw withdrawal had a positive correlation, regardless of the panel type and adhesive. The waste type affected the panel physical properties and mechanical, and those made with wood chips showed, overall, the best properties. The panels made from wood chips stuck with urea-formaldehyde adhesive at 8%, making the laminas inclusion in the face/counterface with a compression ratio of 1.7, met the most standards requirements, resulting in adhesive economy.

1. INTRODUÇÃO

Painéis são um dos muitos derivados da madeira, podendo apresentar em sua constituição lâminas, partículas ou fibras. A reconstituição desses elementos para formar o compósito é feita pela colagem com diferentes tipos de adesivos e subsequente prensagem. Atualmente, eles são utilizados como matéria-prima no setor de mobiliário, construção civil e embalagens.

Em todo o mundo, esse segmento industrial está em expansão e tem como meta principal disponibilizar novos produtos que venham atender ao melhor aproveitamento da matéria-prima madeira e o uso racional dos recursos florestais. Nacionalmente, um dos painéis mais industrializados e consumidos é o painel de partícula do tipo aglomerado. Eles começaram a ser produzidos em nosso País na década de 60, e o setor vem sempre buscando o aprimoramento para atender a alta demanda. Porém, os painéis produzidos no Brasil ainda apresentam algumas limitações de uso, principalmente no que se refere à sua estabilidade dimensional e à sua resistência à flexão, sendo esta última influenciada em parte pelas pequenas dimensões das partículas utilizadas. Entretanto, tais limitações poderiam ser minimizadas pela inclusão de lâminas na composição estrutural desse tipo de painel, tanto nas camadas externas como internas. Esse aprimoramento técnico é conhecido na área tecnológica como “inclusão laminar” e foi desenvolvido na década de 70 nos Estados Unidos, cujo produto comercial recebeu o

nome de Com-ply. No Brasil, esse painel é pouco conhecido, ficando restrito aos centros de pesquisa.

Para fabricação dos painéis do tipo Com-ply, lâminas de madeira são utilizadas nas partes externas de tal forma que a resistência do painel ou compósito fica maior, já as partículas que conferem menor resistência irão formar o miolo do painel. Na composição desses painéis, pode-se utilizar qualquer parte da árvore ou da madeira que seria a priori desprezada.

Todas as atividades florestais geram resíduos em maior ou menor quantidade e eles quase sempre estão associados à palavra problema, seja ambiental, social ou econômico. A legislação brasileira aponta a autorresponsabilidade das empresas na remoção, estocagem e tratamento de resíduos gerados pelos processos de produção, a partir de procedimentos adequados para a conservação do meio ambiente. Por muitas décadas, essa questão ambiental dos resíduos vem incomodando, mas, atualmente, eles estão deixando de ser uma simples obrigação legal para se transformar em uma forma de gestão empresarial e, em alguns casos, passar de descarte a produto ou subproduto.

A industrialização florestal engloba os diferentes processos de desdobro da madeira e os principais resíduos gerados nas diversas etapas do processamento primário (serrarias e laminadoras) e secundário (beneficiamento) da madeira. Esses resíduos são constituídos basicamente por cascas, costaneiras, pó de serra, refilos, destopos e peças desclassificadas. O levantamento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso desse material poderá gerar alternativas que viabilizem seu manuseio e, na grande maioria das vezes, sua valorização sempre será uma alternativa superior ao seu descarte. Essa valorização, quando bem administrada, faz com que o material residual de uma empresa se torne matéria-prima para ela mesma ou para outra, promovendo uma redução nos seus custos.

Devido à importância do tema, pesquisas voltadas para o aproveitamento de resíduos madeireiros como fonte alternativa para

geração de produtos, que visem a disponibilizá-los de forma econômica e ambientalmente correta, sem comprometer a sua qualidade final, são uma necessidade imediata nessa área. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo principal produzir painéis aglomerados, utilizando resíduos da indústria laminadora de madeira e como objetivos específicos avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos, analisando a influência dos seguintes fatores:

- inclusão de laminas externas;
- dois tipos de adesivos e
- três tipos de resíduo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos do processamento da madeira

Os resíduos de madeira são materiais combustíveis e degradáveis, classificados, conforme a norma (ABNT NBR 10.004, 2004a), de “Resíduos Sólidos – Classificação”: - como resíduos sólidos de Classe II – Não Inertes. Em condições naturais, não há riscos à saúde pública, pois não são tóxicos nem patogênicos.

De acordo com Arima et al. (1999), as serrarias e as laminadoras são potenciais fontes de resíduos madeireiros, desde a entrada da tora no pátio da empresa até as pranchas e tábuas serradas, sendo este volume estimado entre 60% e 68% do volume de madeira bruta processada. De acordo com os autores, a baixa produtividade e, conseqüentemente, o elevado volume de resíduo devem-se aos equipamentos obsoletos, mão de obra desqualificada, às formas inadequadas de armazenar toras e à falta generalizada de atividades que visem ao maior aproveitamento da matéria-prima madeira.

Gerwing et al. (2001) examinaram os fatores que influenciam o rendimento do processamento de toras em serrarias e laminadoras na Amazônia e verificaram que os rendimentos médios totais foram maiores para as laminadoras (39%), seguindo-se as serrarias que produzem para o mercado interno (36%) e as de exportação (32%). Os autores observaram que uma variedade de fatores influenciou o rendimento do

processamento de toras, tais como a degradação durante o armazenamento, os danos causados por insetos e a variação na espessura da madeira processada, devido à utilização de equipamentos de processamento inadequados ou gastos. Por causa desses fatores, foram encontradas grandes diferenças entre os rendimentos de cada serraria, sendo o maior valor igual a 55% e o menor igual a 27%. O rendimento das empresas madeireiras foi maior (em até 10% do volume total da tora) para aquelas que usavam sobras de madeira ou de laminados para fabricar produtos secundários.

Segundo o Instituto Pró-Natura (2007), no norte do país existem aproximadamente 3.200 empresas de transformação primária da madeira, ou seja, serrarias e laminadoras, produzindo em torno de 15 milhões de m³ de produtos madeireiros e 56% de resíduos em relação ao volume original de toras.

Bonduelle et al. (2004), em um trabalho para quantificação de resíduos nas indústrias madeireiras do sul do Brasil, verificaram que as maiores quantidades foram de cavaco com casca, lâminas desclassificadas, serragem e rolo-resto. E as atividades com maior representação foram as serrarias e as laminadoras, responsáveis por 80% do volume total de resíduos quantificados.

Brand e Hassegawa (2005), estudando as serrarias e laminadoras da região norte e sul do nosso país, observaram que os principais resíduos madeireiros foram gerados na transformação mecânica da madeira, durante o desdobro primário da tora. Os autores descreveram que a natureza desses resíduos dependia exclusivamente do processo industrial em questão, mas os tipos comumente encontrados foram costaneiras, cascas, serragem, maravalhas, cavacos, rolo-resto, aparas, pontas, pedaços e peças desclassificados no controle de qualidade. Em função de suas dimensões, eles classificaram os resíduos em material de pequena dimensão (serragem, maravalhas, cascas e cavacos) e material de grande dimensão (costaneiras, pedaços, aparas, pontas, lâminas, rolo-

resto), sendo o volume médio de cada um, respectivamente, de 25% e 75% do total gerado.

Conforme DaCosta et al. (2005), o aproveitamento dos resíduos de serraria para fabricação de painéis enfrenta um grave problema, que é a presença de casca em grande quantidade, o que influencia nas propriedades tecnológicas dos painéis. Já os resíduos de laminadoras não apresentam tal material e se adaptam perfeitamente à produção de aglomerados, além de serem mais fáceis de separar e quantificar.

Na América do Norte, Kock (1976) determinou o rendimento na fabricação de compensados de coníferas, bem como a destinação de seus resíduos. O autor descreve que de uma tonelada de tora sem casca foram obtidos 0,45 t de compensado sem lixamento (incluindo cola); 0,06 t de lâminas aplainadas para uso em miolos de painéis; 0,08 t de partículas para uso em painéis de partículas; 0,30 t de partículas para uso em polpa; e 0,12 t de partículas para uso como combustível.

Ekono (1980), assim como Kock (1976), também avaliou rendimento, perdas e possível destinação dos resíduos de folhosas em indústrias de compensado nas Filipinas. Ele chegou à conclusão de que uma tonelada de toras poderia produzir 0,47 t de compensado, 0,36 t de partículas para uso em chapas de partículas, 0,07 t de perdas e 0,10 t de partículas para uso como combustível.

Miyazaki (1989), trabalhando com a quantificação de resíduos na indústria de compensados no Japão, cuja matéria-prima era madeira de folhosas importadas da África, verificou que a produção de resíduos foi de 0,80% na forma de serragem, 1,90% de destopo, 6,60% de rolo-resto, 9,30% de lâminas verdes provenientes do início da laminação das toras, 4,40% de lâminas secas, 3,20% de resíduos de compensados, 1,20% de pó-de-lixo e 0,30% de casca, totalizando 27,70% de resíduos no processo produtivo total.

Andrade (1992), estudando fábricas de compensados na Malásia e Indonésia, que trabalhavam com folhosas, encontrou perdas de 53% no processo produtivo, das quais, porém, 43% estavam relacionadas às

atividades de laminação e classificação das lâminas, e somente 7,5% eram relativas ao esquadrejamento e 3,0% ao lixamento dos painéis.

No Brasil, Tomaselli (1992), avaliando a produção de compensados com madeiras tropicais, na região norte do país, encontrou rendimento médio de 38%, quando usadas espécies de várzea e 42% quando utilizadas espécies de terra firme, entretanto a geração de resíduo foi em torno de 55% independentemente da espécie. Esses resultados foram obtidos pelas toras no pátio, considerando-se toda a atividade de laminação.

No trabalho realizado por Silva (2001) na região sul do Brasil, em indústria de compensados de *Pinus*, foi constatado que para cada m³ de compensados produzia-se 1,9 m³ de resíduos, considerando-se a laminação e as atividades de manufatura dos painéis. O autor mencionou ainda que a produção de resíduos foi de 65% quando considerado todo o processo produtivo (laminação e manufatura). Porém, de todo o resíduo gerado, 89% foi produzido na laminadora e apenas 11%, na fábrica.

Polzl (2002) relata que a geração de resíduo na fabricação do compensado depende do tamanho da empresa e que os desperdícios depois da secagem das lâminas devem ser considerados. De acordo com o autor, as perdas para as empresas de compensados no sul do país são em torno de 15,13% para as pequenas, de 14,55% para as médias e de 12,55% para as grandes.

Bonduelle et al. (2004), pesquisando as indústrias de chapas compensadas de *Pinus* da região sul brasileira, verificaram que o rendimento médio ponderado foi de 36,52%, e a geração de resíduos foi de 58%, e as maiores perdas ocorreram no processo de laminação.

Estudos de Brand et al. (2004) sobre o rendimento médio das diversas operações de uma indústria de painéis de compensado de *Pinus*, também no sul do país mostraram rendimentos de 37,03% para toras até compensado bruto e de 33,27% para toras até compensado acabado, com uma geração de resíduo em torno de 52%, em todo processo.

Apesar de vários levantamentos sobre a quantificação de resíduos dentro da indústria madeireira, pouco se faz para que seu uso seja de forma racional. Segundo DaCosta et al. (2005), uma parte substancial desses resíduos são utilizados para geração de energia para fins industriais e domésticos, contudo, apesar dos benefícios sociais, esta forma de utilização agrega muito pouco valor ao produto final, sendo necessárias outras formas de empregá-los, como, por exemplo, na confecção de painéis particulados.

De acordo com Brito (1996), os EUA utilizam os resíduos de madeira como fonte principal de matéria-prima na indústria de aglomerados, no entanto, o Brasil utiliza pouco, mas, atualmente, muitas empresas já utilizam resíduos em suas fábricas. O mesmo autor esclarece que para o seu uso devem ser observadas questões com relação ao tamanho das partículas, teor de adesivo, tempo e temperatura de prensagem, pois elas influenciarão diretamente a qualidade do produto.

Conforme Iwakiri (2000), o aproveitamento dos resíduos madeireiros provenientes das serrarias e laminadoras, para produção de painéis aglomerados, seria uma alternativa viável tanto no âmbito econômico como tecnológico e ambiental, pois o volume de resíduos gerados nessas indústrias é muito grande. Olandoski (2001) corrobora tal ideia, ressaltando que no Brasil existem vários materiais da indústria florestal que poderiam fazer parte na fabricação de painéis aglomerados, tais como resíduos industriais de madeiras, resíduos da exploração florestal e madeiras de qualidade inferior não-industrializáveis de outra forma.

Mendes (2001) relata que os primeiros painéis brasileiros foram inicialmente produzidos com resíduos de serraria, porém eles tiveram restrições de uso por causa das grandes reservas de florestas nativas que forneciam matéria-prima de forma ilegal.

Daí et al. (2004) mencionam que o aglomerado é o derivado de madeira que apresenta maiores potencialidades para incorporar resíduos

em sua fabricação, pois tanto a qualidade dos painéis como também o processo de fabricação não são alterados.

Silva (2006) ressalta que no Brasil a década de 1960 foi marcante para a produção de painéis particulados do tipo aglomerado e que, inicialmente, este produto era feito de qualquer material proveniente de madeira, principalmente de resíduos de serraria.

Além da madeira, vários estudos apontam a viabilidade de utilização de outras fontes de partículas na manufatura de painéis aglomerados, como o bagaço de cana-de-açúcar (OKINO, 1997; TEIXEIRA *et al.*, 1997), o plástico (MACIEL, 2001), as aparas de papel reciclado (CALEGARI *et al.*, 2004), o bambu (CALEGARI, 2007), a fibra de coco (COLLI, 2007), a palha e a casca de arroz (MELO, 2009), entre outros.

Iwakiri (2005) descreve que, do ponto de vista técnico, quase todas as espécies de madeira ou qualquer outra fonte de fibra lignocelulósica podem se constituir em fonte de matéria-prima para confecção de painéis, porém, quando se impõem padrões de qualidade ou características especiais, há uma restrição considerável no número de matérias-primas disponíveis. O autor menciona ainda que quando são feitos a redução dos materiais em elementos menores como partículas e o seu rearranjo e posterior reconstituição em novos tipos de produtos, não são alteradas muitas das características da matéria-prima original, podendo-se valorizar ou desvalorizar o produto formado.

DaCosta *et al.* (2005) ressaltam que embora a matéria-prima vegetal seja um fator importantíssimo na produção de aglomerados, sua escolha está sempre condicionada a fatores de ordem econômica e, muito raramente, a fatores de ordem técnica.

Silva (2006) afirma que, em se tratando de economia, um dos fatores importantes para o sucesso do aglomerado é justamente o fato de ele poder ser fabricado com matéria-prima de menor qualidade e até resíduos, minimizando, assim, o seu custo.

De acordo com Melo (2009), a utilização de novas tecnologias de produção na área de produtos florestais, cada vez mais, busca a

otimização de processos industriais dentro das viabilidades econômicas mundiais, além das exigências ambientais e sociais. Assim, fica clara a necessidade da caracterização da cadeia produtiva da madeira processada para que haja um melhor aproveitamento da matéria-prima e dos resíduos dela provenientes.

Azevedo (2002) menciona que o aproveitamento de resíduos florestais no Brasil é dificultado pela diversidade de espécies, pelas formas e dimensões dos resíduos; pela sazonalidade; pelo seu baixo valor agregado no estado natural; pelas limitações tecnológicas para reprocessamento; pelo custo do frete ocasionado pelas longas distâncias entre o local gerador e o de aproveitamento; pela falta de políticas públicas de incentivo para o desenvolvimento de tecnologia de aproveitamento; e pelas diferentes necessidades entre os diversos setores produtivos.

Segundo a FAO (Food and Agricultural Organization - 2009), o comércio internacional de produtos florestais movimenta bilhões de dólares por ano e vem se projetando de forma crescente em todo o mundo. As previsões dessa organização para até o final do ano de 2010 são de um consumo mundial em torno de 2,6 bilhões m³ de madeira roliça para fins industriais, de 745 milhões m³ de madeira serrada e de 330 milhões m³ de painéis de madeira. Aliados a toda essa demanda, estão os resíduos gerados pelo setor, ou seja, se a demanda de madeira processada aumentar, os resíduos também aumentam, sendo de responsabilidade das empresas seu destino.

Pelo exposto, o uso de resíduos é um tema que cabe hoje no âmbito definido pela palavra "sustentabilidade" e vem ganhando atenção à medida que os sintomas ambientais provocados pelas extrações e emissões provenientes de nossa economia aberta e de consumo acelerado se intensificam. A reinserção desses resíduos no ciclo produtivo da indústria madeireira poupa impactos de extração de matéria-prima e descartes, portanto, o seu aproveitamento torna-se central nesse estudo, inclusive como um instrumento de agregação de valor em uma

opção de aproveitamento mais vantajosa que a tradicional queima para geração de energia.

2.2. Painéis aglomerados

Maloney (1993) descreve que a primeira referência sobre a fabricação de chapa de partículas de madeira foi feita por Ernst Hubbard em 1887, quando publicou o trabalho “Die Verwertung Der Holzadfälle” (Utilização de resíduos de madeira), que tinha como proposta a produção artificial de um painel, empregando serragem e albumina de sangue, com a aplicação de calor e pressão. Como visto, os painéis particulados tiveram sua origem nos resíduos, apesar de a ideia parecer completamente inovadora nos tempos atuais.

Conforme Pereyra (1993), os primeiros projetos utilizando aglomerado ocorreram entre 1908 -1910, porém somente após 1950 é que aconteceu o seu desenvolvimento em escala industrial. Mundialmente esse produto teve grande aceitação de mercado e, no início da década de 80, seu volume de produção equivaleu-se ao do compensado, painel mais conhecido da época.

De acordo com Zugman (1994), as indústrias de painéis aglomerados encontram-se entre as maiores indústrias de processamento de madeira, e seu grande êxito se deve principalmente a três fatores:

- os painéis são produtos que envolvem a agregação de alta tecnologia, apresentando, em contrapartida, preço relativamente baixo, boa qualidade e fácil aquisição;
- o processo de fabricação pode envolver a utilização de resíduos florestais e industriais, material de reduzido diâmetro e uma variedade de matérias-primas de valor reduzido, que minimizam os custos das empresas; e

- considerando a grande produção, o capital necessário para a implantação não é muito grande, quando comparado a outras indústrias.

Mendes (2001) relata que os aglomerados estão disponíveis no mercado consumidor nas formas “in natura”, ou revestidos por lâminas de madeira natural, laminado plástico, PVC e outros. Conforme sua densidade, Iwakiri (2005) menciona que esses painéis podem ser classificados em painéis de baixa densidade, que variam de 250 a 400 kg m⁻³; painéis de média densidade, de 401 a 800 kg m⁻³; e painéis de alta densidade, de 801 a 1200 kg m⁻³. O mesmo autor relata ainda que atualmente os aglomerados de média e baixa densidades são preferencialmente utilizados pelo setor de mobiliário, embalagens, caixas acústicas, indústria automobilística, enchimento de portas, divisórias e revestimentos, ficando os de alta densidade reservados para a construção civil. Maloney (1993) descreve que esses painéis são muito versáteis, mas apresentam algumas particularidades, as quais devem ser consideradas quando em uso, tais como baixa usinabilidade e afinidade por umidade.

Em se tratando de mercado, os aglomerados são amplamente consumidos em todo o mundo, inclusive no Brasil. Individualmente, o maior país produtor são os Estados Unidos, e os principais países consumidores são a Alemanha, a China e os Estados Unidos. A Europa é a principal região exportadora, enquanto a Ásia é a principal importadora. Os Estados Unidos são o maior importador, enquanto o Canadá é o maior exportador. O Brasil, dentre os produtores, ocupa o nono lugar, com 2% do volume fabricado mundialmente e quase toda sua produção fica no mercado interno, não havendo exportação ou importação significativa (MATTOS et al., 2008).

Nacionalmente, o aglomerado sempre foi um painel de categoria inferior, com problemas tecnológicos, mas a partir da década de 1990, ele começou a ser melhorado e sua demanda interna cresceu muito, mas seu estigma de inferioridade ainda predominava. Por isso, nos anos 2005 e

2006, as empresas brasileiras começaram a substituí-lo, gradativamente, por um novo produto que recebeu o nome de MDP (*medium density particleboard*), ou painel de partículas de média densidade. O surgimento desse painel é o resultado concreto dos investimentos das fábricas brasileiras em tecnologia e em novos processos de produção (ABIPA, 2010).

Segundo Bruno (2007), o “MDP” pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média densidade, apresentando características superiores e totalmente distintas dos painéis de madeira aglomerada, sendo produzido com o conceito de três camadas: camada interna com partículas mais grossas e camadas externas com partículas mais finas. O mesmo autor menciona ainda que, devido ao seu processo de produção, as camadas superficiais apresentam alta densidade, o que assegura ao painel propriedades mecânicas ótimas e um excelente acabamento.

Todas as indústrias brasileiras que trabalham com aglomerado e MDF (*medium density fiberboard*) estão empenhadas em produzir o MDP, e os seus nichos de aplicação são os mesmos do aglomerado tradicional (ABIMCI, 2009).

De acordo com a ABIPA (2010), o mercado de painéis de madeira ainda está em processo de consolidação e apresenta bastante dinamismo tanto no Brasil como no mundo. No caso especial do aglomerado/MDP brasileiro, a tendência para o mercado interno é bastante positiva, devido ao crescimento econômico do país e ao aumento de crédito do consumidor. A visão futurista, demonstrada pelo crescimento da capacidade das empresas do setor, confirma essa expectativa em relação à demanda interna, visto que a exportação desse tipo de painel é pouco rentável.

Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos na área de compósitos de madeira quase sempre convergem para minimizar as limitações de uso, ocasionadas pela instabilidade dimensional dos produtos reconstituídos. Dentre eles, merece destaque a inclusão de lâminas na estrutura do painel, que pode ser tanto nas camadas externas como internas. Essa

técnica é conhecida na área tecnológica como inclusão laminar em chapas de partículas e foi desenvolvida na década de 70 nos Estados Unidos, cujo produto comercial recebeu o nome de Com-ply. No Brasil, esse tipo de painel é pouco conhecido, ficando restrito aos centros de pesquisa (IWAKIRI et al., 1999).

Para fabricação dos painéis do tipo Com-ply, lâminas de madeira são aderidas nas partes externas, melhorando a resistência da chapa ou compósito. Na sua confecção, pode-se utilizar qualquer parte da árvore ou da madeira que seria a priori, desprezada, isso é um atrativo grande na área de industrialização, solucionando, em parte, o problema ambiental causado pelos resíduos, além de agregar valor ao produto final (IWAKIRI, 2005).

A matéria-prima é um fator importantíssimo para suprir qualquer empreendimento e, no caso do setor de painéis aglomerados, ela vem cada vez mais sendo aprimorada para gerar produtos de qualidade e de melhor custo/benefício, além de satisfazer as exigências ambientais.

Mattos (2008) menciona que no Brasil a fabricação de painéis reconstituídos usa basicamente os reflorestamentos de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.* como matéria-prima, pelo seu melhor rendimento industrial e também pelos aspectos ecológicos envolvidos na manutenção desse tipo de empreendimento e porque as áreas florestais, diretamente vinculadas a essa indústria, compreendem cerca de 0,6 milhões de hectares, localizadas predominantemente nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Já Iwakiri et al. (2006) relatam que a matéria-prima mais utilizada pelas empresas nacionais de painéis é a madeira de *Pinus sp.* e que os plantios não suprem a demanda, havendo, portanto, necessidade de utilização de espécies alternativas para esse setor.

Segundo a ABIPA (2009), as tentativas para disponibilizar matéria-prima dentro da indústria de transformação da madeira são uma busca constante, mas que até agora, nenhuma superou os tradicionais reflorestamentos de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*

Dentre as muitas pesquisas relacionadas à matéria-prima para o setor de painéis reconstituídos, o paricá (*Schizolobium amazonicum* Hurber) é uma espécie que timidamente vem despontando no norte do país como uma opção de reflorestamento. Conforme Lorenzi (1998), sua madeira é mole, leve, com textura grossa, grã direita a irregular, cerne creme-avermelhado e alburno creme claro. É facilmente processada e recebe bom acabamento. Contudo, possui baixa durabilidade natural, sendo susceptível ao ataque de fungos, cupins e insetos xilófagos. A madeira pode ser utilizada para a fabricação de palitos de fósforo, saltos de calçados, brinquedos, maquetes, embalagens leves, canoas, forros, miolo de painéis e portas, formas de concreto, laminados, compensados, celulose e papel.

A espécie apresenta crescimento rápido e bom desenvolvimento tanto em formações homogêneas quanto em consórcio. Os primeiros reflorestamentos experimentais ocorreram por volta do ano de 1982 no Pará, mas foi a partir de 1993 que os plantios comerciais destinados exclusivamente para laminação foram iniciados (REVISTA GLOBO RURAL, 2010). Atualmente, de acordo com a ABRAF (2010), a área reflorestada com essa espécie no Brasil é de 85.320 ha.

Após a seleção e processamento do material lignocelulósico, a próxima etapa na produção dos painéis aglomerados é a união das partículas por meio de um agente ligante, tecnicamente denominado de adesivo ou resina.

Conforme Pizzi (1994), os principais tipos de adesivos usados na produção de painéis aglomerados são a ureia-formaldeído, o fenol-formaldeído e a melamina-formaldeído.

Iwakiri (2005) menciona que a ureia-formaldeído é utilizada na produção de aglomerados que se destinam ao uso interno, e o fenol-formaldeído ao uso externo. Já a melamina-formaldeído, em função do alto custo, geralmente é usada como fortificante em mistura com a ureia-formaldeído, o que confere aos painéis uma maior resistência à água. O mesmo autor descreve que dos três, a ureia-formaldeído tem a

preferência em mais de 90% dos painéis direcionados para o setor moveleiro, devido ao baixo custo, facilidade de manuseio, cura rápida e formação da linha de cola imperceptível, porque o adesivo fica incolor. Entretanto, Marra (1992) ressalta que além de esse adesivo apresentar vantagens que lhe dão preferência mundial frente a outros adesivos, ele apresenta desvantagens que devem ser revistas quando em uso, sendo as principais, a baixíssima resistência à umidade e a liberação de formaldeído. O autor esclarece ainda que essas duas características são dependentes, ou seja, quanto menor a quantidade de formaldeído na formulação do adesivo, menor a resistência dele à água e vice-versa.

Para Haselein (2002), a produção de chapas aglomeradas exige gastos significativos, pois a fabricação de adesivos sintéticos orgânicos e derivados de petróleo, como os que são usados pelo setor, chega a onerar o custo de produção em até 30%.

Como descrito, os adesivos tradicionalmente empregados dentro das fábricas de painéis são provenientes de matéria-prima fóssil, constituídos por fontes não renováveis, representando uma preocupação econômica e ambiental a seus usuários. Portanto, a busca por outros adesivos alternativos, sem comprometer a qualidade final do produto desejado, é uma necessidade dentro desse setor. Sendo assim, o uso do adesivo de silicato de sódio, um composto químico inorgânico e inofensivo ao meio ambiente, merece deixar seus registros de estudo na área de tecnologia da madeira como uma opção para a indústria de painéis reconstituídos.

Conforme Shreve (1980), industrialmente, os silicatos de sódio são produzidos pela fusão do carbonato de sódio e areia, por volta de 1400°C. Porém, quimicamente, os silicatos são qualquer combinação entre um óxido de metal alcalino e o silício, fundidos em temperaturas acima de 1500°C. A versatilidade desses produtos origina-se basicamente da modificação de suas propriedades, o que possibilita a variação da sua relação molar e da sua forma física (líquido, pó ou granulado). Geralmente, as empresas produtoras oferecem uma grande variedade de

tipos de silicatos solúveis, capazes de reunir todas as exigências possíveis de utilização, e a maioria deles é usada na forma de solução.

De acordo com a Ineos Sílicas (2007), uma combinação única das propriedades químicas e físicas desses silicatos faz deles os produtos químicos inorgânicos mais versáteis e mais amplamente utilizados no mundo, com aplicações abrangentes dentro dos grupos de detergentes, químicos e adesivos. A mesma empresa especifica ainda que o adesivo de silicato de sódio já é empregado com sucesso na indústria de conversão do papel, tubos, tubetes e embalagens, apresentando potencial de uso no setor de madeira e derivados.

Segundo Youngquist (1999), para escolher um adesivo devem-se considerar alguns fatores que levem em conta as características dos materiais a serem unidos, o conteúdo de umidade, o tempo de colagem, as propriedades mecânicas e a durabilidade solicitada aos produtos finais, além, logicamente, do seu custo. O autor ainda destaca que a escolha do adesivo para a fabricação de um produto reconstituído de madeira envolve um esforço corporativo entre o seu fabricante e o fornecedor do adesivo. Esse esforço conjunto deve levar em consideração a análise do produto, o planejamento ambiental, bem como todo o processo de produção e equipamentos. Para Vick (1999), o processo de seleção de um adesivo começa com a avaliação de sua compatibilidade com as propriedades físicas e químicas da ligação adesiva requerida, em termos de propriedades da superfície do material a ser colado e o desempenho do produto colado, e que o custo do adesivo deve ser sempre avaliado.

