

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA AFONSO PINTO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DA MADEIRA
DE “*Cryptomeria japonica*” PARA LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE
PAINÉIS COMPENSADO**

CURITIBA
2011

JULIANA AFONSO PINTO

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DA MADEIRA DE "*Cryptomeria japonica*" PARA LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:
Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientadores:
Prof^o. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Prof^o. Dr. José Guilherme Prata

CURITIBA
2011

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Pinto, Juliana Afonso

Análise da viabilidade do uso da madeira de "*Cryptomeria japonica*" para laminação e produção de painéis compensado / Juliana Afonso Pinto – 2012. 92 fls. : il.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientadores: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Prof. Dr. José Guilherme Prata

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Compensados de madeira - Testes. 2. Lâminas de madeira. 3. Teses. I. Iwakiri, Setsuo. II. Matos, Jorge Luis Monteiro de. III. Prata, José Guilherme. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

CDD – 674.834

CDU – 634.0.832.282

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Joelton
Aos meus pais Rogério e Vera
Ao meu irmão Aloísio

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por guiar minha vida e sempre colocar no meu caminho pessoas especiais que me ajudam e me apóiam na minha trajetória.

A minha mãe por ser uma amiga e pela sua total doação para minha educação. Ao meu pai, pelo amor e constante interesse em entender minha profissão. Ao meu irmão querido, que me faz querer ter dois filhos para que eles possam ter a mesma alegria e felicidade que tenho por ter um irmão.

Ao meu Amor, Joelton, que tem muita paciência comigo, pelo suporte durante o desenvolvimento da dissertação e por ser a pessoa que mais aposta no meu potencial. À família dele, por me acolher e me fazer sentir da própria família.

A Empresa MADEM SA, por ter cedido o material para a pesquisa e, gentilmente, enviou informações sobre o plantio.

Um especial agradecimento ao meu Orientador, Prof^o Setsuo Iwakiri, pela paciência, direcionamento e oportunidade de estudo apresentada. Ao Prof^o Jorge de Matos, pelo apoio para que os ensaios fossem concluídos com prioridade, ao Prof^o José Guilherme Prata pelo suporte e contribuição, principalmente, nos últimos momentos da conclusão do estudo. A Prof. Graciela, a Prof. Ghislaine e ao Prof.^o Umberto Klock pelo carinho e o apoio de sempre.

Aos Sr. Ademir pelo suporte na preparação dos painéis e Sr. Vitor pelo trabalho na marcenaria. A Leandro Soares pela intensa e dedicada colaboração na preparação do material para ensaios.

A Rosilani Trianoski pela imensurável contribuição e por sempre estar disponível para me ajudar, meu muito obrigada.

Aos colegas Mayara Carneiro e Thiago Silva pelas contribuições durante o desenvolvimento do estudo.

A Arthur Leidens, diretor da empresa INDEX-IBL, que sempre me apoiou no desenvolvimento do mestrado. Agradeço sua compreensão durante minha ausência e interesse pelo estudo. É um grande inspirador para eu enfrentar os desafios profissionais.

Aos amigos, que fizeram desta etapa mais leve e divertida e torceram para que eu terminasse este estudo. Um agradecimento especial a minha amiga fiel Luciane Paes Torquato, grande incentivadora para eu iniciar o mestrado.

BIOGRAFIA

Juliana Afonso Pinto graduada em 2003 no curso de Engenharia Industrial Madeireira pela Universidade Federal do Paraná, com período de 5 meses na França, sendo 3 meses na Escola Superior da Madeira – ESB e 2 meses de estágio no porto Atlantique Nantes Saint-Nazaire, desenvolvendo um estudo de mercado a respeito da possibilidade dos fornecedores brasileiros atenderem às normas europeias que entrariam em vigor em 2004. Concluiu a pós-graduação em Negócios Internacionais pela FAE Business School em 2006. Experiência profissional como consultora técnica trainee pela empresa STCP Engenharia de Projetos, assessora técnica da Associação Brasileira de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) por 4 anos e desde fevereiro de 2009 atua como Gerente da Qualidade no escritório de *Sourcing* da América do Sul do grupo Kingfisher. Experiência em garantia e controle de qualidade em indústrias de painéis, pisos e móveis de madeira.