Conforme Latorraca (2000), o silicato de sódio é um produto inorgânico que vem sendo empregado na formação de compósitos cimento-madeira, tanto como aglomerante, como também aditivo. Por definição, Ferreira (2009) descreve que *aglomerante* é a substância que aglomera, que aglutina (aglutinante), e *aditivo (química)* é a substância que se adiciona à solução para aumentar, diminuir ou eliminar determinada propriedade desta.

Após a seleção dos adesivos, é comum aplicar outros produtos ao painel reconstituído, chamados de material aditivo. Essas substâncias são incorporadas às partículas de madeira, durante o processo de aplicação do adesivo, com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas.

Segundo Mendes (2001), os aditivos químicos mais usados na fabricação de painéis aglomerados são os catalisadores ou endurecedores, tais como o cloreto de amônia e o sulfato de amônia, que, ao serem adicionados no adesivo ureia-formaldeído, têm a função de reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina. O uso desses agentes reduz o pH da resina, tornando o meio mais ácido e tendo a ação de endurecedor por combinar com o formaldeído livre.

Outros materiais aditivos tais como a emulsão de parafina, usada para reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, os retardantes de fogo, que são compostos químicos como fosfato de amônia, ácido bórico, sulfato de amônia e bromato de amônia, e os preservantes contra fungos e insetos, também podem ser incorporados durante o processo de produção do painel, o que propicia um material de qualidade superior em termos de uso (CABRAL, 2005).

Iwakiri (2005) cita que no processo de formação dos painéis reconstituídos, a madeira, o adesivo e os aditivos químicos empregados são importantíssimos, pois eles irão originar o compósito. Esse novo produto possui propriedades diferenciadas em função do comprimento, largura e espessura dos elementos da madeira que o originou, e conforme suas características e designação, esses elementos terão definidas suas qualidades técnicas.

De acordo com Geimer e Price (1978), muitos fatores influenciam as propriedades das chapas de aglomerado. Algumas variáveis do processo, como a velocidade de fechamento da prensa, a umidade do colchão, a massa específica do painel, o tipo, a quantidade e a qualidade

do adesivo, o tempo e a temperatura de prensagem, interagem entre si ou com algumas características da matéria-prima, como o tipo da madeira utilizada, a massa específica da madeira, a geometria das partículas, o pH da madeira e outros. Essas interações podem ocorrer simultaneamente e, às vezes, de forma não linear, favorecendo ou prejudicando algumas propriedades das chapas.

Porém, Maloney (1993) menciona que as propriedades finais de um painel, sejam elas físicas, mecânicas ou até ambientais, são influenciadas por uma série de características relacionadas à matéria-prima, ao processo e aos produtos incorporados aos painéis. Além da atuação de cada fator de forma isolada, pode-se esperar uma interação entre muitos destes fatores.

Segundo Tsoumis (1991), ao se considerar a variabilidade das propriedades da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco, deve-se também esperar que ocorram diferenças nas propriedades dos painéis produzidos a partir de uma árvore integral ou de partes localizadas da árvore. Portanto, o material reconstituído guarda as características de seu material original. Já Bodig e Jayne (1993) relatam que na madeira sólida, tanto as propriedades físicas quanto as mecânicas variam entre espécie, entre árvores da mesma espécie e em diferentes alturas dentro da mesma árvore, mas durante o processamento da madeira para a fabricação de compostos, essas variabilidades podem ser controladas, selecionando-se adequadamente os fatores de produção, originando assim produtos com características superiores ao da matéria-prima original.

No Brasil, as propriedades dos painéis aglomerados e suas possíveis variabilidades são determinadas por normas, sendo as mais utilizadas a norma NBR-14810 (2002) e a ASTM, D-1037 (1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Esta pesquisa foi conduzida na unidade experimental de chapas e painéis de madeira, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Estado de Minas Gerais. Os materiais lignocelulósicos empregados foram resíduos de costaneiras, rolo-resto e lâminas de 3 mm de espessura da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), coletados na linha de produção de 10 empresas laminadoras, localizadas no estado do Pará. A massa específica da madeira foi determinada conforme método sugerido por Vital (1984), e o seu valor médio foi de 0,32 g/cm³.

Os adesivos utilizados foram o silicato de sódio, doado pela empresa Tubominas, e a ureia-formaldeído (Cascamite 5-H), doada pela indústria Borden Chemical (Alba Química). As principais propriedades desses adesivos são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Propriedades dos adesivos utilizados para produção dos painéis

Adesivo	Natureza química	Massa específica (g/cm ³)	Teor de sólidos (%)	pH	Viscosidade (cp)	Gel time (s)
Silicato de sódio	inorgânico	1,48	45	12,2	750	109
Ureia-formaldeído	orgânico	1,27	65	7,5	940	176

Fonte: Ineos Sílica e Borden Chemical.

3.2. Métodos

Os resíduos na forma de costaneiras deram origem às maravalhas, e os resíduos na forma de rolo-resto geraram os cavacos. As lâminas desclassificadas foram seccionadas em dimensões menores e originaram as lâminas de inclusão e os resíduos de lâminas.

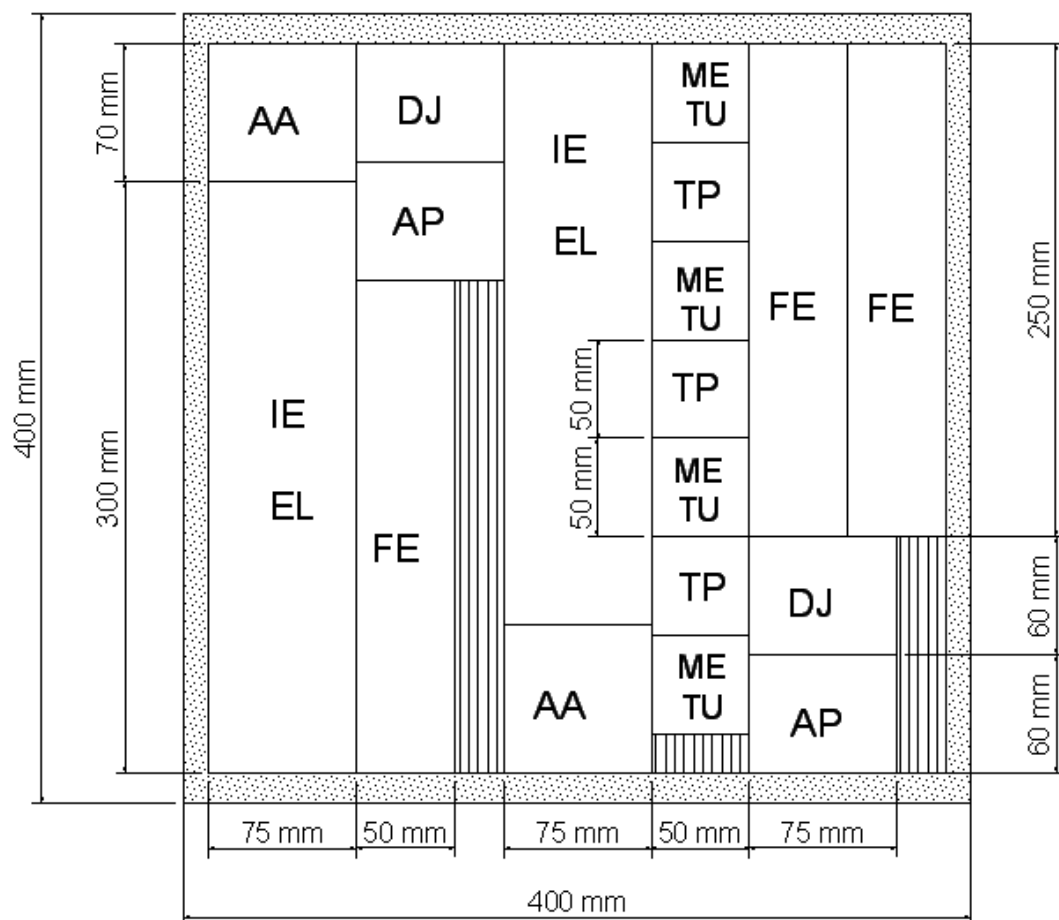
Todas as partículas foram confeccionadas em moinho do tipo martelo, equipado com peneira de 2 x 22,5 mm. A classificação foi feita por uma peneira manual com malha medindo 1,0 x 1,0 mm, aproveitando-se o material que ficava retido e descartando-se o que atravessava. Após a classificação, secaram-se as partículas e as lâminas de inclusão em uma estufa de circulação forçada e, em seguida, determinaram-se as dimensões médias das partículas empregando-se paquímetro com precisão de 0,01 mm.

Sobre as partículas, aplicaram-se os adesivos por meio de uma encoladeira, do tipo tambor rotatório, a qual continha um bico aspersor integrado ao compressor. Na lâmina de inclusão, os adesivos foram aplicados manualmente, usando-se pincel. O pré-colchão de partículas foi formado numa caixa vazada separada por placas de alumínio pré-prensado manualmente para melhor acomodação das partículas. A inclusão das lâminas foi feita na face e contra face do aglomerado, e a sua prensagem ocorreu simultaneamente com o colchão de partículas. As especificações técnicas de produção, utilizadas no trabalho, são apresentadas no Quadro 2.

Após a prensagem, os painéis foram climatizados à temperatura de 20°C (± 2) e umidade relativa de 65% (± 3) até estabilização. A seguir, foram retirados, conforme a Figura 1, os corpos de prova para ensaios físicos e mecânicos, que foram realizados com base nos procedimentos descritos na norma da ABNT, NBR 14810-3 (2002).

Quadro 2. Especificações técnicas utilizadas na confecção dos painéis

Parâmetros	Valores
Pressão da prensa	32 kgf/cm ²
Temperatura da prensa	170 ⁰ C
Tempo de prensagem	10 minutos
Dimensões da caixa formadora	40 cm x 40 cm x 10 cm
Massa específica média da madeira de paricá	0,32 g/cm ³
Teor médio de umidade das partículas	3%
Teor médio de umidade das lâminas	8%
Dimensões das lâminas para inclusão	40 cm x 40 cm x 0,3 cm
Teores de adesivo	8% e 10%
Gramatura dos adesivos (lâminas da face e contra face)	200 g/m ²
Taxas de compactação	1,7 e 2,1
Massas específicas desejadas em relação à taxa de compactação	0, 54 g/cm ³ e 0, 67 g/cm ³
Espessura final desejada	1,6 cm



Legenda:


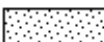
AA: Absorção de Água;	AP: Arrancamento de Parafuso;
DJ: Dureza Janka;	EL: Expansão Linear;
FE: Flexão Estática;	IE: Inchamento em Espessura;
ME: Massa Específica;	TP: Tração Perpendicular;
TU: Teor de Umidade;	
 Material rejeitado;	 Bordadura.

Figura 1. Esquema de retirada dos corpos de prova para os testes físicos e mecânicos.

Os tratamentos consideraram cinco fatores provenientes de duas formas de elaboração dos painéis (aglomerado com e sem inclusão laminar), três tipos de partículas (provenientes de lâmina, cavaco e maravalha), dois tipos de adesivo (silicato de sódio e ureia-formaldeído), dois teores de adesivo (8% e 10%) e duas taxas de compactação (1,7 e 2,1), com quatro repetições, totalizando 192 chapas. No entanto, a influência simultânea de cinco fatores ou fontes de variação sobre cada tratamento poderia gerar várias interações quádruplas e uma quántupla. Essas interações dificultariam consideravelmente a análise e interpretação dos resultados, podendo levar a critérios e conclusões irrelevantes ou erradas.

Por outro lado, o elevado número de fatores poderia causar uma excessiva variabilidade dos dados. Assim, as pressuposições da análise de variância, tais como a normalidade dos dados e a homogeneidade de variância dos erros experimentais (homocedasticidade), poderiam não ser satisfeitas, inclusive após a transformação dos valores originais, conforme diversas funções matemáticas. Essa situação, possivelmente, comprometeria a análise de variância e, conseqüentemente, os resultados e as conclusões da pesquisa.

Diante do exposto, optou-se por fixar os teores dos adesivos e as taxas de compactação como condições experimentais (Quadro 3). Os três restantes (tipos de painéis, tipos de partículas e tipos de adesivo) foram considerados fonte de variação na análise estatística.

Quadro 3. Teor de adesivo e taxa de compactação em cada condição experimental estabelecida

Condição Experimental	Teor de adesivo (%)	Taxa de compactação
Primeira (I)	8	1,7
Segunda (II)	8	2,1
Terceira (III)	10	1,7
Quarta (IV)	10	2,1

No Quadro 4 são apresentados os doze (12) tratamentos, definidos em um esquema fatorial 2X3X2 em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em quatro condições experimentais, totalizando 192 chapas. Para a análise de variância e comparação das médias dos tratamentos, foram aplicados os testes Fischer e Tukey ($p \leq 0,05$), respectivamente. No processamento dos dados, utilizou-se o programa computacional STATISTICA, versão 8.0.

Quadro 4. Tratamentos definidos para a pesquisa

Fatores e níveis			Tratamentos	
Painéis (P)	Resíduos (R)	Adesivos (A)	Nro	Identificação
Aglomerado sem inclusão laminar (P1)	Lâmina (R1)	Silicato (A1)	1	P ₁ R ₁ A ₁
		Ureia (A2)	2	P ₁ R ₁ A ₂
	Cavaco (R2)	Silicato (A1)	3	P ₁ R ₂ A ₁
		Ureia (A2)	4	P ₁ R ₂ A ₂
	Maravalha (R3)	Silicato (A1)	5	P ₁ R ₃ A ₁
		Ureia (A2)	6	P ₁ R ₃ A ₂
Aglomerado com inclusão laminar (P2)	Lâmina (R1)	Silicato (A1)	7	P ₂ R ₁ A ₁
		Ureia (A2)	8	P ₂ R ₁ A ₂
	Cavaco (R2)	Silicato (A1)	9	P ₂ R ₂ A ₁
		Ureia (A2)	10	P ₂ R ₂ A ₂
	Maravalha (R3)	Silicato (A1)	11	P ₂ R ₃ A ₁
		Ureia (A2)	12	P ₂ R ₃ A ₂

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Lilliefors, e a homocedasticidade pelos testes Hartley, Cochran C. e Bartlett, utilizando-se o programa computacional STATISTICA, versão 8.0. Para atender a essas pressuposições da análise de variância, quando necessário os dados originais foram transformados de acordo com as funções raiz quadrada e logarítmica (VIEIRA e HOFFMANN, 1988; GOMES, 1990; BANZATO e KRONKA, 1995; RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

Nos Quadros 5 e 6 são apresentadas as funções de transformação utilizadas para cada propriedade, de acordo com o teor de adesivo e a taxa de compactação. As transformações foram feitas somente para a análise de variância já para os testes de médias de todos os dados mantiveram seus valores originais.

Quadro 5. Funções utilizadas para transformar os dados originais das propriedades físicas

Propriedades Físicas		Teor de adesivo (%)	Taxa de compactação	Função de transformação
Absorção de água (%)	2h	8	1,7	\sqrt{X}
			2,1	Log X
		10	1,7	Log X
			2,1	Log X
	24h	8	1,7	Log X
			2,1	Log X
		10	1,7	Log X
			2,1	Log X
Inchamento em espessura (%)	2h	8	1,7	\sqrt{X}
			2,1	Log X
		10	1,7	Log X
			2,1	Log X
	24h	8	1,7	\sqrt{X}
			2,1	Log X
		10	1,7	Log X
			2,1	Log X
Expansão Linear (%)	8	1,7	\sqrt{X}	
		2,1	Log X	
	10	1,7	\sqrt{X}	
		2,1	\sqrt{X}	

Quadro 6. Funções utilizadas para transformar os dados originais das propriedades mecânicas

Propriedades Mecânicas	Teor de adesivo (%)	Taxa de compactação	Equação de transformação
Tração Perpendicular (MPa)	8	1,7	$\sqrt{X + 0,5}$
		2,1	$\sqrt{X + 1} + \sqrt{X}$
	10	1,7	$\sqrt{X + 1} + \sqrt{X}$
		2,1	$\sqrt{X + 0,5}$
Módulo de Ruptura MOR (MPa)	8	1,7	\sqrt{X}
		2,1	$\sqrt{X + 0,5}$
	10	1,7	Log X
		2,1	Log X
Módulo de Elasticidade MOE (MPa)	8	1,7	\sqrt{X}
		2,1	Log X
	10	1,7	Log X
		2,1	Log X
Dureza Janka (MPa)	8	1,7	-
		2,1	-
	10	1,7	$\sqrt{X + 1}$
		2,1	$\sqrt{X + 1}$
Arrancamento de Parafuso (N)	8	1,7	-
		2,1	-
	10	1,7	Log X
		2,1	\sqrt{X}

Após a análise estatística, foram determinados os coeficientes de correlação para as propriedades físicas e mecânicas e também entre a massa específica e as propriedades mecânicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dimensões das partículas

No Quadro 7 são apresentadas as dimensões das partículas geradas pelos diferentes tipos de resíduos. Nesse Quadro, observa-se que as partículas produzidas pelos cavacos evidenciaram menor coeficiente de esbeltez, diferindo significativamente das demais.

Quadro 7. Valores médios das dimensões das partículas provenientes dos três tipos de resíduos

Tipo de resíduo	Dimensões médias das partículas		Coeficiente de esbeltez (-)
	Comprimento (mm)	Espessura (mm)	
Lâmina	10,35	0,95	10,89 A
Cavaco	7,17	0,82	8,74 B
Maravalha	5,47	0,51	10,73 A

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nesse trabalho, o coeficiente de esbeltez encontrado para as partículas de lâmina (10,89) foi igual ao relatado por Bianche (2009), cujo valor foi de 10,9. Por outro lado, as partículas derivadas de cavaco apresentaram coeficiente de 8,74, semelhante ao de Naumann et al. (2008), de 8,82, que diferiu do coeficiente de Colli (2007), que correspondeu a 7,09. O valor do coeficiente das partículas derivadas de maravalhas (10,73) também diferiu do de Naumann et al. (2008), que foi de 15,97.

A dimensão das partículas é um parâmetro importante no processo de produção de painéis aglomerados. O comprimento, largura e espessura delas são controlados no processo produtivo, visando à homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de adesivo e propriedades dos painéis (KELLY, 1977). De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores requerem maior consumo de adesivo, devido à maior área superficial específica para o seu encolamento. Com a aplicação de mesma quantidade de adesivo, o painel produzido com partículas maiores apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de adesivo por unidade de área (MALONEY, 1993).

Segundo Maloney (1996), a resistência à flexão e a resistência à tração paralela e perpendicular à superfície, bem como a resistência ao arrancamento de parafusos e pregos, são influenciadas pelo tamanho das partículas que, além disso, influenciam a absorção de água e de outros líquidos que causam alteração na estabilidade dimensional.

Conforme Vital et al. (1992), partículas longas e finas produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, enquanto painéis fabricados com partículas curtas e espessas apresentam resistência à tração perpendicular ou ligação interna mais elevada.

4.2. Propriedades Físicas

4.2.1. Umidade de equilíbrio higroscópico

No Quadro 8 são apresentados os valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico para os diferentes tipos de painéis, cujas médias variaram de 8,23% a 9,40%. Nesse Quadro, verifica-se que os painéis

produzidos com adesivo de silicato de sódio mostraram maiores valores médios de umidade do que os painéis produzidos com ureia-formaldeído. Observa-se, também, que os painéis com inclusão laminar tiveram um teor médio de umidade menor do que aqueles sem inclusão.

Quadro 8. Parâmetros estatísticos para umidade de equilíbrio higroscópico

Fatores e Níveis		TA ¹	TC ²	Umidade (%)			
				Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Tipo de Painel	Sem inclusão laminar	8	1,7	9,03	8,23	10,58	0,58
			2,1	8,69	7,38	10,43	0,72
		10	1,7	8,90	7,66	10,14	0,71
			2,1	9,13	8,33	11,93	0,77
	Com inclusão laminar	8	1,7	8,67	7,94	10,39	0,57
			2,1	8,64	7,79	9,72	0,63
		10	1,7	8,67	7,81	10,37	0,60
			2,1	8,89	7,95	10,96	0,71
Tipo de Resíduo	Lâmina	8	1,7	8,61	8,13	9,38	0,40
			2,1	8,23	7,38	9,72	0,67
		10	1,7	8,52	7,66	10,14	0,75
			2,1	8,58	7,95	9,28	0,39
	Rolo-resto	8	1,7	8,78	8,12	9,98	0,51
			2,1	8,78	7,83	10,43	0,70
		10	1,7	8,78	8,26	9,95	0,49
			2,1	9,40	8,35	11,93	1,00
	Maravalha	8	1,7	9,16	7,94	10,58	0,73
			2,1	8,98	8,25	9,72	0,40
		10	1,7	9,05	8,19	10,37	0,63
			2,1	9,06	8,48	9,78	0,45
Tipo de Adesivo	Silicato de Sódio	8	1,7	9,15	8,24	10,58	0,60
			2,1	9,03	7,91	10,43	0,60
		10	1,7	9,24	8,51	10,37	0,53
			2,1	9,39	8,57	11,93	0,78
	Ureia-formaldeído	8	1,7	8,55	7,94	9,63	0,41
			2,1	8,30	7,38	9,27	0,53
		10	1,7	8,33	7,66	9,12	0,41
			2,1	8,63	7,95	9,74	0,45

1: Teor de adesivo; 2: Taxa de compactação.

De acordo com a norma ABNT, NBR 14810-2:2002, o teor médio de umidade das chapas de madeira aglomerada não deve ser menor que 5%, nem maior que 11%, para serem comercializadas. Portanto, todos os painéis atenderam o requisito dessa norma, pois apresentaram valores médios dentro da faixa proposta.

4.2.2. Massa específica

Observa-se no Quadro 9 que o tipo de painel teve influência na massa específica apenas para os teores de 8% do adesivo e taxa de compactação de 2,1. Verifica-se ainda nesse Quadro que o tipo de resíduo afetou significativamente a massa específica no teor de 8% do adesivo e taxa de 1,7, como também para 10% em ambas as taxas. O efeito do tipo de adesivo foi significativo no teor de 8% para as duas taxas de compactação, já no teor de 10%, foi significativo para a taxa de 2,1.

Nas interações duplas, nota-se que todas foram significativas para o teor de 10%, independentemente da taxa de compactação. Já no teor de 8%, as interações com o fator resíduo apresentaram significância somente na taxa de 1,7. A interação tripla foi significativa nos teores de 8% e 10%, para as taxas de 2,1 e 1,7, respectivamente (Quadro 9).

No Quadro 10, constata-se que todos os painéis tiveram massa específica diferente dos valores estabelecidos: de 544 kg/m³ para a taxa de compactação de 1,7 e de 672 kg/m³ para a taxa de 2,1.

Conforme o Quadro 10, os painéis sem inclusão laminar, compostos por partículas provenientes de lâminas ou de cavacos, com adesivo de silicato de sódio, apresentaram os maiores valores de massa específica, independentemente da taxa de compactação e do teor de adesivo. Os menores valores dessa propriedade corresponderam aos painéis sem e com inclusão laminar, produzidos com partículas provenientes de lâminas com adesivo de ureia-formaldeído 8% e 10%, em ambas as taxas de compactação. Para essas mesmas condições de teor de adesivo e taxa de compactação, os painéis feitos com partículas geradas de cavacos também apresentaram baixos valores.

Quadro 9. Resultados do teste F para a massa específica

Fontes de Variação	Teores de adesivo	Taxa de Compactação	Massa Específica
Painel	8	1,7	ns
		2,1	**
	10	1,7	ns
		2,1	ns
Resíduo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Adesivo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	ns
		2,1	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	**
	10	1,7	*
		2,1	ns
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	3,59
		2,1	2,67
	10	1,7	1,04
		2,1	1,72

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 10. Valores médios de massa específica e resultados do teste Tukey

Teor do adesivo (%)	Tratamento	Massa Específica (kg m ⁻³)	
		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	645 ab	679 a
	P ₁ R ₁ A ₂	553 c	593 c
	P ₁ R ₂ A ₁	667 a	693 a
	P ₁ R ₂ A ₂	597 b	620 bc
	P ₁ R ₃ A ₁	554 c	631 bc
	P ₁ R ₃ A ₂	562 bc	651 b
	P ₂ R ₁ A ₁	573 bc	641 b
	P ₂ R ₁ A ₂	557 c	603 c
	P ₂ R ₂ A ₁	581 b	622 bc
	P ₂ R ₂ A ₂	571 bc	616 bc
	P ₂ R ₃ A ₁	562 bc	625 bc
	P ₂ R ₃ A ₂	580 b	591 c
10	P ₁ R ₁ A ₁	662 a	695 a
	P ₁ R ₁ A ₂	569 c	639 c
	P ₁ R ₂ A ₁	685 a	710 a
	P ₁ R ₂ A ₂	611 b	647 bc
	P ₁ R ₃ A ₁	567 c	666 b
	P ₁ R ₃ A ₂	601 b	662 b
	P ₂ R ₁ A ₁	589 bc	652 b
	P ₂ R ₁ A ₂	564 c	612 c
	P ₂ R ₂ A ₁	623 b	648 bc
	P ₂ R ₂ A ₂	579 c	628 c
	P ₂ R ₃ A ₁	593 bc	675 b
	P ₂ R ₃ A ₂	586 bc	636 c

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada teor do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Independentemente do tipo do painel confeccionado e do tipo de adesivo utilizado, houve aumento da massa específica, com o incremento no teor de adesivo e na taxa de compactação (Figuras 2 e 3).

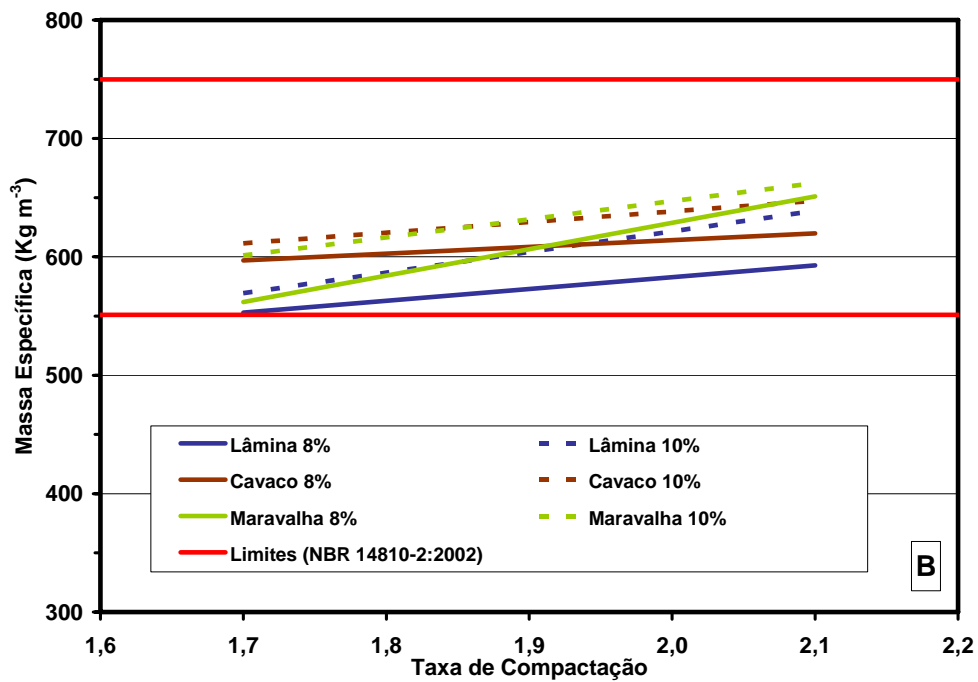
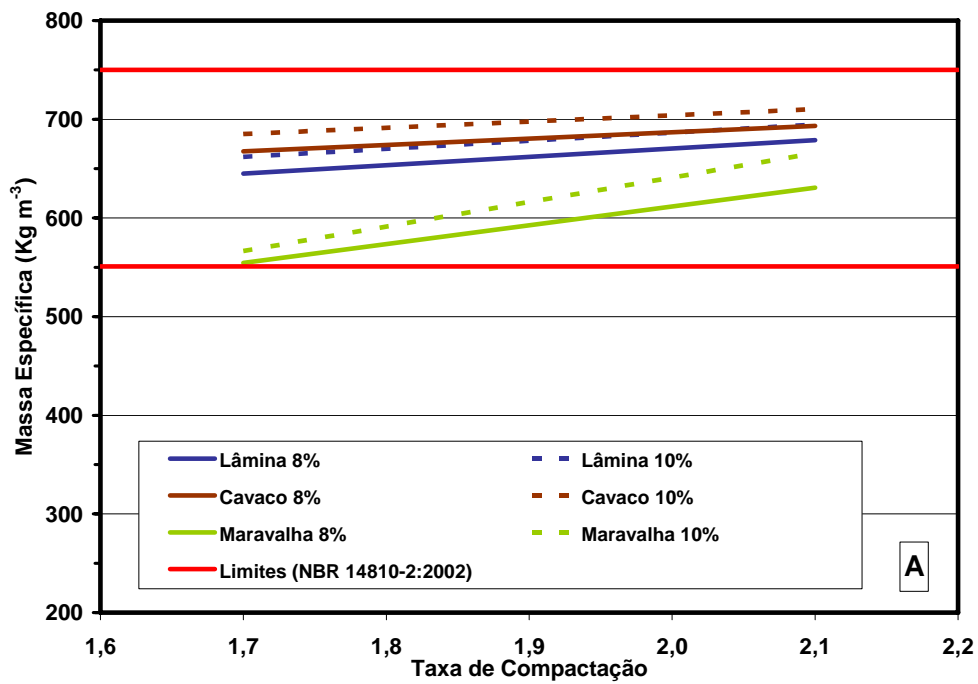


Figura 2. Massa específica para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

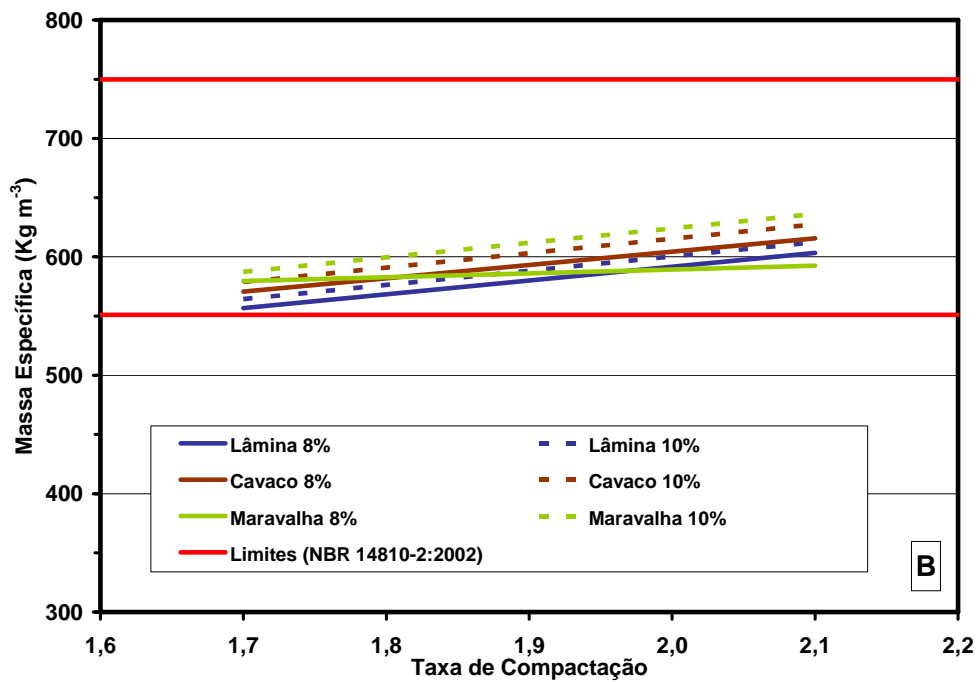
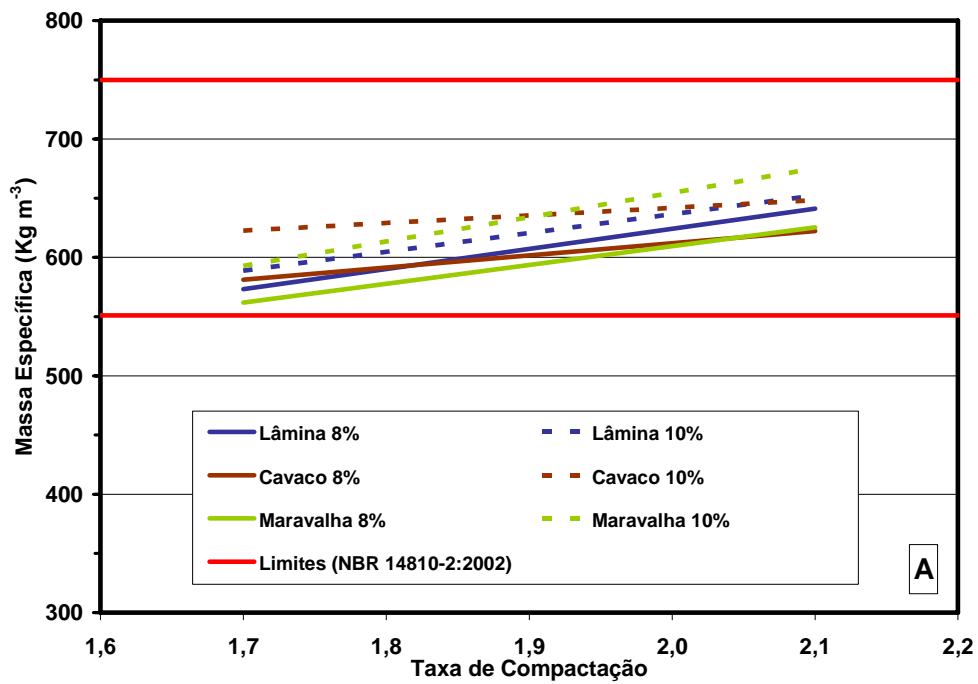


Figura 3. Massa específica dos painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Os painéis obtidos nesse trabalho tiveram valores de massa específica entre 553 kg/m^3 a 710 kg/m^3 e, segundo a norma ABNT- NBR 14810-2:2002, eles são classificados como painéis de média massa específica (de 551 kg/m^3 a 750 kg/m^3).

Colli (2007), analisando painéis de aglomerado feitos com misturas de *Schizolobium amazonicum* e *Cocos nucifera*, colados com ureia-formaldeído 6% e 8%, verificou que a massa específica média dos painéis fabricados somente de *Schizolobium amazonicum* foi de 360 kg/m^3 . Em condições similares, todos os valores dessa pesquisa se mostraram superiores.

Naumann et al. (2008), ao estudarem as propriedades dos painéis produzidos com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* e de *Schizolobium amazonicum*, impregnados com ureia-formaldeído 8%, encontraram, para os painéis feitos apenas de *Schizolobium amazonicum*, valores médios de massa específica de 540 kg/m^3 . Para as mesmas condições, nessa pesquisa, foi encontrado o valor de 562 kg/m^3 .

Bianche (2009), trabalhando com aglomerados fabricados com partículas de *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Sida* spp., fabricados com 6% e 8% de adesivo à base de ureia-formaldeído, verificou que os painéis apenas de *Schizolobium amazonicum* foram os que evidenciaram as maiores massas específicas (700 kg/m^3), que, por sua vez, apresentaram as melhores propriedades mecânicas. Em condições similares, todos os valores dessa pesquisa se mostraram inferiores.

Conforme Maloney (1993), a massa específica dos painéis é um fator muito importante, pois está relacionada com a massa específica da madeira e com a razão de compactação (taxa de compactação). Kelly (1977) afirma que, para painéis de mesma massa específica, produzidos com madeira de baixa massa específica, as propriedades mecânicas serão superiores, entretanto, a sua estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior massa específica. Segundo o mesmo autor, nos painéis com maior razão de

compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira devido à liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

Os maiores valores de massa específica encontrados para os painéis fabricados com silicato de sódio provavelmente foram devidos à maior massa específica desse adesivo em comparação com a ureia-formaldeído.

4.2.3. Absorção de água após imersão em água

De acordo com o Quadro 11, o tipo de painel e de resíduo, mais a classe de adesivo, tiveram efeito sobre a absorção de água após imersão por 2 e 24 horas, independentemente do teor de adesivo e da taxa de compactação. No mesmo Quadro, observa-se que para a absorção até 2 horas, as duas interações duplas, com o adesivo na concentração de 8% e taxa de compactação de 2,1, não mostraram significância. Já para a absorção até 24 horas, as interações duplas não foram significativas para painel/resíduo no teor de 8% e 2,1 de taxa de compactação e para painel/adesivo nos teores de 8% e 10% e 1,7 de taxa de compactação. A interação tripla no teor de 8% e 2,1 de taxa de compactação também não apresentou significância para essa propriedade após imersão por 24 horas, porém, para a imersão após 2 horas, essa interação se mostrou significativa para as demais condições experimentais.

Quadro 11. Resultados do teste F para a absorção de água

Fontes de Variação	Teor de Adesivo (%)	Taxa de Compactação	Absorção de Água	
			2 h	24 h
Painel	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Resíduo	8	1,7	**	*
		2,1	**	*
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**	**
		2,1	**	ns
	10	1,7	**	*
		2,1	*	**
Painel*Adesivo	8	1,7	*	ns
		2,1	ns	**
	10	1,7	**	ns
		2,1	**	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	ns	*
	10	1,7	**	**
		2,1	**	*
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	ns
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	4,91	1,90
		2,1	4,52	2,95
	10	1,7	3,27	2,70
		2,1	3,02	1,83

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

No Quadro 12, observa-se que os menores valores na absorção de água 2 e 24 horas foram para os painéis com inclusão laminar, partículas derivadas de cavacos ou lâminas, e ureia-formaldeído 8% em ambas as taxas de compactação. Entretanto, ao usar partículas de maravalhas, aumentando a o teor de adesivo da ureia-formaldeído para 10%, não houve redução na propriedade, mesmo com a inclusão laminar. Nesse Quadro, nota-se ainda que os painéis sem inclusão laminar, feitos com partículas provenientes de maravalhas e adesivo de silicato de sódio, apresentaram os maiores valores de absorção de água nas duas concentrações de adesivo e taxas de compactação, tanto para 2 quanto 24 horas, evidenciando que o adesivo à base de silicato de sódio é mais hidrofílico do que o adesivo à base de ureia-formaldeído. Essa diferença, possivelmente, seja devida às propriedades químicas do silicato de sódio.

Os valores de absorção de água após 2 horas de imersão para os painéis sem inclusão laminar são apresentados na Figura 4. Conforme exposto, ao utilizar partículas provenientes de cavacos, houve uma redução dos referidos valores com a concentração de 8% nos dois adesivos, porém, no caso das partículas de maravalhas, tal tendência foi verificada apenas para a ureia-formaldeído. Nessa mesma Figura, observa-se que, para o adesivo de silicato de sódio 10%, os valores dessa propriedade aumentaram, empregando-se partículas oriundas de cavaco, e diminuíram com o uso de partículas derivadas de maravalhas. Por outro lado, verifica-se que, para qualquer tipo de partícula, a absorção de água não apresentou incremento significativo quando se aumentou o teor da ureia-formaldeído para 10%.

Na Figura 5 podem ser observados os valores da absorção de água após 2 horas de imersão, em função da taxa de compactação para os painéis com inclusão laminar. De acordo com essa Figura, os painéis produzidos com partículas provenientes de lâminas tiveram seus valores de absorção de água reduzidos quando se aumentou a taxa de compactação, independentemente do tipo de adesivo, desde que o teor seja de 8%. Porém, para essas mesmas partículas com 10% no teor de

adesivo, elevando-se a referida taxa, verificam-se uma redução dos valores de absorção para o adesivo de silicato de sódio e um aumento ao empregar a ureia-formaldeído.

Quadro 12. Valores médios da absorção de água e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Absorção de Água (%)			
		2 horas		24 horas	
		Taxa de Compactação		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1	1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	219,11 b	206,61 b	244,75 b	231,51 bc
	P ₁ R ₁ A ₂	119,86 ef	88,66 cdef	132,36 c	95,25 d
	P ₁ R ₂ A ₁	137,70 de	104,82 cde	381,14 a	266,62 ab
	P ₁ R ₂ A ₂	92,23 fg	70,16 ef	105,31 cd	101,80 d
	P ₁ R ₃ A ₁	310,77 a	317,67 a	341,50 a	341,77 a
	P ₁ R ₃ A ₂	91,09 g	86,06 def	120,07 cd	92,89 d
	P ₂ R ₁ A ₁	184,74 bc	118,75 cde	239,08 b	171,43 c
	P ₂ R ₁ A ₂	95,65 fg	69,87 ef	100,07 d	97,65 d
	P ₂ R ₂ A ₁	114,03 efg	142,07 c	196,03 b	215,47 bc
	P ₂ R ₂ A ₂	60,92 h	58,68 f	78,27 e	92,33 d
	P ₂ R ₃ A ₁	160,53 cd	134,67 cd	217,75 b	195,09 bc
	P ₂ R ₃ A ₂	61,65 h	75,71 ef	95,80 de	102,04 d
10	P ₁ R ₁ A ₁	171,91 b	151,72 b	198,59 b	172,75 b
	P ₁ R ₁ A ₂	73,90 ef	79,12 cd	84,22 de	87,84 e
	P ₁ R ₂ A ₁	79,47 de	111,49 c	209,44 b	284,91 a
	P ₁ R ₂ A ₂	89,26 de	96,45 c	121,00 c	169,05 b
	P ₁ R ₃ A ₁	346,28 a	234,97 a	372,48 a	309,87 a
	P ₁ R ₃ A ₂	78,07 de	79,82 cd	104,79 cde	112,41 cd
	P ₂ R ₁ A ₁	131,71 bc	62,20 de	192,43 b	85,05 e
	P ₂ R ₁ A ₂	55,86 fg	63,35 de	59,07 f	90,99 de
	P ₂ R ₂ A ₁	47,87 gh	53,63 e	122,16 c	128,55 c
	P ₂ R ₂ A ₂	34,96 h	54,74 e	76,21 ef	94,52 de
	P ₂ R ₃ A ₁	109,44 cd	58,83 de	187,62 b	86,21 e
	P ₂ R ₃ A ₂	83,07 de	63,08 de	110,19 cd	88,22 e

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração no adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

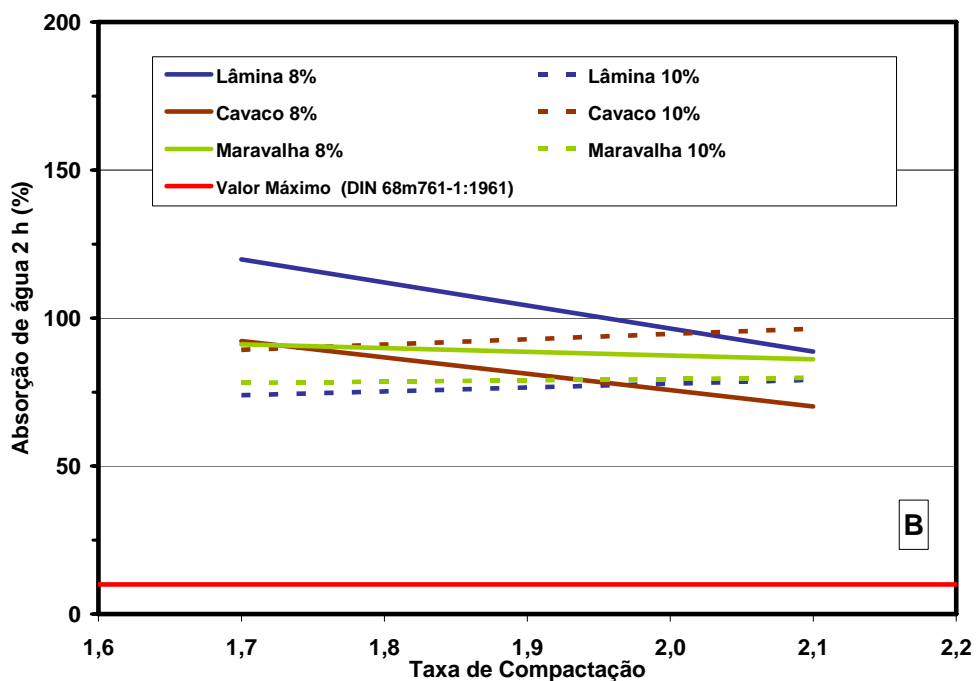
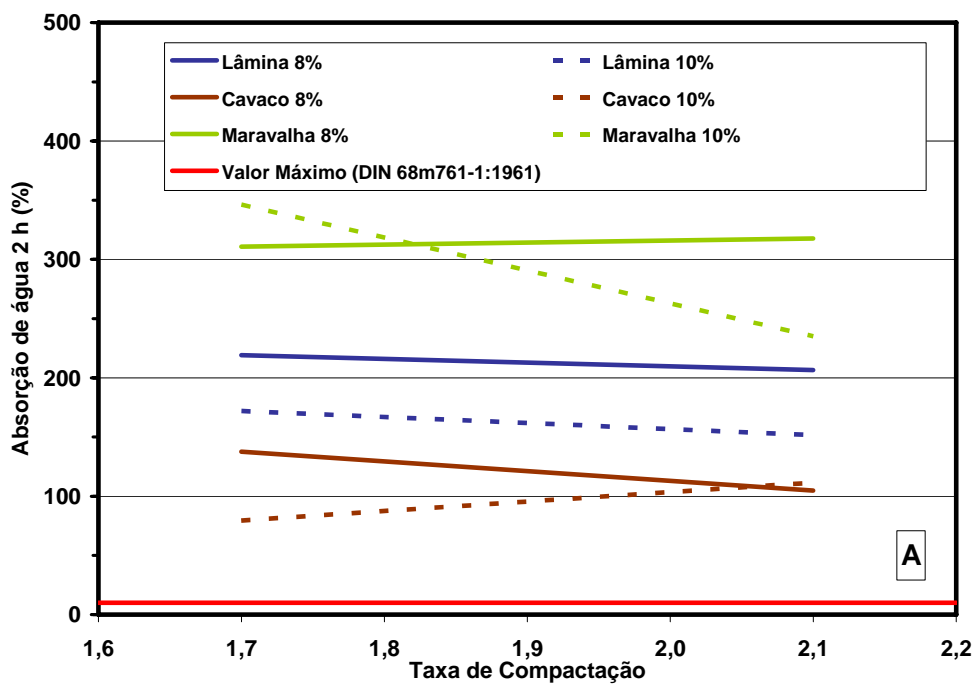


Figura 4. Absorção de água após 2 horas de imersão, para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

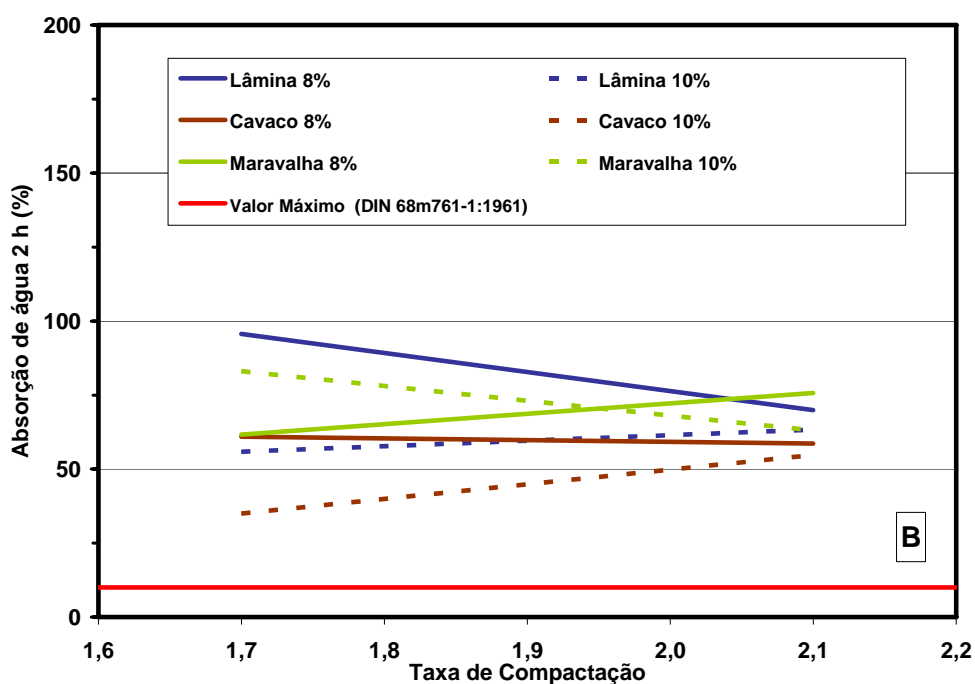
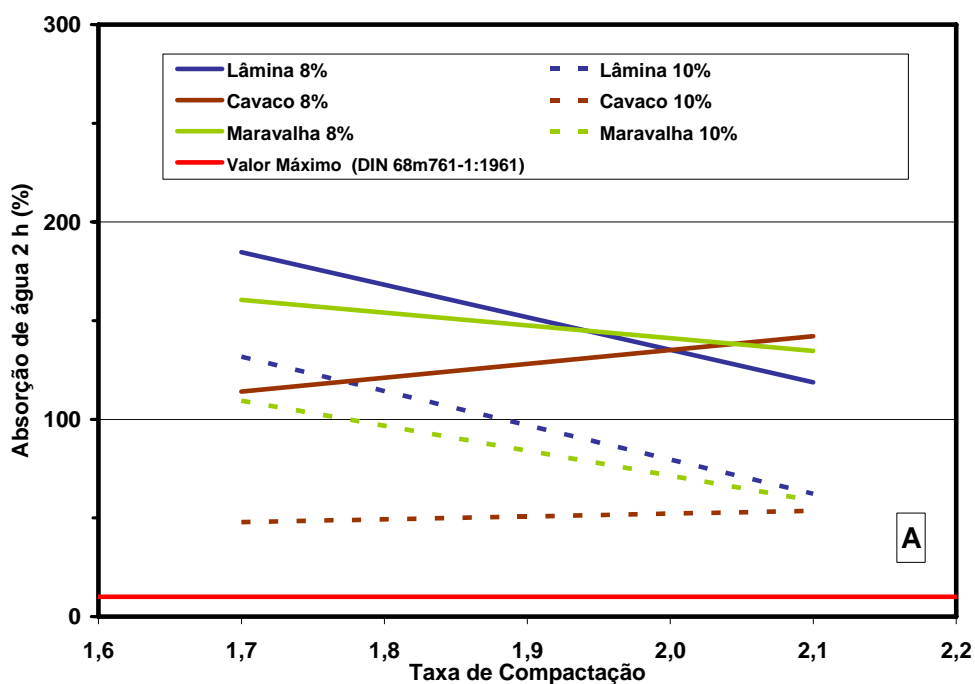


Figura 5. Absorção de água após 2 horas de imersão para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Ainda nessa Figura 5 nota-se que, para as partículas provenientes de cavaco, ocorreu um incremento dos valores de absorção de água após 2 horas de imersão, com o aumento da taxa de compactação, utilizando adesivo de silicato de sódio 8% e ureia-formaldeído 10%. Porém, o aumento da taxa de compactação para as partículas provenientes de maravalhas ocasionou uma redução nos valores dessa propriedade, quando se usou silicato de sódio 8%, e uma elevação com o adesivo ureia-formaldeído 8%. Já, no teor de 10% para os dois adesivos, os valores diminuiram com o uso dessas mesmas partículas.

As tendências da absorção de água após 24 horas de imersão, originadas pelo aumento da taxa de compactação para os painéis sem inclusão laminar, elaborados com os três tipos de partículas e os dois adesivos com os dois teores, são apresentadas na Figura 6. Nessa Figura, nota-se uma redução nos valores dessa propriedade ao empregar partículas provenientes de lâminas ou maravalhas, impregnadas com adesivo ureia-formaldeído 8% e adesivo de silicato de sódio 10%. Para as partículas oriundas de cavacos, observou-se uma redução desses valores com o uso do adesivo de silicato de sódio 8%, porém, no teor de 10%, houve um aumento, independentemente do adesivo aplicado.

A absorção de água após 24 horas para os painéis com inclusão laminar, em função da taxa de compactação, pode ser observada na Figura 7. Conforme essa Figura, o uso das partículas provenientes de lâminas com o adesivo silicato de sódio nos dois teores possibilitou uma redução nos valores dessa propriedade ao elevar a taxa de compactação. Entretanto, para essas partículas com ureia-formaldeído 10%, verificou-se um aumento nos valores da citada absorção. Ao utilizar partículas vindas de cavacos e qualquer dos dois adesivos no teor de 8% ou ureia-formaldeído 10%, os valores de absorção aumentaram com o incremento da taxa de compactação. Por outro lado, o uso de partículas oriundas de maravalhas com adesivo de silicato de sódio 8% ou de qualquer um dos adesivos no teor de 10% reduziu os valores dessa propriedade ao elevar a taxa de compactação.