RESUMO

O Brasil se destaca no cenário mundial na produção de painéis de madeira compensada com espécies plantadas de rápido crescimento e com espécies tropicais oriundas de manejo florestal, tendo como principal destino das exportações os países da comunidade europeia. A *Cryptomeria japonica* é uma espécie de bastante destaque no Japão e conhecida no mercado internacional, no Brasil há plantios na região sul e sudeste, demonstrando grande potencial silvicultural, no entanto, não há muitos estudos para a utilização desta madeira provenientes dos nossos plantios florestais em painéis de madeira compensada. Dentro deste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da utilização da criptomeria em lâminas e em painéis de madeira compensada. A metodologia empregada iniciou com a determinação do rendimento da laminação e na sequência, a análise dos painéis através das Normas Europeias EN, considerando que o mercado europeu é principal destino de nossas exportações. A avaliação das propriedades físico-mecânicas contemplou a verificação da flexão estática na direção paralela e perpendicular, cisalhamento de linha de cola e densidade. A amostragem envolveu 3 árvores, sendo retirado 9 toretes de cada árvore. Para a produção dos painéis foram testados painéis de colagem fenol-formaldeído e ureia-formaldeído, com a variação da gramatura de 270 g/m² e 300 g/m² nas composições de painéis de alburno, cerne e mistos. O rendimento da laminação apresentou resultado satisfatório quando comparado a outras espécies, demonstrando viabilidade da utilização da criptomeria na obtenção de lâminas. Os valores médios de flexão estática atenderam aos requisitos da norma. Os resultados dos ensaios de cisalhamento revelaram a necessidade de ajustes na formulação de batida de cola e no desenvolvimento do processo de produção, uma vez que os painéis de colagem uréica não cumpriram com as exigências da norma EN 314-2 e os painéis de colagem fenólica cumpriram somente no tratamento a seco e no pré-tratamento 24 horas em água a temperatura ambiente. A densidade dos painéis foram inferiores aos painéis de pinus e superiores aos painéis de paricá. A variação da gramatura não teve influência nos resultados de flexão estática, cisalhamento na linha de cola e densidade. Para as composições, em geral, os painéis de alburno e mistos foram os que apresentaram os melhores resultados. O estudo demonstrou potencial desta espécie para produção de painéis de madeira compensada.

Palavras Chaves: *Cryptomeria japonica*. Painel Compensado. Rendimento da laminação. Ensaio físico-mecânico.

ABSTRACT

Brazil is a great producer not only with planted species with fast growth but also with tropical species of forest management. Most of production is exported to Europe. The *Cryptomeria japonica* is a key specie in Japan and known in the international market. In Brazil there are plantations in the south and southeast region; however there are not many studies for its utilization as plywood panels. Within this context, this study had as objective to analyze the viability of using the criptomeria in veneers and plywood panels. The methodology applied has started with the determination of the peeling yield followed by the panels analysis under the European Norms EN, once European market is the main export destination of the Brazilian plywood panels. The evaluation of the physical-mechanic properties involved bending verification in the parallel and perpendicular direction, bonding quality and density. The sampling involved 3 trees, where 9 logs have been taken from each tree. For the production of the panels, it has considered the phenol formaldehyde and ureic formaldehyde glue, with glue quantity variation of 270 g/m² and 300 g/m² in the panels composition of sapwood, heartwood and mixed. The peeling yield has obtained a satisfactory result when compared with other species, demonstrating viability of using the criptomeria for veneers. The bending average values have fulfilled the EN requirements. The bonding quality results shows the need for adjustments in the glue mixture and improvements in the production process, since the ureic panels have not complied with EN314-2 requirements and the phenolic panels have fulfilled only in the dry treatment and in the pre-treatment 24 hours in cold water. The density of the panels was lower compared to the pine panels and higher to the parica panels' density. The results of bending, bonding quality and density have not been affected by the glue quantity variation. Regarding composition, sapwood and mixed panels have presented the best results in general. The study demonstrated the criptomeria potential in the plywood panel production.