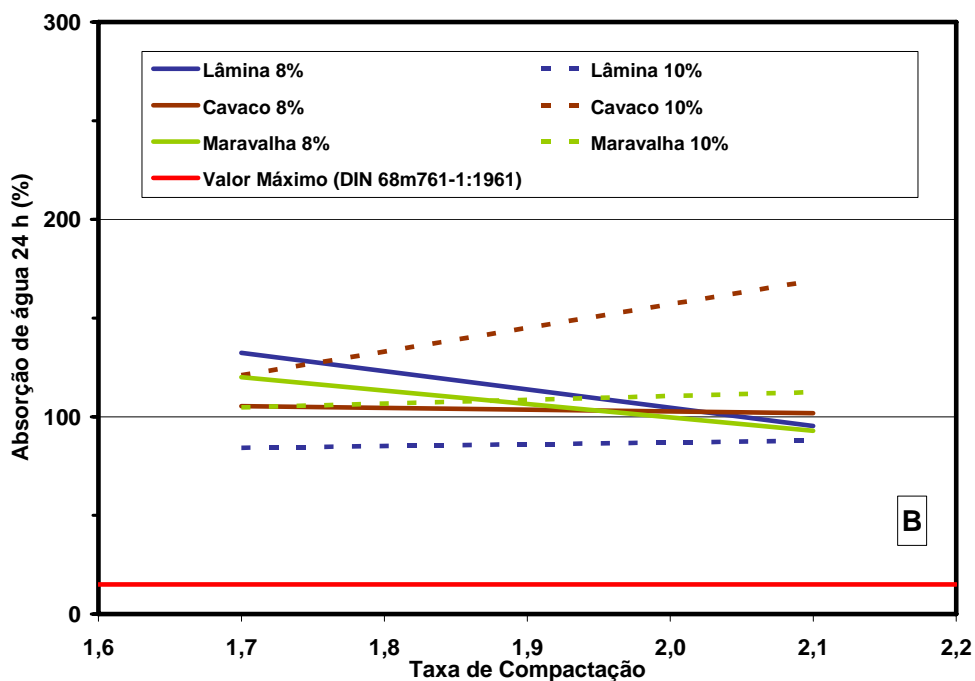
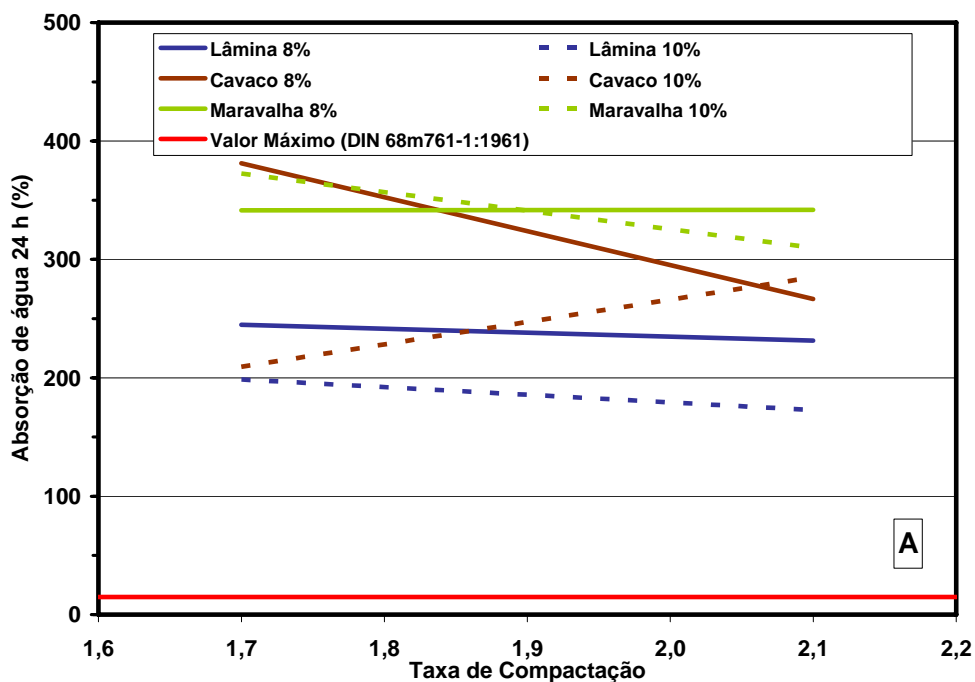


Figura 6. Absorção de água após 24 horas para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

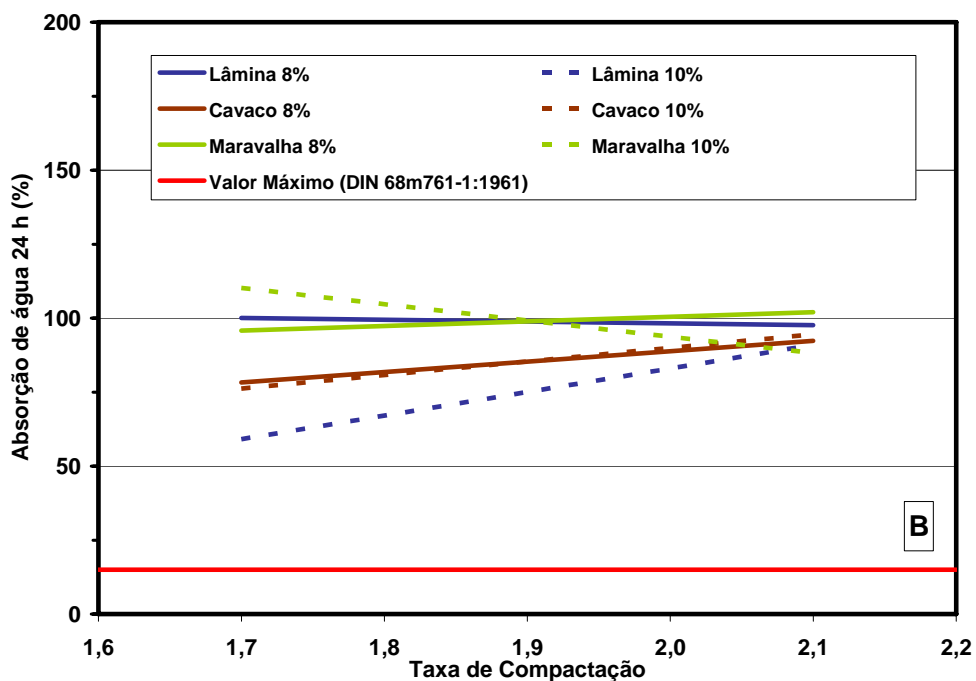
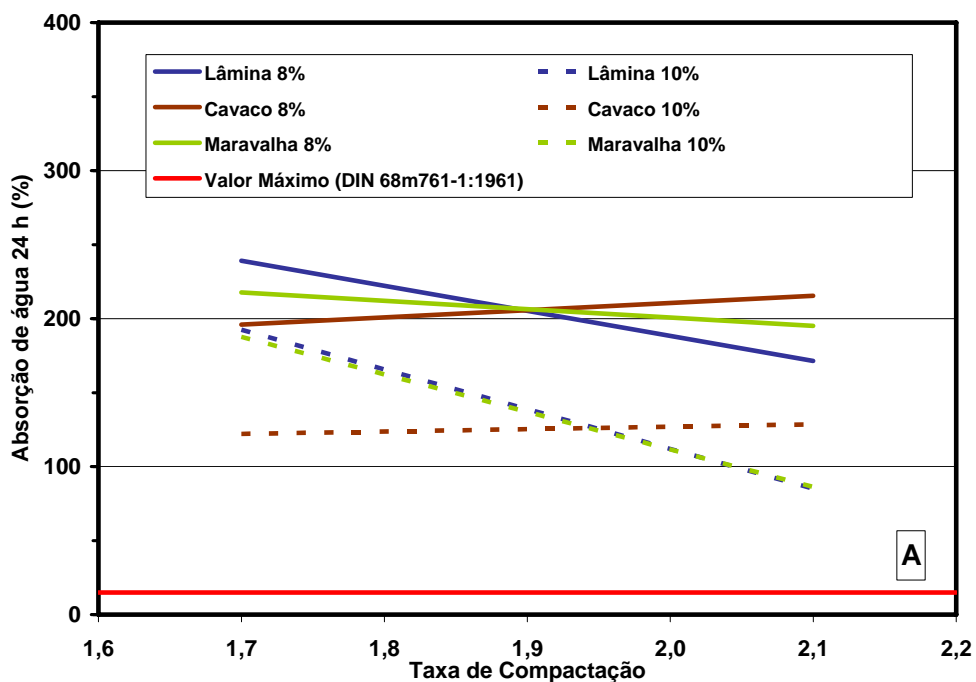


Figura 7. Absorção de água após 24 horas para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Os painéis produzidos nesse trabalho tiveram seus valores de absorção de água acima do permitido pela norma DIN 68m 761 (1) – 1961 (Santana e Pastore 1981), cujos valores devem estar abaixo de 10% e 15% para duas e vinte quatro horas, respectivamente.

Colli (2007), em seus estudos com aglomerados de paricá e coco, encontrou efeito significativo do teor de adesivo na absorção de água. Aqueles processados com 8% de adesivo absorveram menos água do que os fabricados com 6%.

Naumann et al. (2008), trabalhando com painéis aglomerados, fabricados com eucalipto e resíduos, na forma de cavaco e maravalhas do processamento mecânico de paricá, com adesivo à base de ureia-formaldeído (8%), observaram que a absorção de água por 2 horas não sofreu influência da dimensão da partícula, nem da composição do painel. Contudo, a absorção após 24 horas de imersão foi afetada pela composição dos painéis, e essa propriedade aumentava, quando também se aumentava o percentual de partículas de paricá.

Bianche (2009), estudando as propriedades de aglomerados confeccionados com partículas de eucalipto, paricá e vassoura, colados com 6% e 8% de adesivo à base de ureia-formaldeído, verificou que, após duas horas de imersão, a menor absorção foi obtida pelos painéis produzidos apenas com partículas de paricá. A referida autora, a exemplo de Colli (2007), encontrou efeito significativo do teor de adesivo para a absorção de água após duas e vinte quatro horas de imersão. O estudo de Bianche mostrou, inclusive, que, independentemente da composição das partículas dos painéis, o aumento no teor de adesivo provocou uma redução significativa na absorção de água. Tal tendência não foi verificada nessa pesquisa.

Iwakiri et al. (1999), trabalhando com inclusão de lâminas na face e contraface de painéis aglomerados de *Pinus elliottii* feitos com ureia-formaldeído 12%, verificaram que a inclusão de lâminas reduziu progressivamente a porcentagem de absorção de água, sendo os valores médios de 58,62% (2 horas) e 71,95% (24 horas). Resultados próximos a

esses foram encontrados nessa pesquisa para os painéis aglomerados feitos com inclusão laminar, partículas provenientes de cavacos e impregnadas com ureia-formaldeído 10%, cujos valores foram de 34,96% (2 horas) e 76,21% (24 horas).

4.2.4. Inchamento em espessura após imersão em água

Os resultados do teste F para o inchamento em espessura após imersão em água por duas e vinte e quatro horas são apresentados no Quadro 13. Conforme esse Quadro, o tipo de painel e a classe de adesivo influenciaram a referida propriedade. No entanto, para o fator resíduo, não houve diferença significativa entre os tratamentos feitos no teor de 8% após 24 horas e 10% após 2 horas, quando a taxa de compactação foi de 2,1. Para essa mesma taxa, a interação dupla painel/resíduo, no teor de 10% e painel/adesivo no teor de 8%, não teve efeito sobre o inchamento em espessura após 2 e 24 horas. Já a interação tripla foi não significativa apenas para o teor de 10% e taxa de compactação de 2,1 após duas horas de imersão.

No Quadro 14 observa-se que os menores valores de inchamento após 2 e 24 horas foram obtidos para os painéis produzidos com inclusão laminar, com partículas provenientes de cavacos ou lâminas e ureia-formaldeído 8% em ambas as taxas de compactação. Entretanto, ao usar partículas oriundas de maravalhas e aumentando a ureia-formaldeído para 10%, não houve melhoria na propriedade, mesmo com a inclusão laminar. Nesse Quadro, nota-se ainda que os painéis sem inclusão laminar, feitos com partículas oriundas de maravalhas e adesivo à base de silicato de sódio, apresentaram os maiores valores de inchamento em espessura, independentemente dos teores de adesivo e da taxa de compactação, tanto para 2 quanto 24 horas.

Quadro 13. Resultados do teste F para o inchamento em espessura

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Inchamento em Espessura	
			2 h	24 h
Painel	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Resíduo	8	1,7	**	**
		2,1	*	ns
	10	1,7	**	**
		2,1	ns	**
Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**	ns
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	ns	ns
Painel*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	ns	ns
	10	1,7	**	ns
		2,1	**	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	*	**
		2,1	ns	*
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	*
	10	1,7	**	**
		2,1	ns	**
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	8,47	6,34
		2,1	6,84	4,95
	10	1,7	4,27	3,64
		2,1	3,59	4,08

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 14. Valores médios de inchamento em espessura e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Inchamento em Espessura (%)			
		2 horas		24 horas	
		Taxa de Compactação		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1	1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	134,37 a	161,17 a	157,83 b	185,42 a
	P ₁ R ₁ A ₂	52,42 de	34,13 c	60,66 f	45,85 c
	P ₁ R ₂ A ₁	115,01 a	68,07 b	180,41 bc	142,76 ab
	P ₁ R ₂ A ₂	33,69 ef	27,97 c	39,51 g	35,58 cd
	P ₁ R ₃ A ₁	116,05 a	180,27 a	230,36 a	215,75 a
	P ₁ R ₃ A ₂	13,44 g	32,37 c	16,03 i	34,87 cd
	P ₂ R ₁ A ₁	105,48 ab	83,06 b	133,33 cd	109,95 b
	P ₂ R ₁ A ₂	29,92 f	28,50 c	32,39 gh	33,32 cd
	P ₂ R ₂ A ₁	61,39 cd	96,00 ab	123,59 de	167,32 a
	P ₂ R ₂ A ₂	13,88 g	22,24 c	18,79 hi	29,39 cd
	P ₂ R ₃ A ₁	78,72 bc	71,05 b	100,94 e	92,83 b
	P ₂ R ₃ A ₂	21,86 fg	21,81 c	26,18 ghi	24,71 d
10	P ₁ R ₁ A ₁	122,54 a	119,65 a	154,95 a	145,17 b
	P ₁ R ₁ A ₂	32,57 cde	28,09 cd	43,73 cd	36,74 de
	P ₁ R ₂ A ₁	74,47 b	79,27 b	140,52 a	143,85 b
	P ₁ R ₂ A ₂	35,15 cd	32,28 c	39,87 d	71,78 c
	P ₁ R ₃ A ₁	112,27 ab	131,95 a	119,42 a	235,09 a
	P ₁ R ₃ A ₂	27,10 def	23,81 cd	31,43 de	27,25 e
	P ₂ R ₁ A ₁	73,60 b	32,44 c	112,35 a	43,32 d
	P ₂ R ₁ A ₂	19,47 f	24,18 cd	24,06 ef	29,58 de
	P ₂ R ₂ A ₁	21,91 ef	25,35 cd	60,67 bc	78,64 c
	P ₂ R ₂ A ₂	10,91 g	28,22 cd	17,03 f	37,62 de
	P ₂ R ₃ A ₁	47,81 c	28,70 cd	77,55 b	39,17 de
	P ₂ R ₃ A ₂	29,56 de	22,35 d	34,09 de	26,97 e

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Figura 8, podem ser observados os valores de inchamento em espessura após 2 horas, em função da taxa de compactação para os painéis sem inclusão laminar. De acordo com essa Figura, o incremento na taxa de compactação originou um aumento no inchamento em espessura nos painéis produzidos com partículas provenientes de maravalhas e adesivo de silicato de sódio 8% e 10%. Para essas mesmas partículas com ureia-formaldeído 8% e 10%, houve uma redução de tal propriedade. Porém quando foram usadas partículas originadas de cavacos, ocorreu uma diminuição dos valores no inchamento de 2 horas para qualquer dos dois adesivos no teor de 8%, ou somente para a ureia-formaldeído 10%. Ao empregar partículas oriundas de maravalhas com qualquer adesivo no teor de 8% ou adesivo de silicato de sódio 10%, obteve-se um aumento nesses valores, entretanto, com ureia-formaldeído 10%, houve uma redução.

Para os painéis com inclusão laminar, constata-se na Figura 9 que, com o aumento da taxa de compactação, ocorreu uma redução nos valores de inchamento em espessura após 2 horas, utilizando-se partículas originadas de lâminas com os dois adesivos nos dois teores e partículas provenientes de maravalhas com adesivo de silicato de sódio 8% ou com qualquer dos dois adesivos no teor de 10%. Já para as partículas derivadas de cavacos, os valores foram aumentando, independentemente do adesivo e do seu teor.

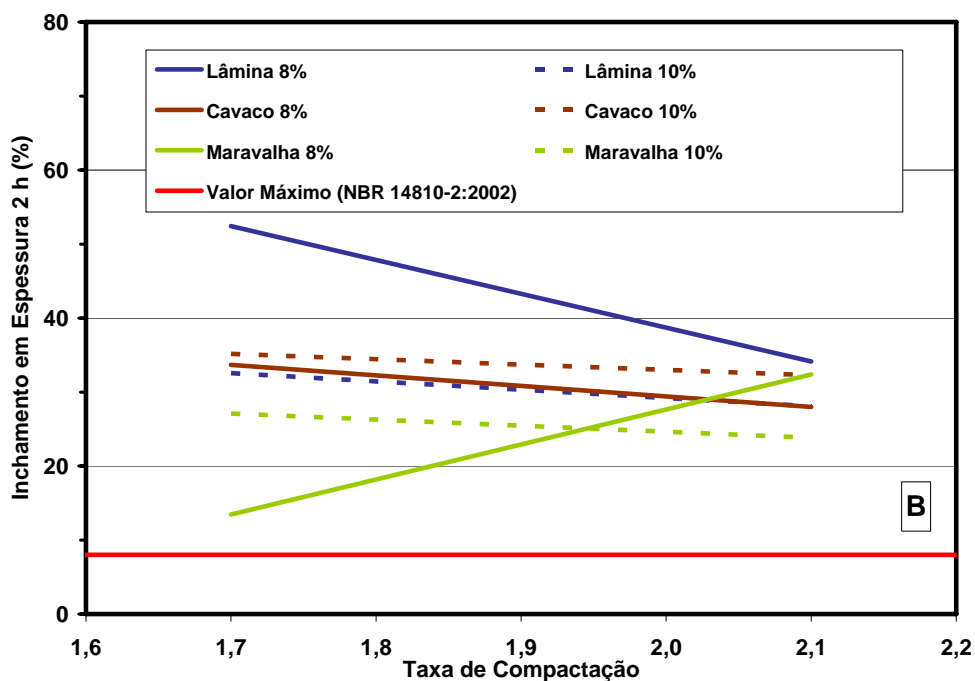
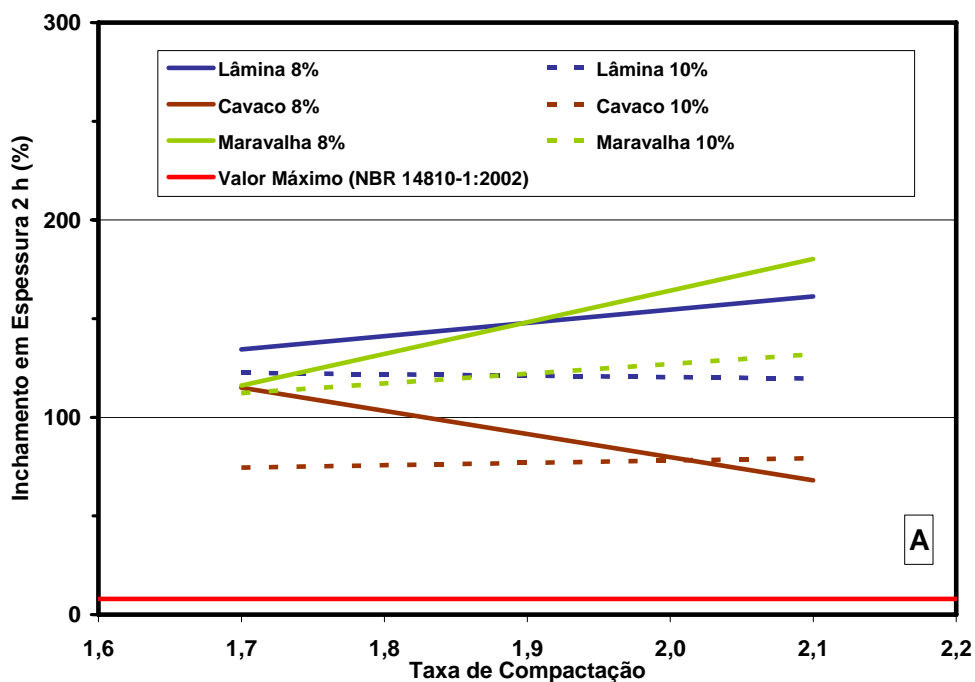


Figura 8. Inchamento em espessura após imersão em água por 2 horas, para painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

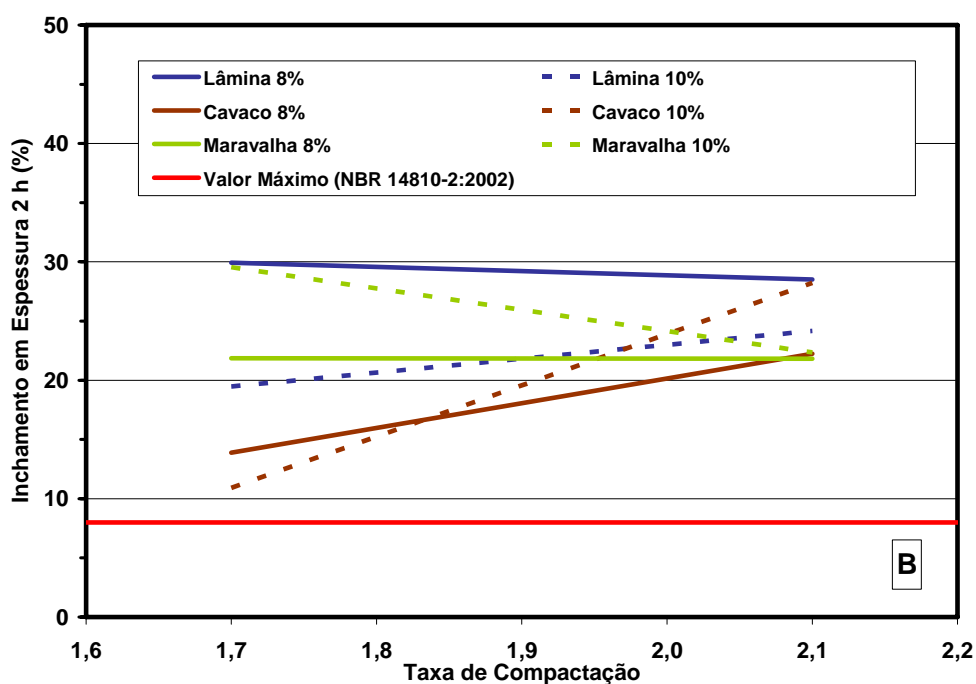
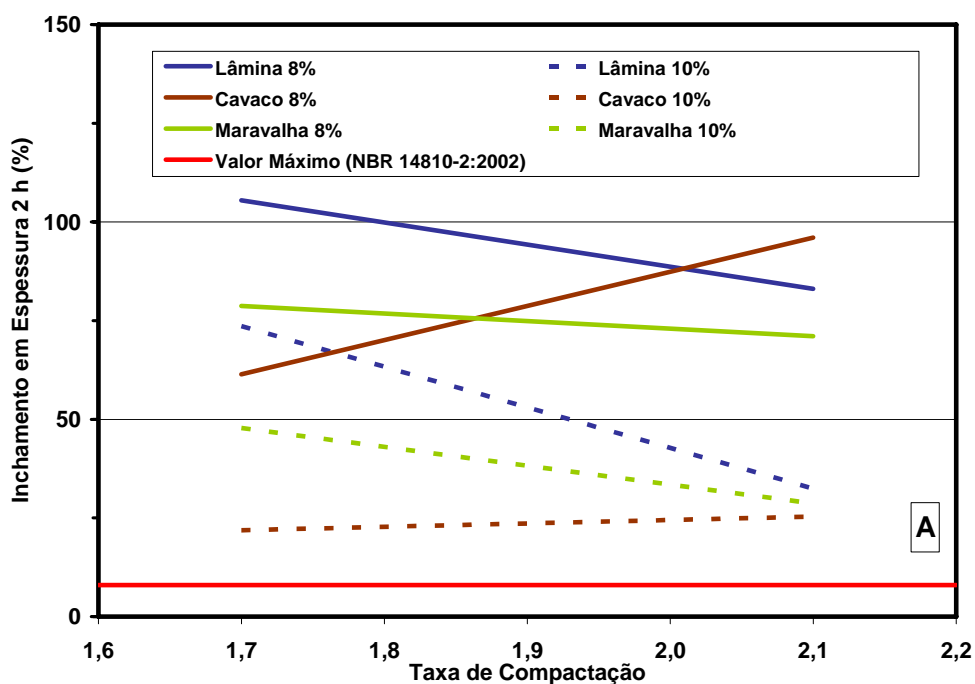


Figura 9. Inchaço em espessura após imersão em água por 2 horas para os painéis aglomerados com inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

O incremento da taxa de compactação para os dois teores de adesivo ocasionou um aumento no inchamento em espessura após 24 horas para as partículas provenientes de lâminas com adesivo de silicato de sódio e uma redução com ureia-formaldeído (Figura 10). Já o uso de partículas derivadas de cavacos e qualquer dos dois adesivos no teor de 8% originaram redução dos referidos valores, entretanto, com ureia-formaldeído 10%, ocorreu um aumento. Na mesma Figura, verifica-se também uma redução nos valores dessa propriedade para as partículas provenientes de maravalhas com o adesivo silicato de sódio 8% e para a ureia-formaldeído 10%. Por outro lado, essas partículas com 8% de ureia-formaldeído ou 10% do adesivo silicato de sódio evidenciaram um aumento dos valores de inchamento com o aumento da taxa de compactação.

O efeito do incremento da taxa de compactação no inchamento em espessura após 24 horas de imersão para os painéis com inclusão laminar pode ser analisado na Figura 11. Nessa Figura, constata-se uma redução desses valores ao utilizar partículas oriundas de lâminas impregnadas com adesivo de silicato de sódio 8%, entretanto, para as mesmas partículas, houve um aumento quando se utilizou ureia-formaldeído 10%. Ainda na Figura 11, verifica-se que houve um aumento no valor do inchamento empregando partículas derivadas de cavacos e uma redução quando foram usadas partículas provenientes de maravalhas, independentemente do tipo e teor do adesivo.

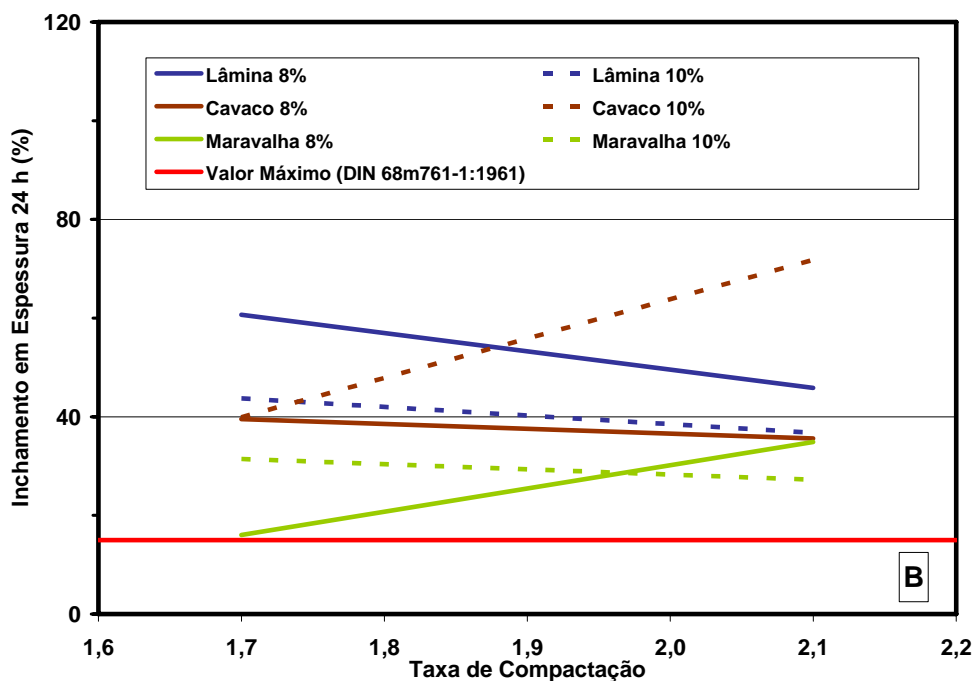
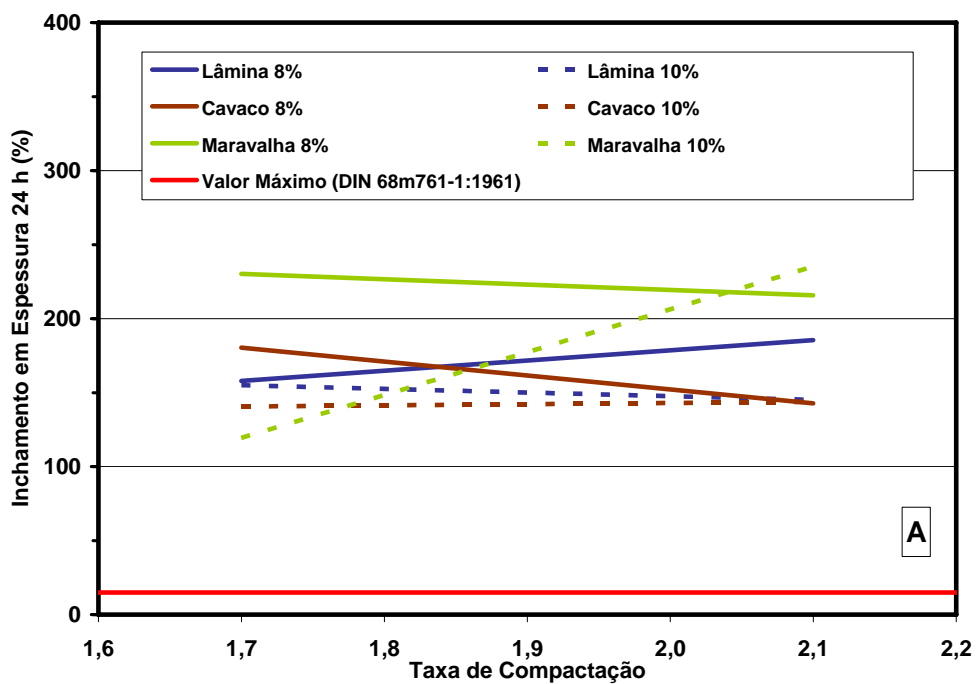


Figura 10. Inchaço em espessura após imersão em água por 24 horas para os painéis aglomerados sem inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

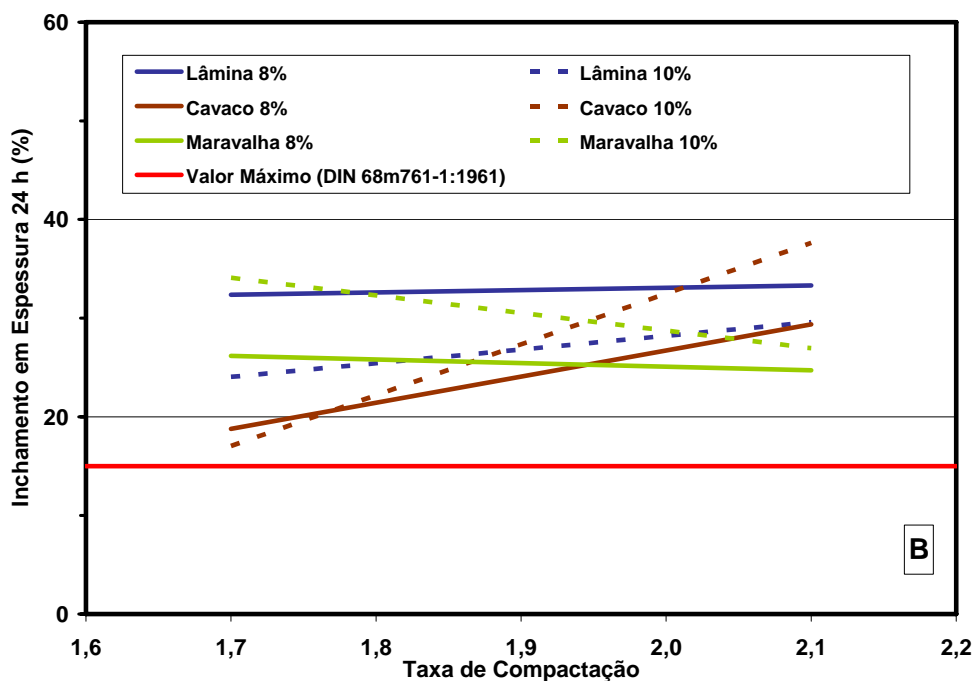
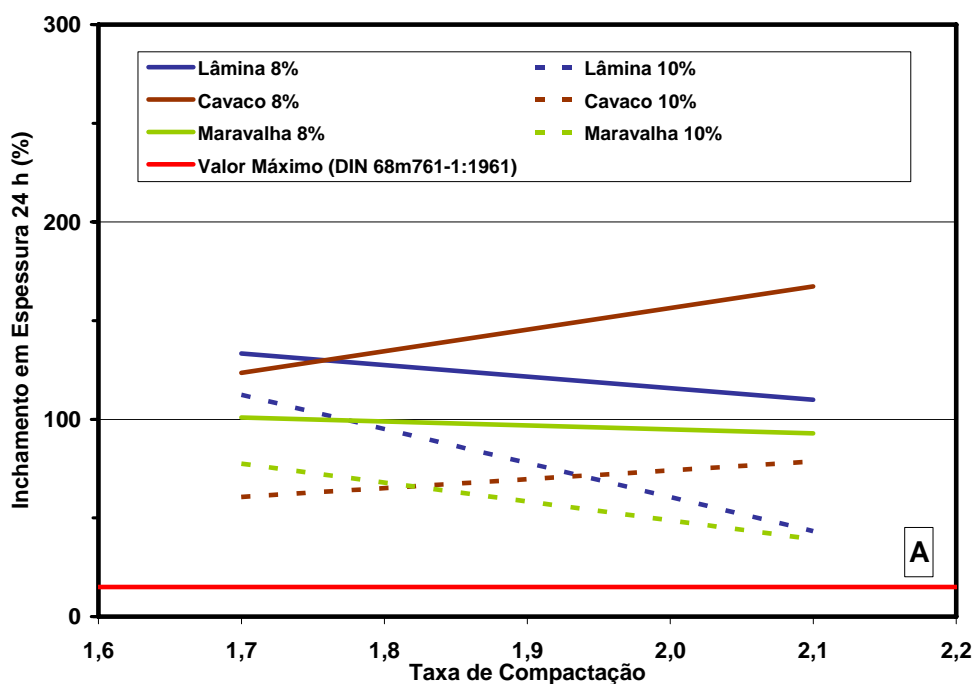


Figura 11. Inchaço em espessura após imersão em água por 24 horas para os painéis aglomerados com inclusão, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Os painéis produzidos nessa pesquisa tiveram seus resultados de inchamento em espessura acima do permitido pela norma ABNT NBR 14810-2:2002, cujos valores devem ser inferiores a 8% para duas horas.

Colli (2007) verificou efeito significativo do teor de adesivo no inchamento em espessura e que os painéis produzidos com 8% de adesivo de ureia-formaldeído absorveram menos água em relação aos painéis produzidos com 6%. Os painéis dessa autora apresentaram, em duas horas de imersão, um inchamento médio de 11,79% e de 8,59% (2 horas) e de 13,56% e de 10,01% (24 horas) para 6% e 8% de adesivo, respectivamente. Os aglomerados dessa pesquisa, feitos com ureia-formaldeído 8% e sem inclusão de lâminas, apresentaram valor médio de 27,97% para a absorção de água após 2 horas de imersão.

No presente estudo, quando os painéis foram confeccionados sem inclusão, com partículas de maravalhas e ureia-formaldeído 8%, na taxa compactação de 1,7, obtiveram-se valores médios de inchamento em espessura de 13,44% para 2 horas e de 16,03% para 24 horas. Tais valores se aproximam daqueles encontrados por Naumann et al. (2008), que determinaram, para painéis semelhantes a esses, valores de 14,5% para 2 horas e de 17,10% para 24 horas.

Em suas pesquisas, Bianche (2009) encontrou, para painéis confeccionados com 100% de paricá, valores médios de 23,53% (2 horas) e 33,02% (24 horas). A mesma autora verificou efeito significativo do teor de adesivo para o inchamento em espessura, após duas e vinte quatro horas de imersão em água, ocorrendo, inclusive, o mesmo que aconteceu com a absorção em água, ou seja, independentemente da composição das partículas dos painéis, o aumento no teor de adesivo acarretou uma redução significativa no inchamento em espessura. Essa tendência não foi observada nessa pesquisa.

Iwakiri et al. (1999), trabalhando com inclusão de lâminas em painéis de Pinus, observaram que tal como ocorreu com a absorção de água, a inclusão de lâminas reduziu progressivamente o inchamento em espessura. Os valores encontrados por esses autores foram de 20,76%

para o inchamento após 2 horas e de 23,99% para após 24 horas. Nesse estudo, os painéis fabricados com inclusão laminar, partículas provenientes de cavaco e ureia-formaldeído 10%, com 1,7 de taxa de compactação, apresentaram valores de expansão menores (10,91% - 2 horas e 17,03% - 24 horas) do que aqueles relatados no trabalho acima.

4.2.5. Expansão linear

Conforme o Quadro 15, o tipo de painel, a forma de resíduo, a classe de adesivo e a interação dupla painel/resíduo tiveram efeito sobre a expansão linear em todas as condições experimentais estabelecidas.

No mesmo Quadro, nota-se que a interação dupla painel/adesivo foi significativa apenas para o teor de 10% e taxa de compactação de 2,1. Houve também significância para a interação dupla resíduo/adesivo nos dois teores de adesivo e para a interação tripla com 8%, tendo ambas as interações taxa de compactação de 1,7.

No Quadro 16, observa-se que os menores valores de expansão linear foram obtidos nos painéis confeccionados sem inclusão laminar, partículas oriundas de maravalhas e cavacos, ureia-formaldeído 8% e 10%, com taxa de compactação de 1,7. Para essa taxa, nos mesmos teores de adesivo, os painéis com inclusão laminar, produzidos com qualquer dos três diferentes tipos de partículas e ureia-formaldeído, também mostraram resultados menores. Nota-se ainda que os aglomerados sem inclusão laminar, elaborados com partículas provenientes de lâminas e adesivo de silicato de sódio 8% e 10% e nas duas taxas de compactação, apresentaram os maiores valores dessa propriedade.

Quadro 15. Resultados do teste F para a expansão linear

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Expansão Linear
Painel	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Resíduo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Adesivo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	*
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	ns
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	ns
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	13,79
		2,1	19,30
	10	1,7	17,57
		2,1	10,06

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 16. Valores médios da expansão linear e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Expansão Linear (%)	
		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	6,32 a	10,42 a
	P ₁ R ₁ A ₂	3,46 b	4,20 b
	P ₁ R ₂ A ₁	0,31 def	0,29 defg
	P ₁ R ₂ A ₂	0,27 ef	0,18 fg
	P ₁ R ₃ A ₁	0,64 cde	0,64 cd
	P ₁ R ₃ A ₂	0,13 f	0,21 efg
	P ₂ R ₁ A ₁	0,33 def	0,39 cdef
	P ₂ R ₁ A ₂	0,18 f	0,17 g
	P ₂ R ₂ A ₁	0,74 cd	0,63 c
	P ₂ R ₂ A ₂	0,23 f	0,24 efg
	P ₂ R ₃ A ₁	0,83 c	0,73 c
	P ₂ R ₃ A ₂	0,27 ef	0,40 cde
10	P ₁ R ₁ A ₁	4,65 a	3,12 a
	P ₁ R ₁ A ₂	1,87 b	2,10 b
	P ₁ R ₂ A ₁	0,41 cde	0,64 c
	P ₁ R ₂ A ₂	0,20 e	0,17 e
	P ₁ R ₃ A ₁	0,40 cde	0,51 cd
	P ₁ R ₃ A ₂	0,15 e	0,16 e
	P ₂ R ₁ A ₁	0,81 cd	0,65 c
	P ₂ R ₁ A ₂	0,17 e	0,57 cd
	P ₂ R ₂ A ₁	0,45 cde	0,66 c
	P ₂ R ₂ A ₂	0,28 de	0,51 cd
	P ₂ R ₃ A ₁	0,81 c	0,71 c
	P ₂ R ₃ A ₂	0,41 cde	0,30 de

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Figura 12 são apresentados os valores de expansão linear, em função da taxa de compactação, para os painéis sem inclusão laminar. De acordo com a Figura, essa propriedade teve seus valores aumentados com o incremento da taxa de compactação ao utilizar partículas de lâminas com qualquer dos dois adesivos, desde que o teor seja de 8%. No teor de 10%, esses valores diminuiram para o adesivo de silicato de sódio e aumentaram para o adesivo de ureia-formaldeído. Nota-se ainda que, ao empregar partículas derivadas de cavacos ou maravalhas, a expansão linear variou muito pouco com o incremento da taxa de compactação, independentemente do tipo e do teor do adesivo.

A Figura 13 mostra os resultados da expansão linear conforme a taxa de compactação, para os painéis com inclusão laminar. Observa-se nessa Figura um aumento desses valores com a elevação da taxa, para os painéis feitos com partículas derivadas de lâminas coladas com adesivo de silicato de sódio 8% ou com ureia-formaldeído 10%, porém, para essa mesma partícula com adesivo de silicato de sódio 10%, houve redução dos valores. Na própria Figura, verifica-se ainda que o uso de partículas provenientes de cavacos ou de maravalhas com adesivo de silicato de sódio 8% ocasionou uma redução da expansão linear com o aumento da taxa de compactação. Para o teor de 10%, os painéis feitos com partículas oriundas de cavacos tiveram seus valores de expansão aumentados e aqueles confeccionados de partículas provenientes de maravalhas tiveram tais valores diminuídos, tendo todas essas condições ocorrido independentemente do tipo de adesivo empregado.

Os painéis produzidos nesse trabalho tiveram seus valores de expansão linear bastante variáveis (0,13% a 10,42%), e muito deles exibindo um percentual acima do permitido pela norma ANSI/A-208.1.1999, que é de no máximo 0,35%. Porém, a maioria desses valores foram inferiores aos observados por Colli (2007), que verificou, em seus painéis confeccionados unicamente de paricá, valores de 0,55% e de 0,44%, respectivamente, para os teores de 6% e 8% no adesivo ureia-formaldeído.

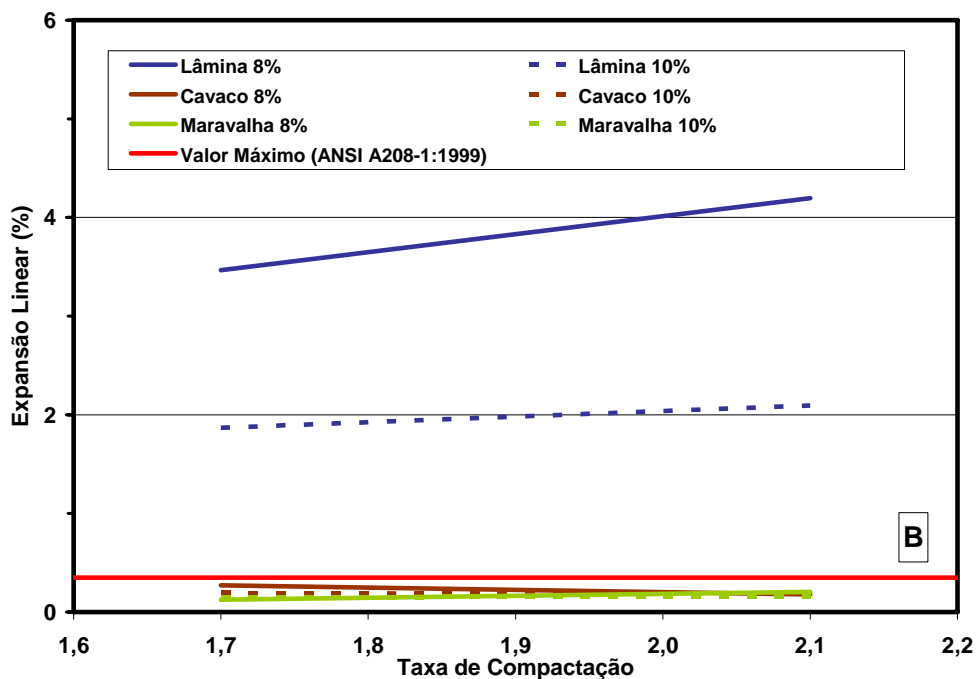
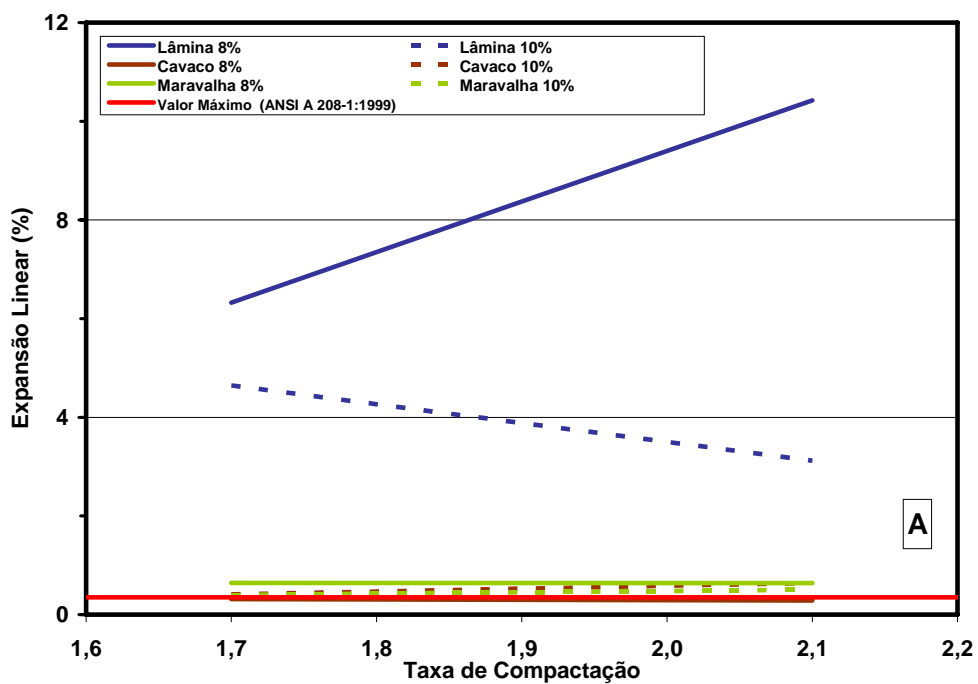


Figura 12. Expansão linear para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

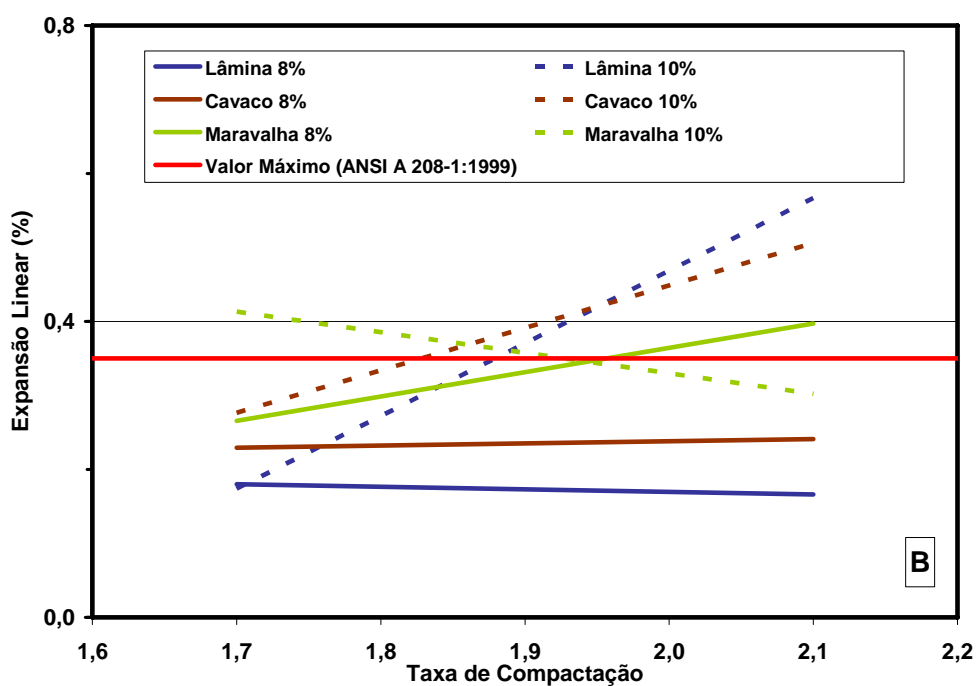
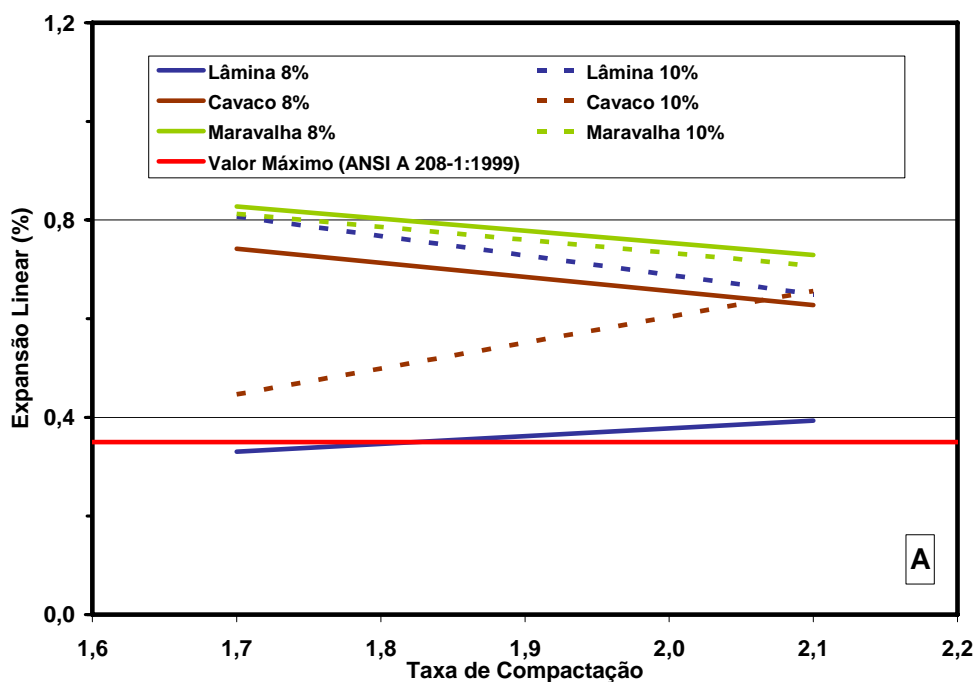


Figura 13. Expansão linear para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Naumann et al. (2008) obtiveram, em seus trabalhos, uma redução da expansão linear à medida que se elevou a quantidade de paricá na confecção dos painéis. Os valores de expansão publicados por esses autores foram de 0,33% para os painéis feitos somente com maravalhas e de 0,43% para os painéis produzidos apenas de cavacos. Bianche (2009) verificou a mesma tendência de Naumann et al. (2008), determinando em seus painéis, confeccionados exclusivamente com partículas provenientes de maravalhas de paricá, o valor médio para expansão, de 0,20%. Em condições similares, os dados de expansão linear dessa pesquisa foram de 0,13% para os painéis de partículas provenientes de maravalhas e de 0,27% para os de partículas derivadas de cavacos, ficando, portanto, abaixo dos valores descritos pelos referidos autores e pela norma.

Faz-se oportuno ressaltar que os painéis desse estudo não receberam parafina, o que, provavelmente, contribuiu para o aumento de alguns resultados da expansão linear, assim como das demais propriedades físicas analisadas anteriormente. A heterogeneidade das propriedades físicas também pode ser devida à origem dos resíduos, pois cada material veio de uma parte específica da madeira, a qual apresentava característica anatômica distinta. As lâminas tinham células do cerne e do alburno, sendo esse último em maior quantidade, as costaneiras possuíam basicamente alburno, já o rolo-resto apresentava somente medula. Em todos os materiais ocorreu predominância de tecido parenquimático, composto por células de paredes finas e lume grande, o que, possivelmente, conferiu aos resíduos uma alta porosidade e permeabilidade.

4.3. Propriedades Mecânicas

4.3.1. Resistência à tração perpendicular (Ligação interna)

No Quadro 17 verifica-se que a forma de resíduo e o tipo de adesivo nos dois teores e nas duas taxas de compactação tiveram efeito sobre a tração perpendicular. Já a influência do tipo de painel foi observada apenas para o teor de 8% nas duas taxas de compactação e para 10%, somente na taxa de compactação de 1,7. No mesmo Quadro, nota-se que a interação dupla resíduo/adesivo foi significativa para os dois teores de adesivo em ambas as taxas de compactação.

As interações duplas com o fator painel não foram significativas para o teor de 8% do adesivo e 1,7 de taxa de compactação, entretanto, nessa mesma taxa e teor de 10% do adesivo, também, a interação dupla painel/resíduo não apresentou significância. Para a interação tripla, observa-se efeito significativo apenas para os painéis produzidos com 10% de adesivo, independente da taxa de compactação (Quadro 17).

Com base no Quadro 18, pode-se afirmar que os painéis sem inclusão laminar, elaborados com partículas derivadas de cavacos ou de maravalhas, nos dois teores do adesivo ureia-formaldeído e nas duas taxas de compactação, tiveram os maiores valores de tração perpendicular. Nota-se, também, que com essas mesmas partículas e classe de adesivo, os maiores resultados para os painéis com inclusão laminar foram obtidos apenas na concentração de 8% com 1,7 de taxa de compactação e 10% com 2,1.

Ao fabricar os painéis com partículas provenientes de lâminas, tendo ureia-formaldeído 10% e taxa de compactação de 1,7, houve aumento na resistência à tração perpendicular (Quadro 18). Para os painéis com inclusão, as menores resistências corresponderam aos painéis feitos de partículas derivadas de cavacos com adesivo de silicato de sódio 8% e 10%, nas duas taxas de compactação. Nos painéis sem inclusão, os maiores valores de tração perpendicular foram obtidos utilizando partículas provenientes de lâminas ou de maravalhas, com adesivo de silicato de sódio em qualquer teor e taxa de compactação.

Quadro 17. Resultados do teste F para a resistência à tração perpendicular

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Tração Perpendicular
Painel	8	1,7	*
		2,1	*
	10	1,7	*
		2,1	ns
Resíduo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Adesivo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo	8	1,7	ns
		2,1	**
	10	1,7	ns
		2,1	**
Painel*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	*
	10	1,7	**
		2,1	*
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**
		2,1	*
	10	1,7	*
		2,1	**
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	*
		2,1	**
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	6,51
		2,1	8,19
	10	1,7	8,08
		2,1	3,98

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 18. Valores médios da resistência à tração perpendicular e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Tração Perpendicular (MPa)	
		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	0,10 cde	0,08 e
	P ₁ R ₁ A ₂	0,29 bcd	0,54 bc
	P ₁ R ₂ A ₁	0,34 bc	0,33 cd
	P ₁ R ₂ A ₂	0,73 a	1,11 a
	P ₁ R ₃ A ₁	0,07 de	0,04 e
	P ₁ R ₃ A ₂	0,64 a	0,86 ab
	P ₂ R ₁ A ₁	0,13 bcde	0,16 de
	P ₂ R ₁ A ₂	0,25 bcde	0,54 bc
	P ₂ R ₂ A ₁	0,18 bcde	0,15 de
	P ₂ R ₂ A ₂	0,67 a	0,67 b
	P ₂ R ₃ A ₁	0,04 e	0,09 e
	P ₂ R ₃ A ₂	0,43 ab	0,67 b
10	P ₁ R ₁ A ₁	0,16 def	0,15 cd
	P ₁ R ₁ A ₂	0,69 ab	0,29 c
	P ₁ R ₂ A ₁	0,26 cde	0,30 c
	P ₁ R ₂ A ₂	0,74 ab	0,67 ab
	P ₁ R ₃ A ₁	0,03 f	0,07 d
	P ₁ R ₃ A ₂	0,75 a	0,67 ab
	P ₂ R ₁ A ₁	0,19 cde	0,19 cd
	P ₂ R ₁ A ₂	0,44 abc	0,51 b
	P ₂ R ₂ A ₁	0,19 cdef	0,19 cd
	P ₂ R ₂ A ₂	0,63 ab	0,75 a
	P ₂ R ₃ A ₁	0,09 ef	0,09 d
	P ₂ R ₃ A ₂	0,41 bcd	0,60 ab

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A variação na tração perpendicular de acordo com a taxa de compactação para os painéis sem inclusão laminar pode ser visualizada na Figura 14. Observa-se que o incremento na taxa de compactação ocasionou redução nos valores dessa propriedade com o uso de 8% do adesivo de silicato de sódio e de qualquer dos três tipos de partículas, entretanto, para a ureia-formaldeído, nessas mesmas condições, houve um aumento. Já para os painéis produzidos com 10% do adesivo ureia-formaldeído, ocorreu diminuição da resistência, principalmente para as partículas provenientes de lâmina. Por outro lado, para os painéis produzidos com o adesivo de silicato de sódio nessa mesma concentração e com as partículas oriundas de cavacos e de maravalhas, observou-se um aumento nos valores dessa propriedade.

Na Figura 15 observa-se um aumento nos valores de tração perpendicular com o incremento da taxa de compactação, para as partículas derivadas de lâminas ou de maravalhas, com os dois adesivos no teor de 8%. Contudo, para os painéis produzidos com o adesivo de silicato de sódio 8%, mas com partículas derivadas de cavacos, a resistência foi reduzida. Analisando os painéis confeccionados com ureia-formaldeído 8%, verifica-se pouca variabilidade entre os dados. Nessa Figura, nota-se também que para o teor de 10% houve um aumento na resistência à tração perpendicular, em função da taxa de compactação, para o adesivo ureia-formaldeído combinado com qualquer dos três tipos de partículas. Já para os painéis feitos com o adesivo de silicato de sódio, nessas mesmas condições, não foram constatadas alterações significativas.

De acordo com as Figuras 14A e 15A, os valores de tração perpendicular foram inferiores ao mínimo exigido pelas normas ABNT NBR 14810-2:2002, (0,35 MPa) e ANSI A 208.1. 1993 (0,41 MPa). Entretanto, nas Figuras 14B e 15B, observa-se que a maioria dos painéis apresentou valores superiores aos recomendados por essas normas.