Key Words: *Cryptomeria japonica*. Plywood. Yield of peeling. Phisical-mechanical tests.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– TORETES ANTES DA LAMINAÇÃO.....	40
FIGURA 2	– TORETE ARREDONDADO.....	42
FIGURA 3	– LÂMINAS OBTIDAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO.....	43
FIGURA 4	– DELINEAMENTO PARA PAINÉIS COMPENSADOS COLADOS COM RESINA UREIA FORMALDEÍDO.....	47
FIGURA 5	– DELINEAMENTO PARA PAINÉIS COMPENSADOS COLADOS COM RESINA FENOL FORMALDEÍDO.....	47
FIGURA 6	– PREPARAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	50
FIGURA 7	– CORPOS DE PROVA.....	51
FIGURA 8	– ESQUEMA PLANO DE CORTE DOS CORPOS DE PROVA.....	52
FIGURA 9	– EXECUÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	56
FIGURA 10	– ANÁLISE DO DESFIBRAMENTO DA MADEIRA.....	57
FIGURA 11	– GRÁFICO DO RENDIMENTO NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO.....	61
FIGURA 12	– DISPERSÃO DOS VALORES OBTIDOS NA LAMINAÇÃO.	62
FIGURA 13	– GRÁFICO DAS PERDAS PERCENTUAIS NO PROCESSO LAMINAÇÃO.....	63
FIGURA 14	– PORCENTAGEM DE LÂMINAS PARA CADA CLASSIFICAÇÃO.....	66
FIGURA 15	– LÂMINAS DE CERNE, ALBURNO E MISTAS.....	66
FIGURA 16	– INFLUÊNCIA DA RESINA E DIREÇÃO SOBRE O MOE.....	70
FIGURA 17	– INFLUÊNCIA DA RESINA E DIREÇÃO SOBRE O MOR.....	70
FIGURA 18	– CORPOS DE PROVA DE FLEXÃO ESTÁTICA APÓS ENSAIO.....	73
FIGURA 19	– NÚMERO DE CORPOS DE PROVA APROVADOS NA VERIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE COLAGEM DOS PAINÉIS URÉICOS.....	78

FIGURA 20	NÚMERO DE CORPOS DE PROVA APROVADOS NA VERIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE COLAGEM DOS PAINÉIS FENÓLICOS.....	79
FIGURA 21	CORPO DE PROVA TESTADO PROPRIEDADE QUALIDADE DE COLAGEM.....	80
FIGURA 22	RESULTADO MÉDIO DA DENSIDADE ENTRE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DOS PAINÉIS.....	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– REQUISITOS PARA TEOR DE UMIDADE ESTABELECIDO PELO PNQM	25
TABELA 2	– GRAMATURA EM g/m ² RECOMENDADA PARA APLICAÇÃO DO ADESIVO.....	27
TABELA 3	– CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COMPENSADO ESTRUTURAIS DE ACORDO COM AS NORMAS EUROPEIAS.....	36
TABELA 4	– CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COMPENSADO NÃO ESTRUTURAIS DE ACORDO COM AS NORMAS EUROPEIAS.....	37
TABELA 5	– NORMAS DA ABNT PARA PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA.....	38
TABELA 6	– EXIGÊNCIAS PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE COLAGEM.....	39
TABELA 7	– NUMERAÇÃO TORETES.....	41
TABELA 8	– PROPORÇÃO INSUMOS BATIDA DE COLA.....	49
TABELA 9	– REQUISITOS PARA OS PARÂMETROS DE Prensagem	50
TABELA 10	– CONTROLE DE ENSAIOS – PROPRIEDADES BÁSICAS...	51
TABELA 11	– DIÂMETROS DOS TORETES APÓS ARREDONDAMENTO E DO ROLO RESTO.....	60
TABELA 12	– FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR – COLAGEM URÉICA.....	68
TABELA 13	– FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR – COLAGEM FENÓLICA.....	69
TABELA 14	– INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA.....	71
TABELA 15	– INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL DE COLAGEM URÉICA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA.....	72
TABELA 16	– INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL DE COLAGEM FENÓLICA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA.....	72