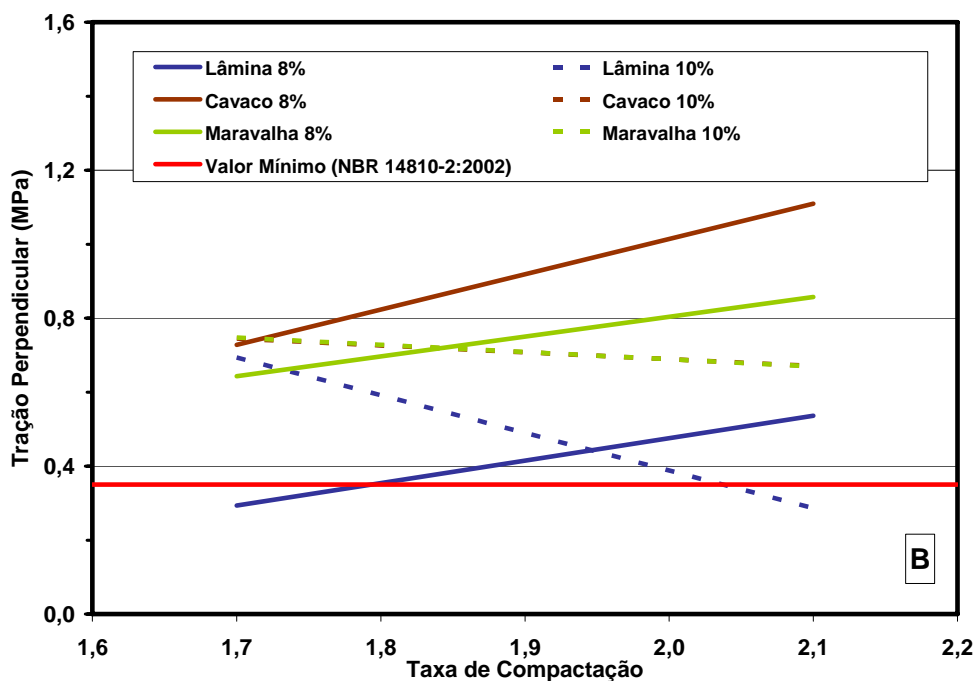
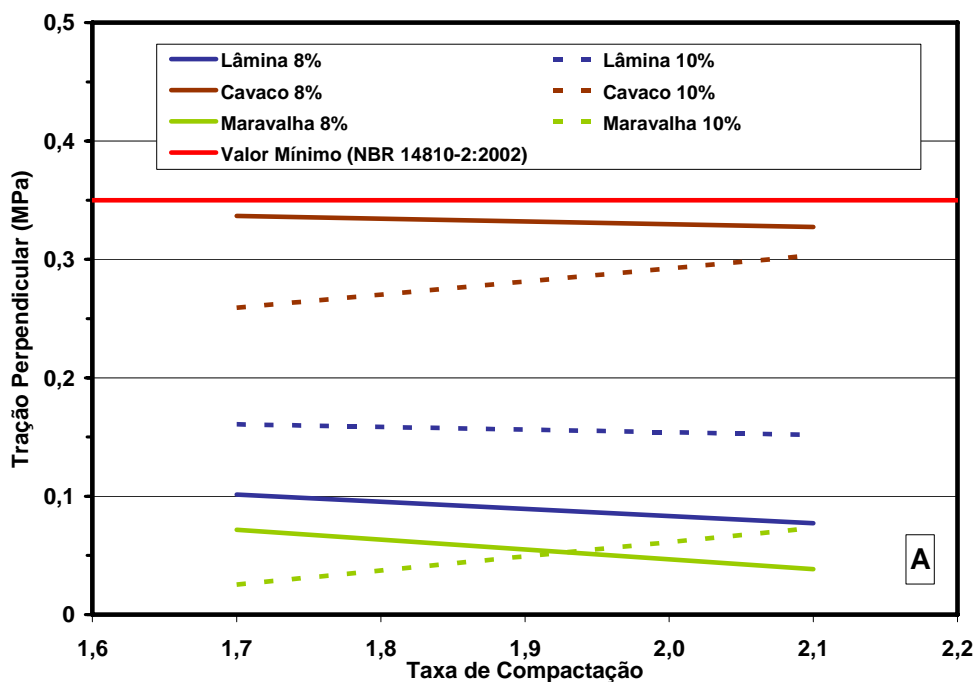


Figura 14. Resistência à tração perpendicular para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

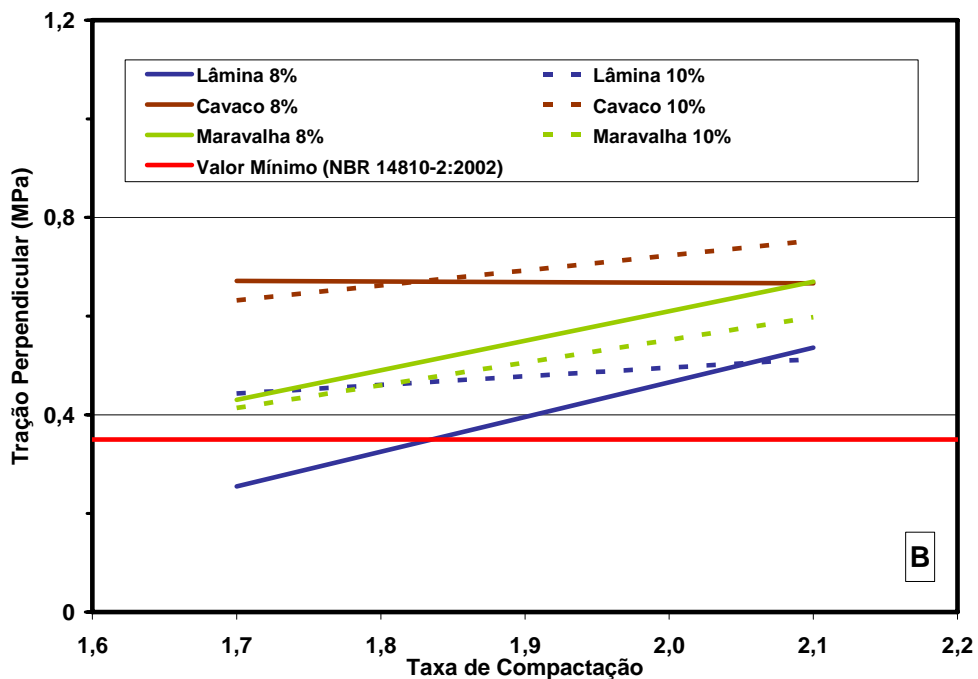
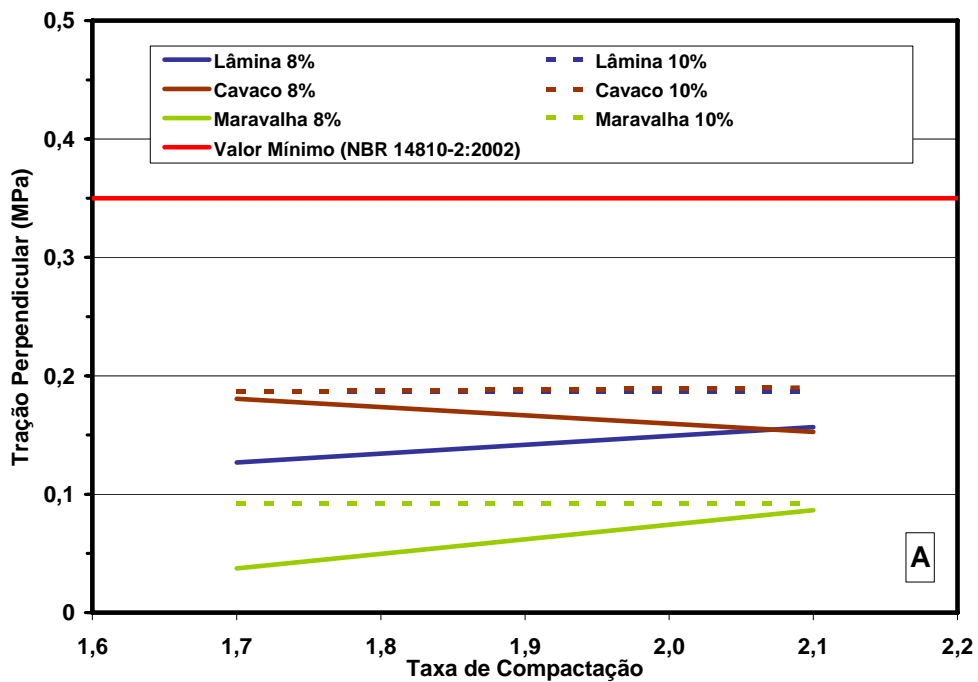


Figura 15. Resistência à tração perpendicular para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Colli (2007), em seus trabalhos com misturas de espécies para fabricação de painéis aglomerados, verificou os melhores resultados de ligação interna para seus painéis feitos exclusivamente de paricá e ureia-formaldeído 8%, cujos valores médios foram de 0,28 MPa. Nessa pesquisa, os painéis feitos em condições similares apresentaram valor de tração interna de 0,73 MPa, bem superior ao encontrado pela autora acima.

Bianche (2009) encontrou em seus estudos com misturas de espécies, usando ureia-formaldeído 8%, que os painéis produzidos com 100% de paricá apresentaram os maiores valores médios de tração perpendicular (0,75 MPa), e essa propriedade estava correlacionada com a densidade desses painéis. Nessa pesquisa, os painéis produzidos sob condições similares apresentaram valores médios de 0,86 MPa para tração perpendicular.

Os altos valores de ligação interna, apresentados por alguns tipos de painéis desse estudo, podem ser devidos à maior densidade do painel, o que resulta em uma melhor colagem. Segundo Vital (1973), a ligação interna aumenta, geralmente, com o aumento da densidade dos painéis.

Naumann et al. (2008) encontraram valores médios de 0,46 MPa (maravalhas) e de 0,58 MPa (cavacos) para painéis feitos somente de paricá, com 8% de adesivo de ureia-formaldeído. Nessa pesquisa, os painéis feitos sob condições similares tiveram valores de 0,86 MPa (provenientes de maravalhas) e de 1,11 MPa (provenientes de cavacos), sendo inclusive, os maiores valores individuais encontrados no estudo. Esse fato pode ser explicado pelo menor coeficiente de esbeltez apresentado por essas partículas (Quadro7), em especial o das partículas provenientes de cavaco. Segundo Iwakiri (2005), partículas menores se acomodam melhor e por isso se aderem mais, porque ocorre uma maior absorção do adesivo devido à maior área superficial de contato. Outro fator importante nessa discussão é a taxa de compactação, que, sendo alta (2,1), diminuiu os espaços vazios, melhorando, conseqüentemente, o contato entre as partículas, a colagem e a ligação interna dos painéis.

Iwakiri et al. (1999), ao aprimorarem os painéis aglomerados de Pinus, pela inclusão de duas lâminas superficiais, utilizando ureia-formaldeído 12%, encontraram valor de 1,26 MPa para a ligação interna. Os autores observaram também que a inclusão das lâminas provocou um incremento significativo nessa propriedade. Em condições similares, todos os painéis dessa pesquisa tiveram seus valores de ligação interna abaixo do descrito no referido trabalho.

4.3.2. Resistência à flexão estática

4.3.2.1. Módulo de ruptura (MOR)

Os resultados da análise de variância (Quadro 19) indicaram efeito significativo do tipo de painel e da classe de adesivo para o módulo de ruptura (MOR). No mesmo Quadro, constata-se que os adesivos podem apresentar comportamentos diferentes para cada partícula de resíduo e vice-versa. Entretanto, algumas fontes de variação não tiveram efeito significativo nessa propriedade para o teor de 10% em ambos os adesivos, tais como: o tipo de partícula na taxa de compactação de 2,1; a interação dupla painel/resíduo na taxa de 1,7; a interação dupla painel/adesivo nas duas taxas; e a interação tripla na taxa de 1,7.

No Quadro 20, observa-se que os painéis com inclusão laminar, feitos com partículas derivadas de cavacos ou de maravalhas, adesivo ureia/formaldeído 8% e taxa de compactação 1,7 apresentaram os maiores valores de módulo de ruptura. Porém, ao elevar a taxa de compactação, mantendo o teor e o adesivo, apenas os painéis aglomerados com inclusão laminar feitos com partículas provenientes de cavacos evidenciaram os maiores valores de resistência.

Quadro 19. Resultados do teste F para a resistência à flexão estática

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Flexão Estática	
			MOR	MOE
Painel	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Resíduo	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	ns	ns
Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**	**
		2,1	**	**
	10	1,7	ns	**
		2,1	*	*
Painel*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	ns
	10	1,7	ns	ns
		2,1	ns	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	*	**
	10	1,7	**	**
		2,1	**	ns
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	**	**
		2,1	**	ns
	10	1,7	*	ns
		2,1	ns	ns
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	12,83	10,21
		2,1	10,25	2,83
	10	1,7	9,54	3,31
		2,1	9,11	2,87

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 20. Valores médios da resistência à flexão estática e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Flexão Estática (MPa)			
		MOR		MOE	
		Taxa de Compactação		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1	1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	3,62 e	4,94 ef	320,40 d	455,98 de
	P ₁ R ₁ A ₂	6,20 e	8,29 def	443,19 d	626,61 cd
	P ₁ R ₂ A ₁	6,29 e	5,63 def	719,59 cd	621,92 cd
	P ₁ R ₂ A ₂	7,07 e	10,64 de	616,87 d	946,25 bc
	P ₁ R ₃ A ₁	7,17 e	3,44 f	546,47 d	354,09 e
	P ₁ R ₃ A ₂	7,80 de	9,56 de	715,81 cd	744,74 cd
	P ₂ R ₁ A ₁	15,27 cd	25,67 bc	2048,82 b	2957,96 a
	P ₂ R ₁ A ₂	17,33 c	36,57 ab	2110,96 b	3347,53 a
	P ₂ R ₂ A ₁	28,57 b	23,86 c	3572,56 a	2634,61 a
	P ₂ R ₂ A ₂	42,74 a	46,27 a	3561,85 a	3555,71 a
	P ₂ R ₃ A ₁	9,22 cde	11,25 d	1261,76 c	1324,70 b
	P ₂ R ₃ A ₂	35,39 ab	28,03 bc	3646,95 a	2631,49 a
10	P ₁ R ₁ A ₁	6,32 e	4,94 e	530,75 cd	588,52 c
	P ₁ R ₁ A ₂	8,25 de	8,29 cde	838,09 bc	474,27 c
	P ₁ R ₂ A ₁	6,35 e	6,73 de	690,77 cd	644,22 c
	P ₁ R ₂ A ₂	7,03 de	8,08 cde	620,33 cd	631,62 c
	P ₁ R ₃ A ₁	3,31 f	5,65 e	442,66 d	597,00 c
	P ₁ R ₃ A ₂	11,05 de	10,43 cd	904,45 bc	718,00 c
	P ₂ R ₁ A ₁	26,93 ab	26,93 a	3184,92 a	2298,40 ab
	P ₂ R ₁ A ₂	40,33 ab	33,52 a	4367,25 a	3369,30 a
	P ₂ R ₂ A ₁	21,56 bc	21,66 ab	2809,77 a	2174,13 ab
	P ₂ R ₂ A ₂	44,60 a	26,59 a	4257,54 a	2204,33 ab
	P ₂ R ₃ A ₁	12,22 cd	12,22 bc	1385,99 b	1800,28 b
	P ₂ R ₃ A ₂	29,79 ab	34,87 a	2483,08 a	2966,84 a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para os painéis com 10% de adesivo, verifica-se que os produzidos com inclusão laminar e ureia-formaldeído, tendo qualquer dos três tipos de partículas na sua confecção, foram os que apresentaram maior resistência. Já para o adesivo de silicato de sódio nesse mesmo teor, os maiores valores foram obtidos com partículas de lâminas, na taxa de compactação de 1,7. O aumento dessa taxa para o mesmo teor de adesivo elevou o módulo de ruptura ao utilizar partículas derivadas de cavacos com adesivo de silicato de sódio (Quadro 20). Verifica-se, também, que os menores valores dessa propriedade mecânica corresponderam aos painéis aglomerados sem inclusão laminar, principalmente, os elaborados com partículas provenientes de maravalhas coladas com o adesivo de silicato de sódio 8% e 10% em ambas as taxas de compactação.

Na Figura 16 constata-se um aumento nos valores do módulo de ruptura, em função da taxa de compactação, utilizando-se qualquer tipo de partículas aglutinadas com a ureia-formaldeído 8%. Tal incremento é verificado também para os painéis produzidos com partículas derivadas de cavacos coladas com esse adesivo no teor de 10%. Entretanto, o aumento dos valores dessa propriedade, ao elevar a taxa de compactação, somente foi observado para o adesivo silicato de sódio quando se empregaram, respectivamente, partículas oriundas de lâminas e de maravalhas. Ainda nessa Figura, é possível observar uma redução nos valores de MOR quando se empregou o adesivo de silicato de sódio 8% com partículas originadas de cavacos ou de maravalhas, ou esse mesmo adesivo no teor de 10% com partículas derivadas de lâminas. Também é possível verificar um aumento dos valores quando as partículas provenientes de cavacos foram impregnadas com a ureia-formaldeído 10% e uma redução, quando foram usadas as partículas oriundas de maravalhas.

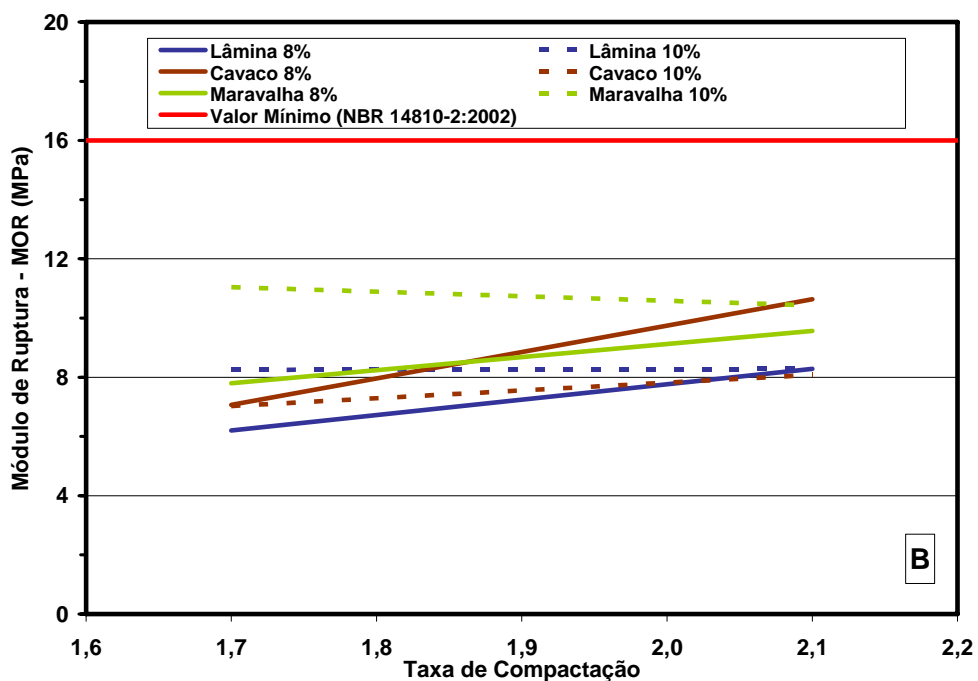
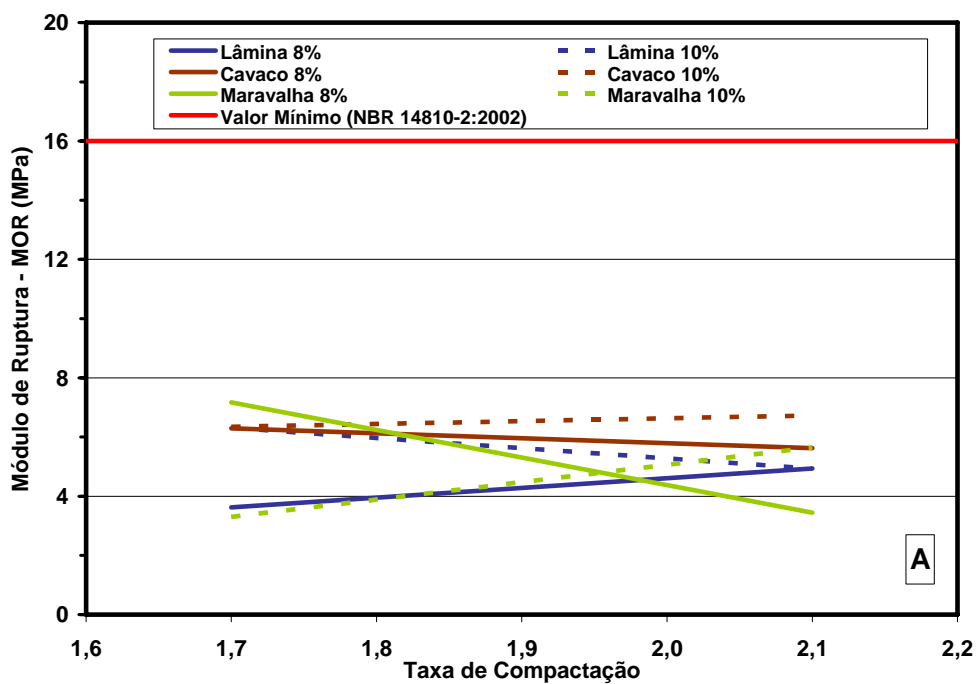


Figura 16. Módulo de ruptura para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Para os painéis com inclusão laminar, a adição de 8% do adesivo de silicato de sódio 8% sobre as partículas derivadas de lâminas ou de maravalhas ocasionou um aumento nos valores de MOR, porém, ao elevar a taxa de compactação, usando partículas originadas de cavacos, houve uma redução (Figura 17). Observa-se também um incremento nos valores de MOR em função da taxa de compactação, quando foram utilizadas ureia-formaldeído 8% e partículas oriundas de lâminas ou cavacos. Já para o referido adesivo no teor de 10% com as mesmas partículas, verificou-se uma tendência oposta.

O valor mínimo de MOR estabelecido pelas normas ABNT NBR 14810-2:2002 é de 16 MPa e para a norma ANSI A 208.1. 1993 é de 11 MPa. Os painéis aglomerados sem inclusão laminar não atenderam a nenhuma das duas normas (Figura 16). Já para os painéis aglomerados com inclusão laminar, todos atingiram o valor especificado pelas referidas normas, com exceção dos confeccionados com partículas provenientes de maravalhas impregnadas com adesivo de silicato de sódio (Figura 17).

Colli (2007), trabalhando com painéis de partículas aglomeradas, confeccionadas com madeira de paricá, misturadas com fibras de coco e ureia-formaldeído 6% e 8%, verificou que os menores valores de módulos de ruptura foram para os tratamentos com 100% de partículas de paricá (1,9 MPa para 6% e 2,8 MPa para 8%).

Naumann et al. (2008), ao estudarem misturas de eucalipto e paricá na confecção de painéis aglomerados com ureia-formaldeído 8%, relataram que, em seus tratamentos feitos com 100% de paricá, os módulos de ruptura foram de 13,96 MPa para as partículas derivadas de maravalhas e de 9,83 MPa para os módulos que tiveram suas partículas vindas de cavacos. Os autores mencionaram também que tal propriedade não foi afetada pelo tipo de partícula. Nas mesmas condições, os experimentos conduzidos nessa pesquisa apresentaram valores de módulo de ruptura de 9,56 MPa e de 10,64 MPa para painéis produzidos com partículas derivadas de maravalhas e de cavacos, respectivamente.

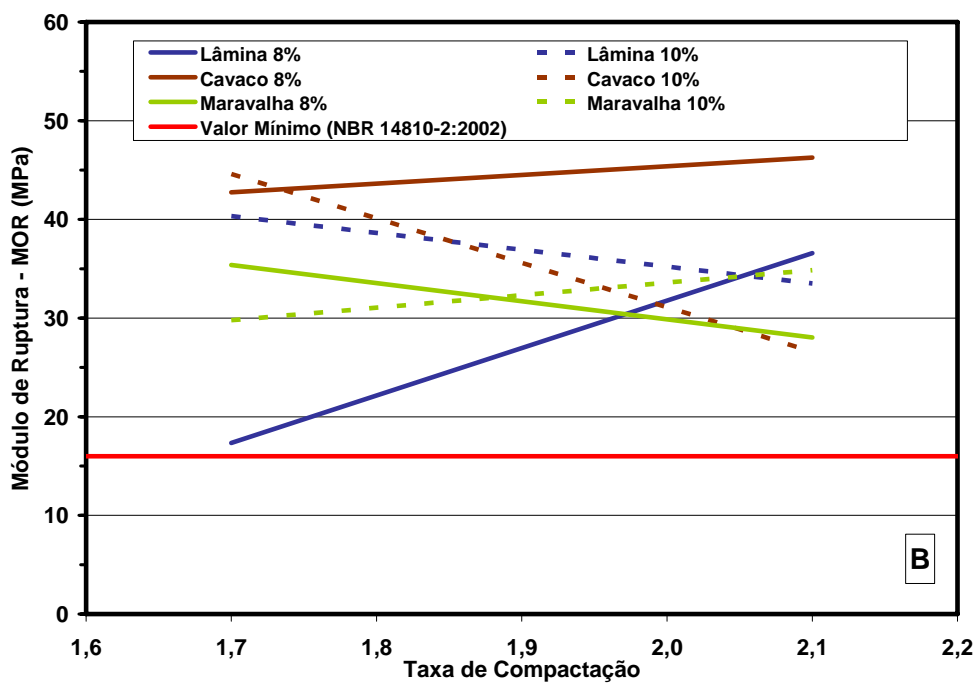
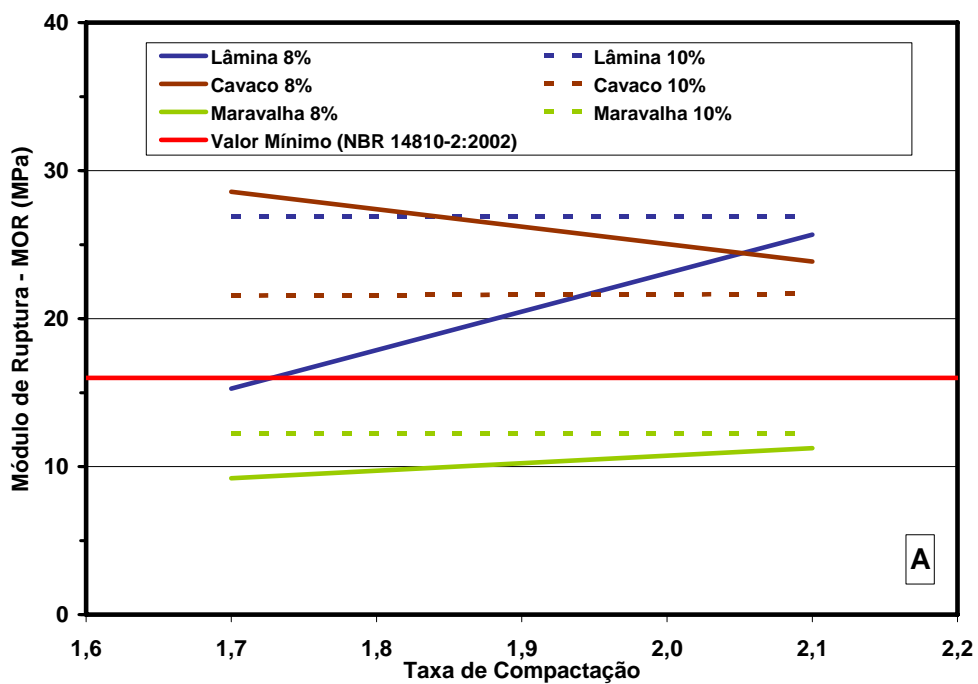


Figura 17. Módulo de ruptura para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Bianche (2009), estudando painéis aglomerados feitos com mistura de eucalipto, paricá, *Sida* sp. e ureia-formaldeído 8%, constatou que os painéis produzidos com 100% de partículas de paricá, apresentaram os maiores módulos de ruptura (26,44 MPa), quando comparado com as outras composições, e que a densidade teve influência positiva nessa propriedade. Tal tendência não foi verificada no presente estudo.

Iwakiri et al. (1999), pesquisando a inclusão de lâminas em painéis aglomerados de *Pinus* utilizando ureia-formaldeído 12%, constataram valores de 16,53 MPa para módulo de ruptura perpendicular às fibras. Os autores observaram também que a inclusão das lâminas provocou um decréscimo nessa propriedade, devido, provavelmente, à menor resistência da madeira à flexão no sentido perpendicular. Nessa pesquisa, o módulo de ruptura para condições similares à descrita no trabalho acima apontou valor de 26,56 MPa.

4.3.2.2. Módulo de Elasticidade (MOE)

Os resultados da análise de variância indicaram que houve efeito significativo do tipo de painel e da classe de adesivo sobre o módulo de elasticidade (MOE), como pode se observar no Quadro 19. Já o tipo de resíduo influenciou essa propriedade para os adesivos no teor de 8% com as duas taxas de compactação, bem como no teor de 10%, com a taxa de 1,7. Ocorreu também efeito significativo da interação dupla painel/adesivo, nos teores de 8% e 10%, com taxas de compactação, respectivamente, de 1,7 e 2,1. Ainda no mesmo Quadro, verifica-se que houve interação entre os resíduos e os adesivos, no teor de 8% em ambas as taxas, ou no teor de 10% com a taxa de 1,7. Para a interação tripla, houve significância apenas no teor de 8% e taxa de compactação de 1,7.

No Quadro 20, verifica-se que os maiores resultados referentes ao MOE foram obtidos para os painéis com inclusão laminar, tendo partículas oriundas de cavacos e qualquer adesivo, ou partículas derivadas de lâminas com ureia-formaldeído, independentemente do teor do adesivo e

da taxa de compactação. Entretanto, essa propriedade apresentou os menores valores nos painéis sem inclusão laminar produzidos com partículas de maravalhas e adesivo de silicato de sódio em ambas os teores de adesivo e taxas de compactação.

Conforme Figura 18, os valores do módulo de elasticidade aumentaram com o incremento da taxa de compactação para os painéis sem inclusão laminar, elaborados com partículas provenientes de lâmina e adesivo de silicato de sódio 8% e 10%, entretanto, com as partículas que vieram de cavacos houve uma redução dos referidos valores nessas mesmas condições. Observa-se que esses painéis com ureia-formaldeído 8% evidenciaram um aumento do MOE para os três tipos de resíduos. Porém, para esse adesivo no teor de 10%, utilizando-se partículas provenientes de lâminas ou maravalhas, constatou-se uma redução nos valores dessa propriedade.

Na Figura 19, observa-se um aumento nos valores de MOE em função da taxa de compactação para os painéis com inclusão laminar feitos de partículas derivadas de lâminas, e para qualquer dos dois adesivos no teor de 8%. Nesse mesmo teor, houve uma redução desses valores para os painéis confeccionados com partículas oriundas de cavacos e adesivo de silicato de sódio e também para os produzidos com partículas provenientes de maravalhas e ureia-formaldeído. Analisando a referida Figura, nota-se que, ao utilizar as partículas derivadas de lâminas ou de cavacos, com qualquer adesivo no teor 10%, ocorreu uma redução nos valores de MOE. Já nesse teor, para os dois tipos de adesivos, usando partículas derivadas de maravalhas, os valores aumentaram.

Os valores de MOE, apresentados na Figura 18 foram inferiores ao estabelecido pela norma ANSI A 208.1. 1993 (1725 MPa). Porém, na Figura 19A, observa-se que apenas os painéis elaborados com partículas provenientes de maravalhas não atingiram o referido valor. Por outro lado, todos os painéis aglomerados com inclusão laminar e ureia-formaldeído evidenciaram valores superiores ao mínimo recomendado nessa norma (Figura 19B).

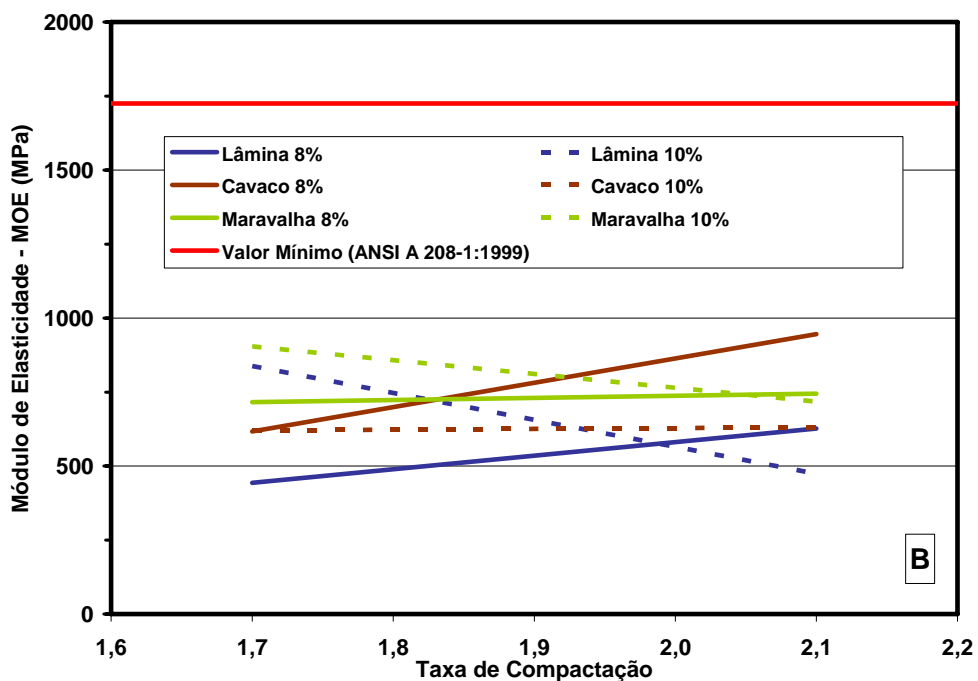
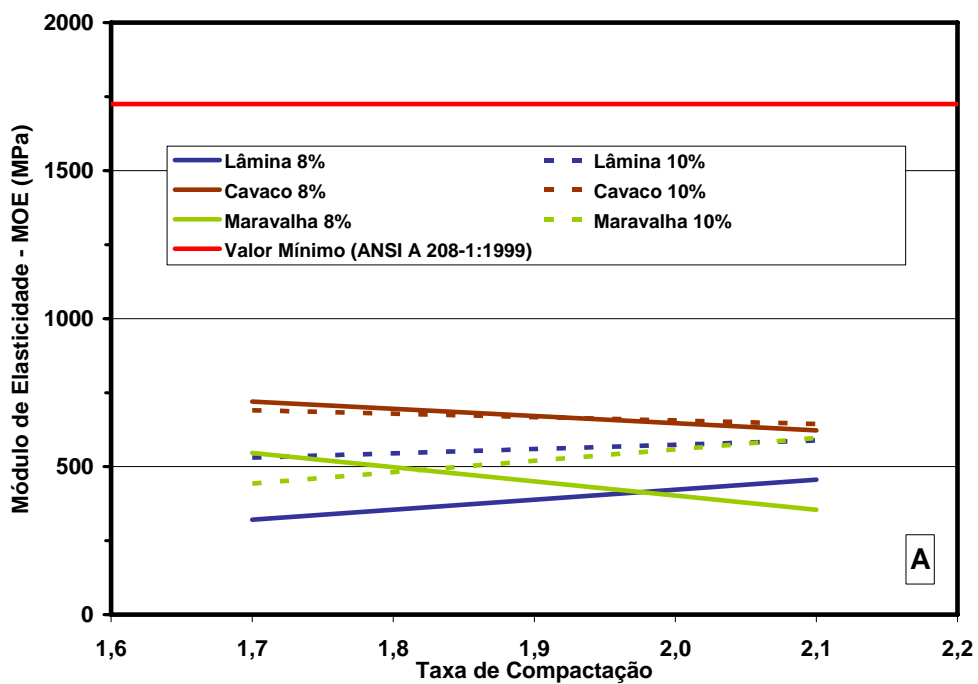


Figura 18. Módulo de elasticidade para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

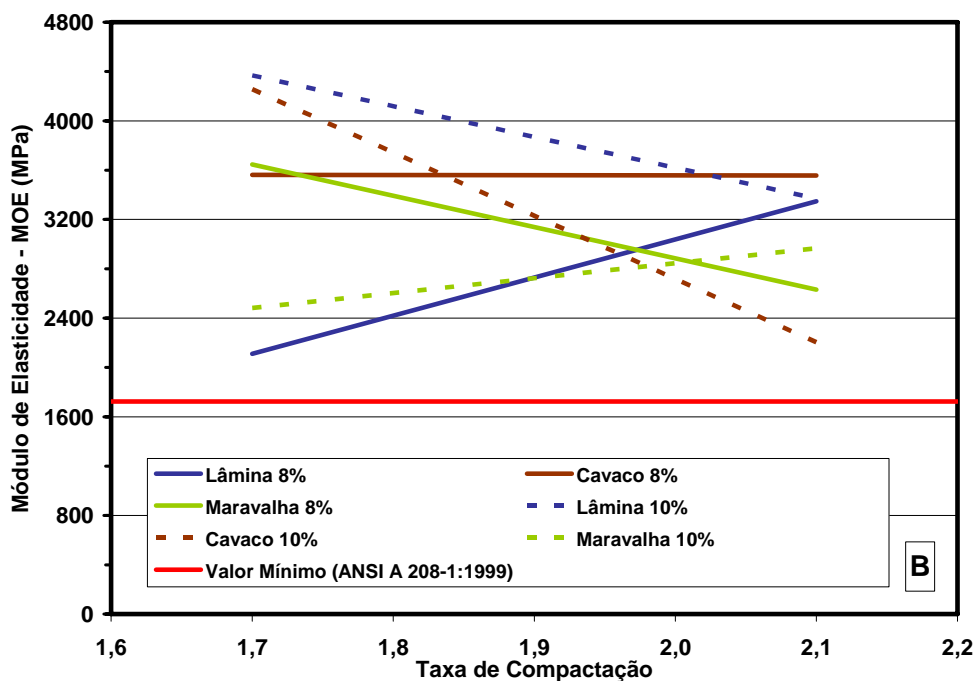
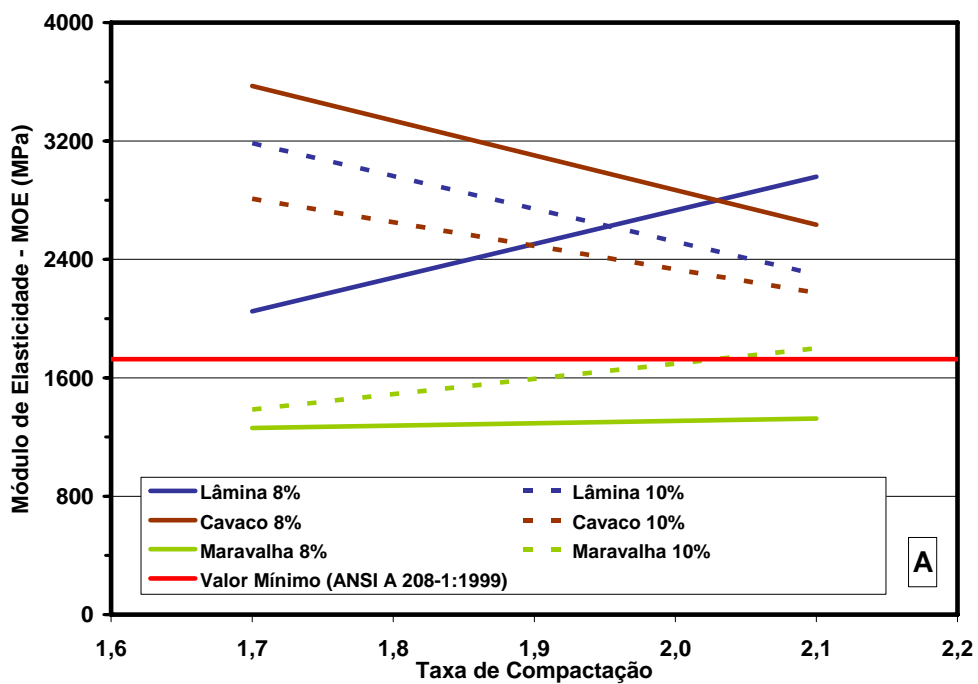


Figura 19. Módulo de elasticidade para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Colli (2007) não encontrou para o MOE diferença significativa entre os tratamentos desenvolvidos em seu estudo. Contudo, a autora obteve os piores resultados para os painéis confeccionados com 100% de paricá, que apresentaram valores de 110 MPa (ureia-formaldeído 6%) e 170 MPa (ureia-formaldeído 8%). Esses valores estão abaixo dos encontrados nesta pesquisa, para qualquer condição experimental.

Naumann et al. (2008), no trabalho com misturas de espécies para a produção de aglomerados, descreveram que o MOE não foi influenciado pelo tipo de partícula, mas que essa propriedade tinha seus resultados aumentados quando se utilizava material com maior coeficiente de esbeltez. Os valores encontrados pelos autores foram de 1873 MPa para painéis confeccionados com partículas derivadas de maravalhas e de 1169 MPa para os feitos com partículas provenientes de cavacos. Para essas mesmas condições, os resultados obtidos nessa pesquisa mostraram valores inferiores, de 946 MPa e de 745 MPa, para os painéis produzidos com partículas oriundas de cavacos e de maravalhas, respectivamente.

Bianche (2009) verificou, em seu trabalho com mistura de espécies para a produção de aglomerado, que os maiores valores médios encontrados para MOE foram para os painéis produzidos com 100% de partículas de paricá (2956 MPa) e à medida que se adicionavam tais partículas o MOE se elevava. Em condições similares, o valor de MOE desta pesquisa apresentou-se abaixo (904 MPa) do referido valor.

Iwakiri et al. (1999), em seu trabalho com inclusão de lâminas em painéis de Pinus colados com ureia-formaldeído (12%), encontraram valores de 2803 MPa para MOE, resultado similar foi encontrado nesta pesquisa, cujo valor ficou em 2204 MPa.

A variabilidade de resultados encontrados para o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), entre os diversos trabalhos e essa pesquisa, provavelmente, foi devida ao coeficiente de esbeltez das partículas, à compactação e ao adensamento dos painéis, os quais podem interferir nessas propriedades.

4.3.3. Resistência superficial (Dureza Janka)

Conforme Quadro 21, o tipo de resíduo e a classe de adesivo no teor de 10% influenciaram a dureza Janka. Nesse mesmo teor, as interações duplas painel/resíduo e resíduo/adesivo foram significativas para ambas as taxas de compactação. Entretanto, para o teor de 8% e 1,7 na taxa de compactação, tanto o tipo de painel, considerando-se o adesivo (e vice-versa), quanto a classe de adesivo, considerando-se a partícula, apresentaram comportamentos diferentes. Analisando a interação dupla painel/adesivo, nota-se que houve significância apenas para o teor de 10% e taxa de compactação de 2,1.

No Quadro 22 verifica-se que os painéis sem inclusão laminar utilizando partículas provenientes de lâminas ou cavacos, com adesivo de silicato de sódio em ambas os teores e taxas de compactações, mostraram os maiores resultados. Já para os aglomerados com inclusão de lâminas, os maiores resultados de dureza Janka foram evidenciados pelos painéis elaborados com partículas de maravalhas e ureia-formaldeído 8% nas duas taxas de compactação, ou no teor de 10%, mas 2,1 como taxa de compactação. Em contrapartida, os menores resultados corresponderam aos painéis sem inclusão laminar, elaborados com partículas provenientes de maravalhas e adesivo de silicato de sódio 8%, independentemente da taxa de compactação, ou no teor de 10% para a taxa de 1,7.

O incremento da taxa de compactação originou um aumento nos valores da resistência superficial (dureza Janka) para os painéis sem inclusão laminar, confeccionados com os dois adesivos nos teores de 8%, para qualquer tipo de resíduo (Figura 20). Na mesma Figura, verifica-se que houve um acentuado crescimento dessa propriedade ao utilizar partículas provenientes de maravalhas com o adesivo de silicato de sódio 10%.

Quadro 21. Resultados do teste F para a dureza Janka

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Dureza Janka
Painel	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	ns
Resíduo	8	1,7	**
		2,1	*
	10	1,7	**
		2,1	**
Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Adesivo	8	1,7	*
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	**
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	ns
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	10,51
		2,1	10,74
	10	1,7	2,45
		2,1	1,97

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 22. Valores médios de dureza Janka e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Dureza Janka (MPa)	
		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	1,27 ab	1,39 ab
	P ₁ R ₁ A ₂	0,92 cde	1,29 ab
	P ₁ R ₂ A ₁	1,38 a	1,47 a
	P ₁ R ₂ A ₂	1,16 abcd	1,46 a
	P ₁ R ₃ A ₁	0,58 e	1,06 b
	P ₁ R ₃ A ₂	0,84 e	1,39 ab
	P ₂ R ₁ A ₁	0,90 de	1,30 ab
	P ₂ R ₁ A ₂	0,79 e	1,30 ab
	P ₂ R ₂ A ₁	1,18 abc	1,21 ab
	P ₂ R ₂ A ₂	1,20 ab	1,39 ab
	P ₂ R ₃ A ₁	1,02 bcde	1,24 ab
	P ₂ R ₃ A ₂	1,20 ab	1,30 ab
10	P ₁ R ₁ A ₁	1,55 a	1,59 a
	P ₁ R ₁ A ₂	1,40 abc	1,35 cd
	P ₁ R ₂ A ₁	1,48 ab	1,57 ab
	P ₁ R ₂ A ₂	1,11 d	1,01 e
	P ₁ R ₃ A ₁	0,48 e	1,35 bcd
	P ₁ R ₃ A ₂	1,40 abc	1,36 abcd
	P ₂ R ₁ A ₁	1,06 d	1,29 d
	P ₂ R ₁ A ₂	1,33 abcd	1,26 d
	P ₂ R ₂ A ₁	1,32 abcd	1,33 cd
	P ₂ R ₂ A ₂	1,27 bcd	1,26 d
	P ₂ R ₃ A ₁	1,18 cd	1,57 ab
	P ₂ R ₃ A ₂	1,18 cd	1,56 abc

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

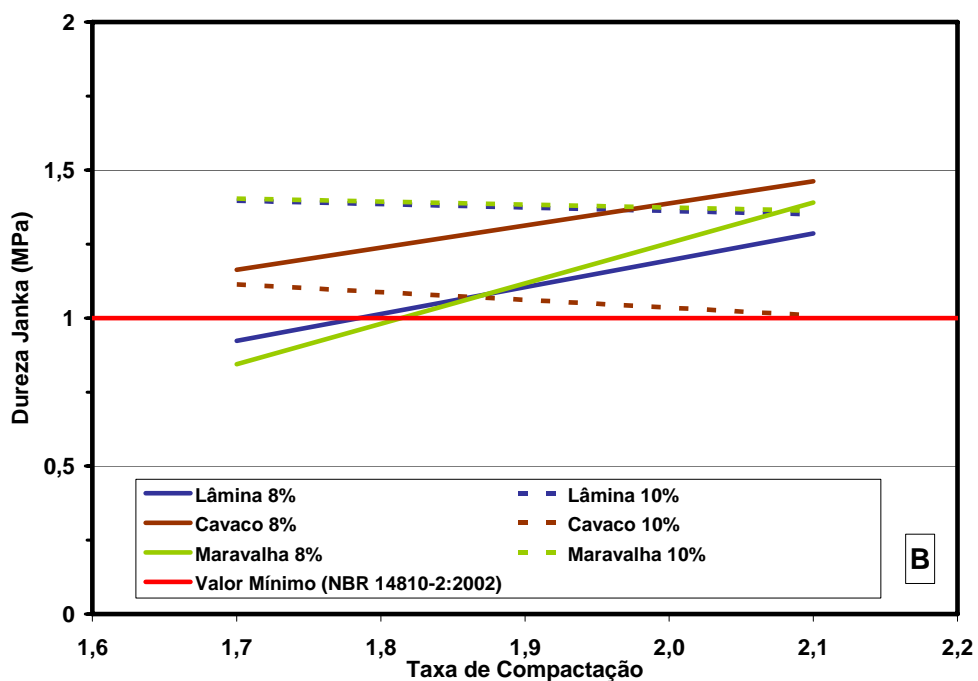
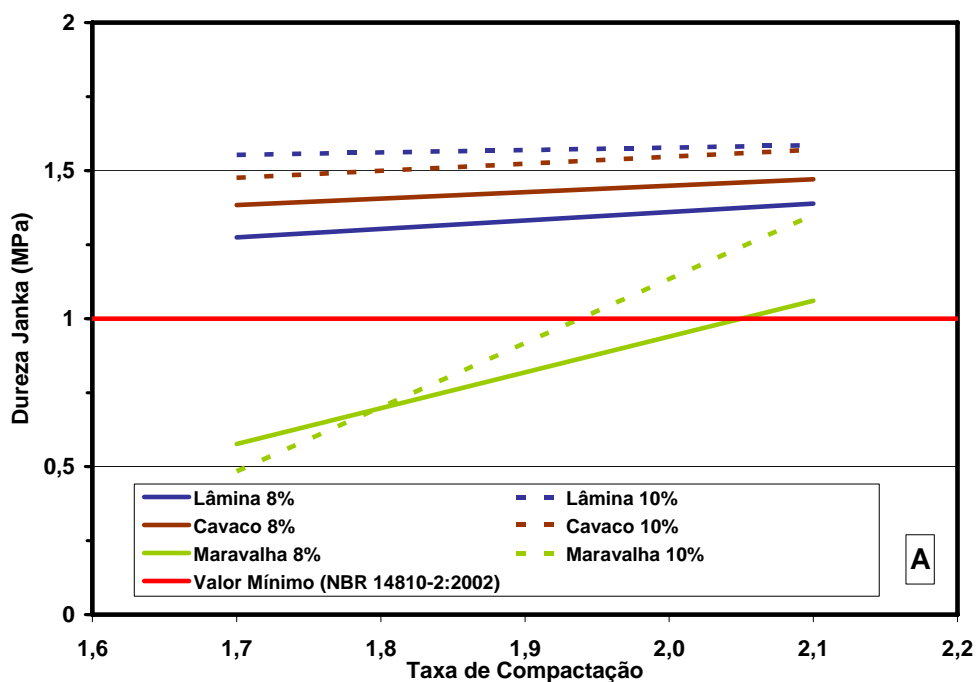


Figura 20. Dureza Janka para os painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Na Figura 21, constata-se que os painéis com inclusão laminar, constituídos de partículas derivadas de cavacos e adesivo de silicato de sódio 8% e os fabricados de partículas provenientes de lâminas ou de cavacos com ureia-formaldeído 10%, bem como os produzidos somente com partículas oriundas de cavacos e adesivo de silicato de sódio nesse mesmo teor, evidenciaram pouca ou até nenhuma variabilidade nos valores de dureza Janka em função da taxa de compactação. O restante dos painéis mostrou um notável crescimento nos referidos valores, com o incremento dessa taxa.

O valor mínimo de dureza Janka requerido pela norma ABNT NBR 14810-2:2002 é de 1 MPa, valor não atingido pelos painéis confeccionados com partículas derivadas de maravalhas, coladas com adesivo de silicato de sódio 8% e 10% e taxa de compactação 1,7 (Figura 20A). Nessa mesma taxa, também, os painéis elaborados com ureia-formaldeído 8% e partículas provenientes de lâminas ou de maravalhas não atingiram o especificado (Figura 20B). Porém, na Figura 21, observa-se que todos os painéis atingiram o mínimo requerido pela citada norma, exceto aqueles fabricados com partículas oriundas de lâminas, teor de 8% para ambos os adesivos e taxa de compactação de 1,7.

Colli (2007) encontrou, para os painéis aglomerados feitos somente de partículas de paricá, aglutinados com ureia-formaldeído 6%, o valor de 0,9 MPa, e para os painéis colados com ureia-formaldeído 8%, 1,0 MPa.

Naumann et al. (2008), em seus estudos com painéis aglomerados produzidos de partículas de paricá e ureia-formaldeído 8%, verificaram que a dureza Janka apresentou valores de 0,33 MPa e de 0,27 MPa, quando eram usadas partículas derivadas de maravalhas e de cavacos, respectivamente. Os resultados dessa propriedade encontrados nessa pesquisa foram maiores do que esses valores, independentemente da condição experimental avaliada.

Bianche (2009) publicou valores de 50,52 MPa para seus painéis aglomerados fabricados somente com partículas de paricá e ureia-formaldeído 8%. Nessa pesquisa, nenhum painel alcançou esse valor.

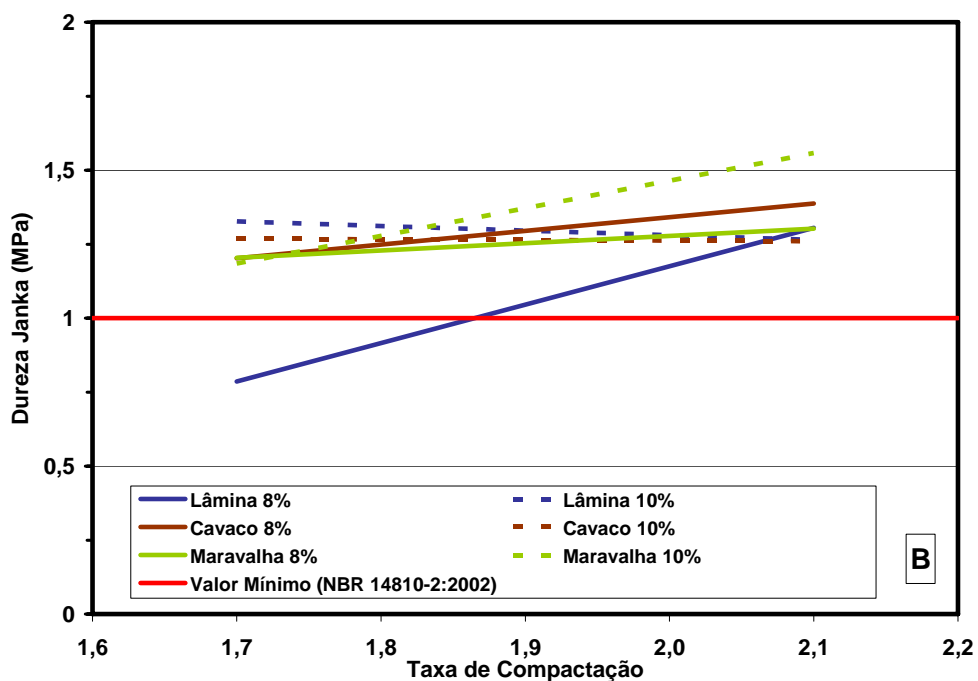
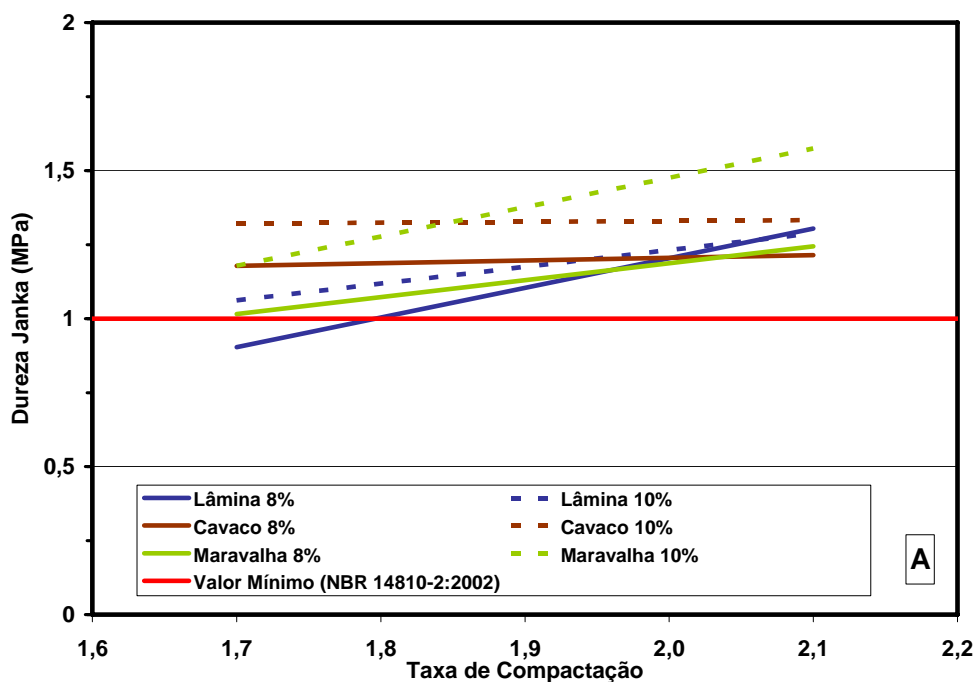


Figura 21. Dureza Janka para os painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

4.3.4. Resistência ao arrancamento de parafuso

No Quadro 23, constata-se que o tipo de painel, a forma do resíduo e a classe de adesivo influenciaram o arrancamento de parafuso. Nota-se também que as interações duplas painel/resíduo e resíduo/adesivo foram significativas para o teor de 8%, tendo 1,7 como taxa de compactação, e para o teor de 10% em ambas as taxas. Porém, a interação painel/adesivo apresentou significância apenas no teor de 10% e taxa de 2,1. Nesse Quadro, verifica-se ainda que a interação tripla foi significativa para o teor de 8% com taxa de 1,7 e para o teor de 10% nas duas taxas.

De acordo com o Quadro 24, os painéis com inclusão laminar elaborados com partículas oriundas de cavacos ou de maravalhas e ureia-formaldeído mostraram os maiores valores no arrancamento de parafuso. No mesmo Quadro, verifica-se que resultados maiores também podem ser obtidos nos painéis com partículas provenientes de lâminas e o referido adesivo na taxa de compactação de 2,1, ou com esse mesmo resíduo e mesmo adesivo, mas na concentração de 10%. Outros bons resultados foram obtidos com ureia-formaldeído 10% e taxa de compactação de 2,1. Entretanto, o menor valor para o arrancamento de parafuso foi evidenciado pelos painéis sem inclusão laminar, feitos de partículas derivadas de maravalhas e adesivo de silicato de sódio, independentemente do teor desse adesivo e da taxa de compactação.

Na Figura 22 constata-se um aumento nos valores da resistência ao arrancamento de parafuso com o incremento da taxa de compactação, utilizando 8% dos adesivos e qualquer tipo de partícula. Também se observou um crescimento desses valores para as partículas provenientes de lâminas e de maravalhas com o uso do adesivo de silicato de sódio 10%. Porém, empregando as mesmas partículas com ureia-formaldeído 10%, houve uma redução dos valores em função da taxa de compactação.

Quadro 23. Resultados do teste F para a resistência ao arrancamento de parafuso

Fontes de Variação	Teor de Adesivo	Taxa de Compactação	Arrancamento de Parafuso
Painel	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Resíduo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	*
Adesivo	8	1,7	**
		2,1	**
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Adesivo	8	1,7	ns
		2,1	ns
	10	1,7	ns
		2,1	*
Resíduo*Adesivo	8	1,7	**
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Painel*Resíduo*Adesivo	8	1,7	*
		2,1	ns
	10	1,7	**
		2,1	**
Coeficiente de Variação (%)	8	1,7	13,28
		2,1	16,18
	10	1,7	1,37
		2,1	6,19

ns: F não significativo ($p > 0,05$); *: F significativo ($p < 0,05$) e **: F significativo ($p < 0,01$).