TABELA 17	– CISALHAMENTO – VALORES DE TENSÃO N/mm ² – COLAGEM URÉICA.....	76
TABELA 18	– CISALHAMENTO – VALORES DE TENSÃO N/mm ² – COLAGEM FENÓLICA.....	76
TABELA 19	– INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	77
TABELA 20	– INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL NA PROPRIEDADE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	77
TABELA 21	– VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DOS PAINÉIS UF.....	81
TABELA 22	– VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DOS PAINÉIS FF.....	81
TABELA 23	– INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE DENSIDADE.....	82

LISTA DE SIGLAS

ABIMCI	– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE
ABNT	– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
BNDES	– BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL
EN	– EUROPEAN NORM
FEIC	– EUROPEAN FEDERATION OF THE PLYWOOD INDUSTRY
FF	– FENOL-FORMALDEÍDO
LTM	– LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA
MOE	– MÓDULO DE ELASTICIDADE
MOR	– MÓDULO DE RUPTURA
PNQM	– PROGRAMA NACIONAL DE QUALIDADE DA MADEIRA
UF	– UREIA-FORMALDEÍDO
UFPR	– UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	<i>Cryptomeria japonica</i>	18
3.2	PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA.....	20
3.3	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS.....	22
3.3.1	Produção de lâminas torneadas.....	22
3.3.2	Produção de painéis compensados.....	26
3.4	FATORES QUE AFETAM A COLAGEM DOS PAINÉIS.....	29
3.4.1	Propriedades Anatômicas.....	29
3.4.2	Propriedades físicas.....	31
3.4.3	Propriedades químicas.....	32
3.4.4	Propriedades mecânicas.....	32
3.4.5	Propriedades da superfície da madeira.....	33
3.4.6	Características dos adesivos.....	33
3.4.7	Procedimentos empregados na colagem.....	35
3.5	APLICAÇÕES.....	36
3.6	NORMAS.....	37
4	MATERIAL E MÉTODO	39
4.1	COLETA DE MATERIAL.....	39
4.2	LAMINAÇÃO DAS TORAS.....	41
4.2.1	Cálculo do rendimento.....	43
4.2.2	Cálculo das perdas.....	44
4.3	PLANO EXPERIMENTAL.....	46
4.4	MANUFATURA DE PAINÉIS COMPENSADOS.....	48
4.4.1	Secagem das lâminas.....	48
4.4.2	Preparação da cola.....	48
4.4.3	Assemblagem.....	49
4.4.4	Prensagem.....	50
4.5	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	51
4.6	ENSAIOS.....	53
4.7	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICO MECÂNICOS.....	54
4.7.1	Flexão estática.....	54
4.7.2	Cisalhamento de linha de cola.....	56
4.7.3	Densidade.....	58
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO.....	59
5.1.1	Classificação das lâminas.....	65
5.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	68
5.2.1	Flexão estática.....	68
5.2.2	Cisalhamento de linha de cola.....	75
5.3	DENSIDADE.....	80
6	CONCLUSÃO	84
7	RECOMENDAÇÕES	86

REFERÊNCIAS	87
ANEXOS.....	92

1. INTRODUÇÃO

Existe uma forte pressão ambiental para o uso de madeiras de origem legal e ambientalmente sustentável. Para tanto, o uso de painéis de madeira compensada possibilita maior aproveitamento da madeira, tornando um produto mais sustentável quando comparado à madeira serrada. Além disso, tem-se observado um aumento de áreas com certificação florestal no Brasil.