Quadro 24. Valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso e resultados do teste Tukey

Teor de adesivo (%)	Tratamento	Arrancamento de Parafuso (N)	
		Taxa de Compactação	
		1,7	2,1
8	P ₁ R ₁ A ₁	581 e	857 de
	P ₁ R ₁ A ₂	863 cde	1048 bcd
	P ₁ R ₂ A ₁	1102 cd	1210 bcd
	P ₁ R ₂ A ₂	1105 cd	1324 abc
	P ₁ R ₃ A ₁	238 f	434 e
	P ₁ R ₃ A ₂	897 cd	1069 bcd
	P ₂ R ₁ A ₁	827 de	1172 bcd
	P ₂ R ₁ A ₂	896 cd	1493 ab
	P ₂ R ₂ A ₁	1173 bc	1097 bcd
	P ₂ R ₂ A ₂	1510 a	1676 a
	P ₂ R ₃ A ₁	829 de	918 cd
	P ₂ R ₃ A ₂	1485 ab	1356 abc
10	P ₁ R ₁ A ₁	825 d	1363 bc
	P ₁ R ₁ A ₂	1406 ab	1161 bcd
	P ₁ R ₂ A ₁	1134 bc	1128 cd
	P ₁ R ₂ A ₂	1131 bc	953 d
	P ₁ R ₃ A ₁	204 e	625 e
	P ₁ R ₃ A ₂	1210 bc	1122 cd
	P ₂ R ₁ A ₁	1135 bc	1248 bcd
	P ₂ R ₁ A ₂	1608 a	1535 ab
	P ₂ R ₂ A ₁	1206 bc	1187 bcd
	P ₂ R ₂ A ₂	1599 a	1503 abc
	P ₂ R ₃ A ₁	1025 cd	1525 ab
	P ₂ R ₃ A ₂	1368 ab	1829 a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas para cada concentração do adesivo, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

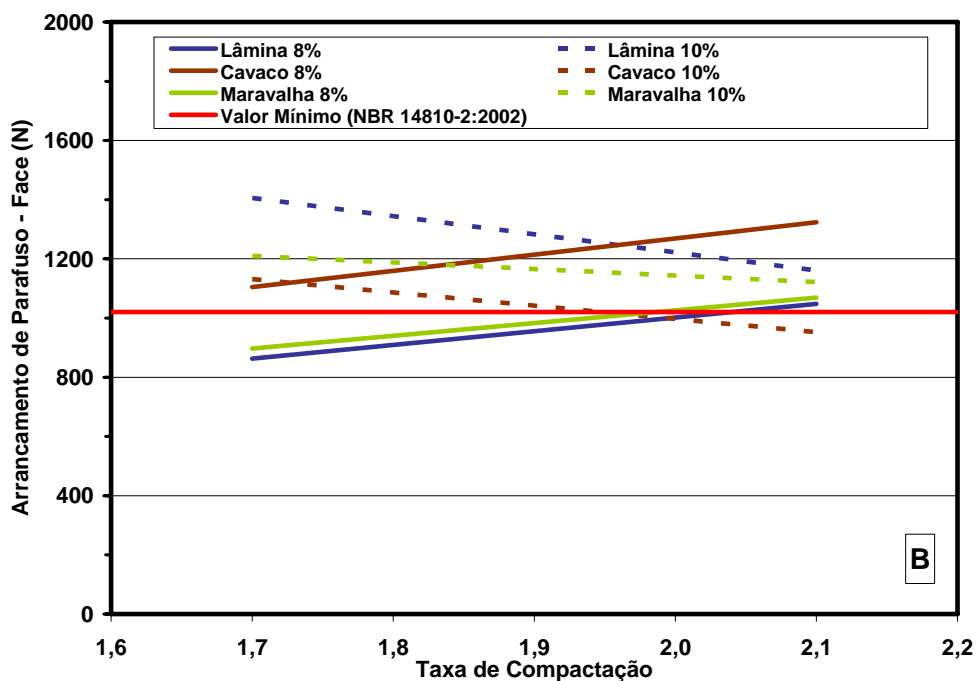
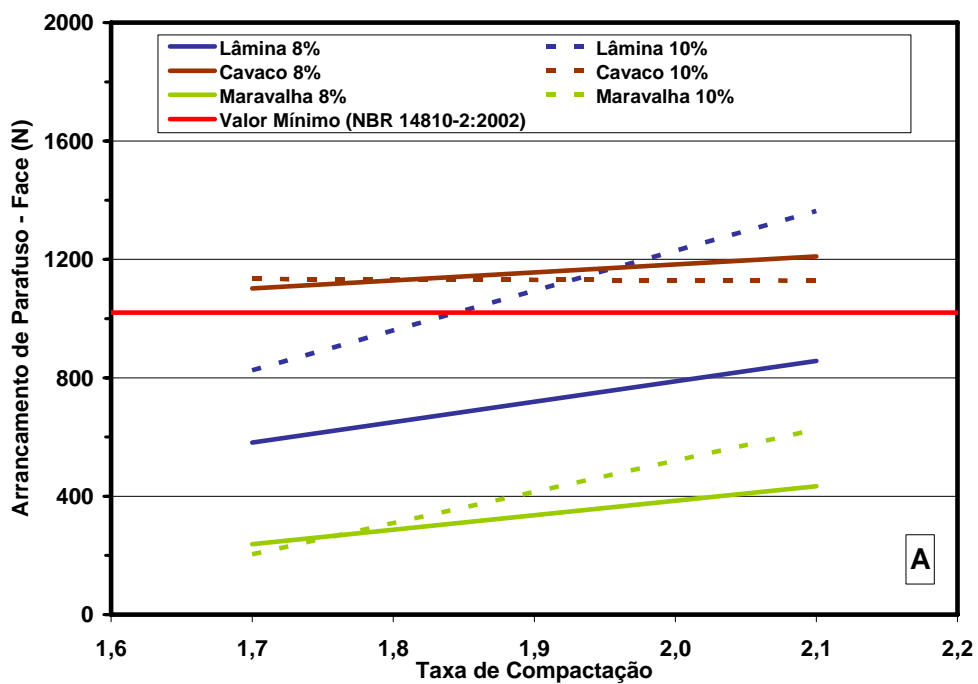


Figura 22. Resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis aglomerados sem inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo de silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Conforme Figura 23, houve um aumento nos valores de arrancamento de parafuso, em dependência da taxa de compactação, para os painéis com inclusão laminar, elaborados com partículas derivadas de lâminas ou maravalhas, impregnadas com o adesivo de silicato de sódio 8% e 10%. Também o uso de ureia-formaldeído 8%, com partículas provenientes de lâminas ou de cavacos e para o teor de 10% com partículas oriundas de maravalhas, ocorreu um incremento nos valores da referida propriedade mecânica.

No entanto, uma redução nos valores do arrancamento de parafuso foi observada para os painéis elaborados com partículas provenientes de maravalhas e ureia-formaldeído 8%, e para os painéis fabricados com partículas derivadas de lâminas ou de cavacos e o mesmo adesivo no teor de 10%. Ao utilizar partículas oriundas de cavacos e adesivo de silicato de sódio 8%, houve também redução dos valores para o arrancamento de parafuso.

Na Figura 22A, observa-se que apenas os painéis compostos por partículas derivadas de cavacos ou de lâminas, confeccionados com 10% no teor de adesivo e 1,7 como taxa de compactação, tiveram valores superiores ao mínimo estabelecido pela norma ANSI A 208.1. 1993, que é de 1100 N. Já na Figura 22B, não atingiram esse valor os painéis confeccionados com partículas provenientes de lâminas ou de maravalhas, para o teor de 8% no adesivo, com 1,7 de taxa de compactação, bem como os painéis confeccionados com partículas oriundas de cavacos, para 10% de teor de adesivo e taxa de 2,1 de compactação.

De acordo com a Figura 23A, os painéis fabricados com partículas provenientes de maravalhas apresentaram valores menores do que o mínimo exigido pela norma. Observa-se ainda que as chapas com partículas derivadas de lâminas, para ambos os adesivos no teor de 8% e taxa de 1,7, não atenderam tal requerimento (Figura 23).

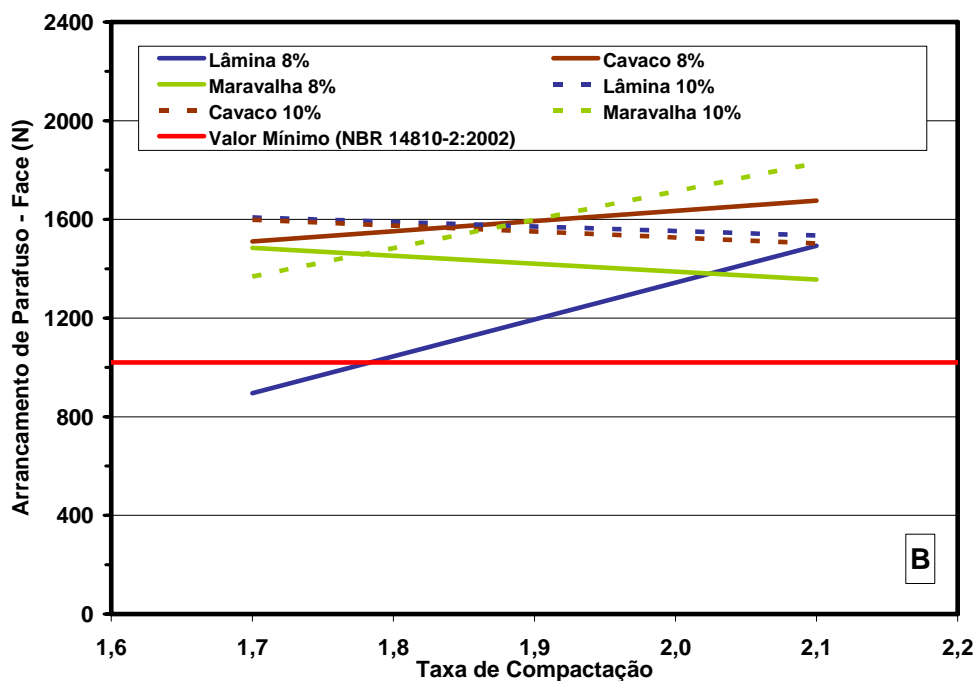
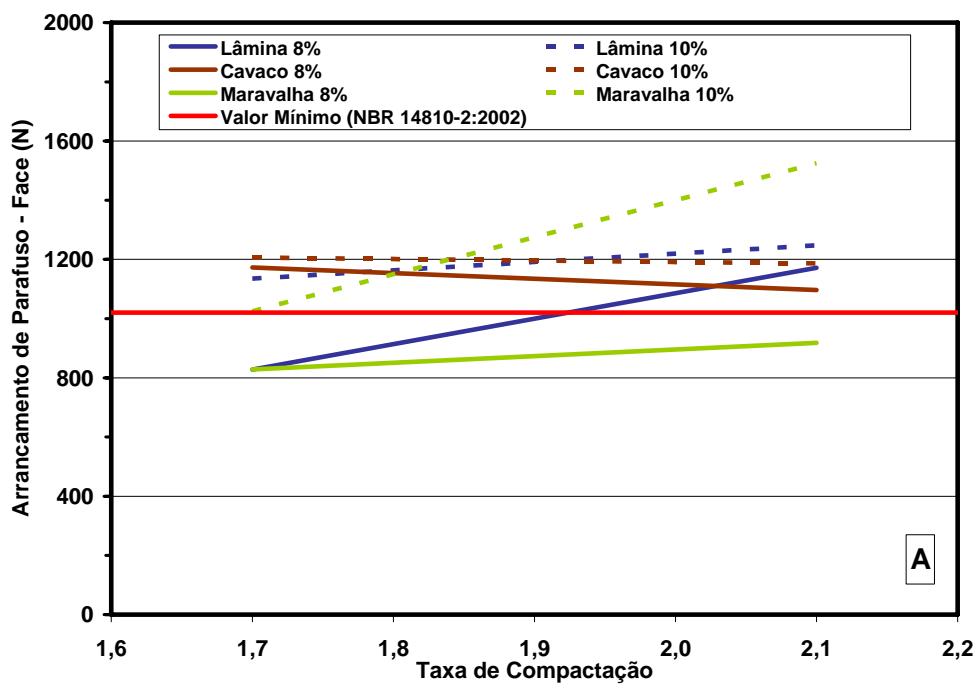


Figura 23. Resistência ao arrancamento de parafuso nos painéis aglomerados com inclusão laminar, em função da taxa de compactação; A) Adesivo silicato de sódio, B) Adesivo ureia-formaldeído.

Colli (2007) encontrou para os painéis aglomerados feitos somente de paricá e ureia-formaldeído 6% o valor de 200 N, e para os painéis feitos com ureia-formaldeído 8%, o valor de 290 N. Todos os resultados dessa pesquisa ficaram acima desses valores, exceto para os painéis feitos de partículas oriundas de maravalhas e adesivo de silicato de sódio 8% e 10%, taxa de compactação de 1,7, com e sem inclusão de lâminas.

Naumann et al. (2008), em seus estudos com painéis aglomerados, produzidos com madeira de paricá e ureia-formaldeído 8%, verificaram que a resistência ao arrancamento de parafuso apresentou valores de 7,10 N e de 6,6 N, quando eram usadas partículas derivadas de maravalhas e de cavacos, respectivamente. Os resultados dessa propriedade encontrados nessa pesquisa foram maiores do que esses valores, independentemente da condição experimental avaliada.

Bianche (2009) verificou que seus painéis aglomerados fabricados somente com partículas de paricá e ureia-formaldeído 8% apresentaram valor médio de 1376 N para a resistência ao arrancamento de parafuso. Em condições similares, nessa pesquisa foi encontrado o valor de 1069 N para tal propriedade.

4.4. Correlação entre as propriedades

Nos Quadros 25 e 26 são apresentados os coeficientes de correlação entre as propriedades físicas. Observam-se nesses Quadros correlações negativas entre a massa específica e a absorção de água após duas horas para o adesivo de silicato de sódio nos dois tipos de painéis aglomerados. Já entre a absorção de água e o inchamento em espessura, a correlação foi positiva, independentemente do tipo de painel e da classe do adesivo.

Os coeficientes de correlação entre as propriedades mecânicas e entre elas e a massa específica podem ser observados nos Quadros 27 e 28. As maiores correlações ocorreram entre o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, e entre a dureza Janka e o arrancamento de parafuso, independentemente do tipo de painel e da classe de adesivo. Nesses Quadros, constatam-se também correlações positivas entre a massa específica e a dureza Janka e com o arrancamento de parafuso, nos painéis sem inclusão laminar confeccionados com o adesivo de silicato de sódio, bem como para os painéis com inclusão laminar confeccionados com os dois adesivos.

Quadro 25. Coeficiente de correlação entre as propriedades físicas para os painéis aglomerados sem inclusão laminar

Adesivo	Propriedade	Propriedades Físicas			
		Massa específica	Absorção de água*	Inchamento em espessura*	Expansão linear
Silicato de Sódio	Massa específica	1,00	-0,82	-0,25	0,16
	Absorção de água*	-0,82	1,00	0,62	0,01
	Inchamento em espessura*	-0,25	0,62	1,00	0,46
	Expansão linear	0,16	0,01	0,46	1,00
Ureia-formaldeído	Massa específica	1,00	-0,24	-0,11	-0,34
	Absorção de água*	-0,24	1,00	0,61	0,34
	Inchamento em espessura*	-0,11	0,61	1,00	0,53
	Expansão linear	-0,34	0,34	0,53	1,00

* Absorção de água e inchamento em espessura para 2 horas.

Quadro 26. Coeficiente de correlação entre as propriedades físicas para os painéis aglomerados com inclusão laminar

Adesivo	Propriedade	Propriedades Físicas			
		Massa específica	Absorção de água*	Inchamento em espessura*	Expansão linear
Silicato de Sódio	Massa específica	1,00	-0,63	-0,42	-0,23
	Absorção de água*	-0,63	1,00	0,94	0,05
	Inchamento em espessura*	-0,42	0,94	1,00	-0,09
	Expansão linear	-0,23	0,05	-0,09	1,00
Ureia-formaldeído	Massa específica	1,00	-0,24	-0,15	0,31
	Absorção de água*	-0,24	1,00	0,69	0,02
	Inchamento em espessura*	-0,15	0,69	1,00	0,19
	Expansão linear	0,31	0,02	0,19	1,00

* Absorção de água e inchamento em espessura para 2 horas.

Quadro 27. Coeficiente de correlação entre as propriedades mecânicas e a massa específica para os painéis aglomerados sem inclusão laminar

Adesivo	Propriedade	Propriedades Mecânicas				
		Tração	MOR	MOE	Dureza Janka	Arranc. de Parafuso
Silicato de Sódio	Massa específica	0,53	0,26	0,35	0,90	0,83
	Tração	1,00	0,44	0,62	0,58	0,74
	MOR	0,44	1,00	0,71	0,26	0,29
	MOE	0,62	0,71	1,00	0,36	0,54
	Dureza Janka	0,58	0,26	0,36	1,00	0,85
	Arranc. de Parafuso	0,74	0,29	0,54	0,85	1,00
Ureia-formaldeído	Massa específica	0,26	0,21	0,04	0,36	0,11
	Tração	1,00	0,56	0,76	0,48	0,50
	MOR	0,56	1,00	0,77	0,67	0,50
	MOE	0,76	0,77	1,00	0,60	0,60
	Dureza Janka	0,48	0,67	0,60	1,00	0,74
	Arranc. de Parafuso	0,50	0,50	0,60	0,74	1,00

Quadro 28. Coeficiente de correlação entre as propriedades mecânicas e a massa específica para os painéis aglomerados com inclusão laminar

Adesivo	Propriedade	Propriedades Mecânicas				
		Tração	MOR	MOE	Dureza Janka	Arranc. de Parafuso
Silicato de Sódio	Massa específica	0,65	0,10	0,04	0,85	0,66
	Tração	1,00	0,56	0,44	0,14	0,32
	MOR	0,56	1,00	0,85	0,07	0,33
	MOE	0,44	0,85	1,00	0,05	0,31
	Dureza Janka	0,14	0,07	0,05	1,00	0,87
	Arranc. de Parafuso	0,32	0,33	0,31	0,87	1,00
Ureia-formaldeído	Massa específica	0,31	0,20	0,03	0,63	0,53
	Tração	1,00	0,31	0,05	0,44	0,33
	MOR	0,31	1,00	0,74	0,47	0,63
	MOE	0,05	0,74	1,00	0,37	0,56
	Dureza Janka	0,44	0,47	0,37	1,00	0,84
	Arranc. de Parafuso	0,33	0,63	0,56	0,84	1,00

5. CONCLUSÕES

Os resíduos da indústria laminadora podem ser usados como matéria-prima para a produção de painéis aglomerados.

É possível a inclusão de lâminas na composição estrutural dos painéis aglomerados com a finalidade de melhorar algumas de suas propriedades tecnológicas.

As partículas provenientes de cavacos mostraram menor coeficiente de esbeltez.

A média para a umidade de equilíbrio higroscópico de todos os painéis ficou dentro da faixa aceitável para comercialização.

A inclusão de lâminas reduziu a absorção de água e o inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão.

A resistência à tração perpendicular (ligação interna) foi influenciada pelo tipo de adesivo.

A inclusão de lâminas contribuiu para aumentar o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade dos painéis.

O aumento na absorção de água após duas horas de imersão originou um aumento no inchamento em espessura, independentemente do tipo de painel e da classe de adesivo.

O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade, bem como a dureza Janka e o arrancamento de parafuso, tiveram correlação positiva independentemente do tipo de painel e da classe de adesivo.

O adesivo de silicato de sódio foi mais hidrofílico do que o adesivo de ureia-formaldeído, não devendo ser utilizado em painéis que serão colocados em ambiente externo.

O tipo de resíduo influenciou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Os painéis feitos de partículas provenientes de cavacos apresentaram, de forma geral, as melhores propriedades.

Os painéis confeccionados com partículas oriundas de cavacos, coladas com o 8% do adesivo de ureia-formaldeído, com a inclusão de lâminas na face e contraface, com 1,7 de taxa de compactação, satisfizeram a maioria dos requisitos das normas, resultando em uma economia de adesivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD – ANS. Mat-formed wood particleboard: Specification ANSI/A 208.1. 1999. Gaithersburg: National Particleboard Association, 1999. 9p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panels materials. ASTM D 1037-99. Philadelphia: ASTM, v.04.09, 1999. (Annual Book of ASTM Standards).

ANDRADE, A. U. Tecnologias modernas para a fabricação de compensados. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL, 1., 1992, Manaus. Anais... Manaus: p 117-123. 1992.

Anuário Estatístico da ABRAF – Ano base 2009. Brasília, 140 p. 2010.
ARIMA, E, VERÍSSIMO, A, SOUZA JR, C. A. Atividade Madeireira e Desmatamento na Amazônia. IICA - Embrapa, 56 p. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Chapas de madeira aglomerada. ABNT. NBR 14810-1,2,3. Março, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. (ABIMCI) Disponível no site: www.abimci.com.br. Acesso em dezembro de 2009.

Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA) Relatório Setorial. São Paulo, 28p. 2009.

Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA). Disponível no site: www.abipa.com.br. Acesso em maio de 2010.

AZEVEDO, P. S. Processamento de colagem de resíduos do processamento da caixeta para a produção de pequenos objetos de madeira. Dissertação Mestrado – Esalq, Universidade de São Paulo., Piracicaba (SP), 78 p. 2002.

BANZATTO, D.; KRONKA, S.N. Experimentação Agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 247 p. 1995.

BIANCHE, J. J. Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). Dissertação de Mestrado – UFV, Viçosa, 93 p. 2009.

BODIG, J., JAYNE, B.A. Mechanics of wood and wood products. New York: N. Reinhold, 712p.1982.

BONDUELLE, G.M.; CHIES, D.; MARTINS, D.G. O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná, analisado através dos rendimento e dos resíduos gerados. 2004. Disponível em < <http://www.remade.com.br> > Acesso em: abril de 2010.

BRAND, M. A, HASSEGAWA, M. Determinação da quantidade de resíduos madeiráveis gerados nas indústrias madeireiras em um raio de 150 km do município de Otacílio Costa. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 67 p. 2005.

BRAND, M. A., KLOCK, U., NUÑIZ, G. I. B., SILVA, D. A. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.553-562, 2004.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. Revista da Madeira, Curitiba, v.26, p.34-39, 1996.

BRUNO, E.G. Painéis facilitam usinagem na fabricação moveleira. Revista da Madeira – REMADE, ano 18, número 109, Lettech Editora e Gráfica Ltda. Curitiba, Paraná, Brasil. p. 48-50, dez/2007.

CABRAL, C. P. T. Propriedades de chapas tipo aglomerado e OSB, fabricadas com partículas e flocos de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 92 f. 2005.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DaCOSTA, L. P. E.; HILLIG, C. P. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193-204, jan./jun. 2004.

CALEGARI, L. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 4, p. 57-63, out./dez. 2007.

COLLI, A. Caracterização da Madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e Propriedades de Chapas de Partículas Aglomeradas com Diferentes Proporções de Fibras de Coco (*Cocos nucifera* L.) Dissertação de Mestrado – UFV, Viçosa, 50f. 2007.

DACOSTA, L. P. E., HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J., SHNEIDER, P. R., CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* (Engelm.). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.15, n.3, p. 311-322, 2005.

DAÍ, C., WASYLCIW, W., JIN., J. Comparison of the pressing behaviour of Wood particleboard and strawboard, *Wood Sci. Technol.*, n. 38, p.529-537, 2004.

EKONO. Power and heat plants . Estudo preparado para a FAO, portfólio de indústrias florestais de pequeno porte para os países em desenvolvimento. Finlândia: 1980.

FERREIRA, A. B. H. Dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Editora Positivo, 976 p. 2009.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION - FAO Yearbook of forest products. Rome, 243p. 2009. (FAO Forestry Series, n.34; FAO Statistics Series, n.157)

GEIMER, R. L.; PRICE, E. W. Construction variables considered in the fabrication of structural flakeboard. In: STRUCTURAL FLAKEBOARD FROM FOREST RESIDUES: SYMPOSIUM PRESENTED BY THE USDA FOREST SERVICE, Kansas City. Proceedings... Washington: Forest Service. Department of Agriculture, p.69-80, 1978.

GERWING, J, VIDAL, E, VERÍSSIMO, A, UHL, C. Rendimento no Processamento de Madeira no Estado do Pará. *Série Amazônia*, n.18. Belém: Imazon, 38 p. 2001.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Livraria Nobel. S.A., 468 p.1990.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZERRA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

INEOS SÍLICAS. Silicatos solúveis. 2007.

Disponível em: <http://www.ineossilicas.com>. Acesso 15. Mar. 2010

INSTITUTO PRÓ-NATURA. *Manejo Florestal e Geração de Resíduos no Pará*: Instituto Pró-Natura, 26 p. 2007.

IWAKIRI, S.; COSTA, A. F.; KLITZKE, R. J.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R.; NIEFE, I. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm com inclusão laminar. *Revista CERNE*, Lavras, v. 5, n. 2, p. 86-94, 1999.

IWAKIRI, S., CUNHA, A. B., ALBUQUERQUE, C. E. C., GORNIK, E., MENDES, L. M., Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. *Scientia Agraria*, Editora da UFPR, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 254 p. 2005.

IWAKIRI, S.; METO A. R.; ALMEIDA, B. C.; BIASI. C. P.; CHIES, D. Avaliação do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v.16, n.4, p.437-443, 2006.

KELLY, M. W. Critical Literature Review of Relationships Between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboard. USDA Forest Service General Technical Reports, FPL, v. 10, 65p. 1977.

KOCK, P. Material balances and energy required for manufacture of ten wood commodities. ENERGY and the wood products industry. Georgia: Forest Products Research Society, 173p. 1976.

LATORRACA, J.V.F. *Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira. (Tese de Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 191p. 2000.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2ª edição. Editora Plantarium, Nova Odessa, São Paulo, 352 p. 1998.

MACIEL, A. S. Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato. (Tese de Doutorado), UFV, Viçosa, 115f, 2001.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. Miller Freeman: San Francisco, USA, 696 p. 1993.

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

MARRA, F. S. Technology of wood bonding – Principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold. 453p. 1992.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: Panorama e perspectivas - BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

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

MENDES, L. M. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). (Tese de Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, PR. 181 p. 2001.

MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. In: KITANI, O.; HALL, C.W. (Eds.) Biomass handbook. New York: Gordon and Breach Science Publishers, p. 160-170. 1989.

MOSLEMI, A . A . Particleboard. Carbondale, Southern Illinois University Press, 1^o vol., 243p. 1974.

NAUMANN, R. B.; VITAL, B.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. Revista Árvore, Viçosa, MG, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.

OLANDOSKI, D. P. Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústrias de chapas compensadas. (Dissertação Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 85f. 2001.

OKINO, E. Y. A. Resistência física mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, jul./dez. 1997.

PEREYRA, O. Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados. (Dissertação – Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Piracicaba: USP/ESALQ. 119p. 1993.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. Handbook of adhesive technology. New York: Marcell Deckker, 680 p. 1994.

POLZL, W. B. Eficiência produtiva e econômica do segmento industrial da madeira compensada no Estado do Paraná. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 114 p. 2002.

Revista Globo Rural – Madeira legal, Editora Globo, Edição 292, Fev/2010.

RIBEIRO, JÚNIOR, J. I. Análises Estatísticas no SAEG. Viçosa: UFV, 301p. 2001.

SANTANA, M. A. E. , PASTORE J. F. Adesivo de tanino-formaldeído para aglomerados. Brasília. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1981. (Série técnica, 2).

SHREVE, R. N. Indústrias de Processos Químicos. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 64 p. 1980.

SILVA, D. A. Avaliação da eficiência energética de uma indústria de painéis compensados. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 205f. 2001.

SILVA, J. C. A madeira como matéria-prima para a indústria moveleira. Universidade Federal de Viçosa, In: apostila. 56p. 2006.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 52, p. 29-34, jul./dez. 1997.

TOMASELLI, I. Introdução de espécies pouco conhecidas na indústria de compensados da Amazônia. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL, 1., Manaus. Anais... Manaus: p 73-94, 1992.

TSOUMIS, G. Science and Technology of Wood – Structure, Properties, Utilization. Chapman & Hall. New York. 494p. 1991.

VICK, C. B. Adhesive Bonding of Wood Materials. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. 1999.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. Estatística Experimental. São Paulo: Atlas S.A., 179 p.1988.

VITAL, B. R. Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard.. 111f. These (Master of Science - Forestry) - University of Wisconsin, Madison, 1973.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da Madeira. Viçosa, UFV, 1984 (Boletim técnico, 1).

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

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. Forest Products Laboratory. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. cap.10, p.224-254, 1999.

ZUGMAN, I. C. Painel geral sobre a produção de compensados. Revista Silvicultura, ano XV(15), mai/jun. p.12-18, 1994.