O uso do painel de madeira compensada vem desde o início do século XX, e é um produto que tem se desenvolvido ao longo dos anos não somente em tecnologia de equipamentos, mas também em processo de produção. É um painel de fácil manuseio, alta estabilidade dimensional, com uma grande variedade de aplicações, leve, mas resistente.

No Brasil, além das espécies tropicais, os painéis compensados são produzidos de madeira de pinus, eucalipto e, recentemente, por paricá, uma espécie tropical, com vasta área plantada no norte do Brasil. Estas três espécies possuem rápido crescimento.

A base de indústria de painéis compensados nacional é fragmentada e de gestão familiar, mas esta base produtiva inclui empresas que possuem alta tecnologia, que proporciona uma alta produtividade. Para as outras empresas que não são dotadas de alta tecnologia, permanece a possibilidade de flexibilizar na produção, atendendo demandas específicas de mercado.

O Brasil é um grande produtor de compensados, se destacando não somente dentro da América do Sul, mas a nível mundial. O principal destino dos nossos painéis é a Europa, mais de 65% da produção de compensado de pinus fenólico foi exportada para Alemanha, Bélgica, Reino Unido, Itália e Turquia no ano de 2010. Por esta razão, as normas europeias foram utilizadas nesta pesquisa para execução dos ensaios e análise dos resultados.

Apesar de dados da FEIC (2010) apresentarem que a produção nacional de compensado de madeira tropical reduziu 28% e o compensado de pinus 15% em 2009, existe uma expectativa de aumento da demanda devido às Olimpíadas e Copa do Mundo nos próximos anos.

A *Cryptomeria japonica*, comumente conhecida como cedrinho japonês, é uma espécie exótica com plantios no sul e sudeste do Brasil, mas que ainda não está sendo utilizada comercialmente. Já existem alguns estudos sobre o plantio e análise da madeira, principalmente considerando seu uso para produção de papel celulose. Porém, estudos destes plantios para aplicação em painéis não foram identificados e esta foi uma das razões que esta pesquisa foi impulsionada.

Pelas características da madeira, verifica-se uma pré-disposição da espécie para sua utilização em painéis compensados, em virtude da baixa densidade que facilita o processo de laminação, coloração do cerne marrom avermelhado, que valoriza sua utilização em lâminas decorativas. Outro ponto importante é que a madeira é oriunda de florestas plantadas e apresenta rápido crescimento, sendo uma vantagem competitiva quando comparada com as madeiras tropicais que sofrem com burocracia para liberação do manejo florestal.

O fato é que novas alternativas de matéria-prima devem ser estudadas e *Cryptomeria japonica* é uma espécie já conhecida no mercado internacional facilitando sua comercialização pelos fabricantes nacionais. Adiciona-se que a lâmina de cerne possui uma coloração apreciada no mercado internacional, podendo ser utilizada em móveis.

2. OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade tecnológica do uso da madeira de espécie *Cryptomeria japonica* para a produção de lâminas e painel compensado.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinação do rendimento das toras para produção de lâminas em torno desfolhador;
- b) Avaliar o efeito da gramatura nas propriedades de flexão estática, cisalhamento e densidade dos painéis produzidos com resina ureia-formaldeído e fenol-formaldeído;
- c) Avaliar o efeito da composição dos painéis com lâminas de alburno, cerne e combinação alburno e cerne (painéis mistos) nas propriedades de flexão estática, cisalhamento e densidade dos painéis produzidos com resina ureia-formaldeído e fenol-formaldeído.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Cryptomeria japonica*

A *Cryptomeria japonica* é uma conífera pertencente à família Taxodiaceae, originária da região temperada do Japão onde é comumente chamada de “sugi”, sendo também conhecida como criptomeria, cedro japonês, cedrinho japonês. Park e Fushitani (2006) descreveram que as árvores de “sugi” são as espécies mais

comuns encontradas nas florestas japonesas. O Cedro japonês (*Cryptomeria japonica* D. Don) é historicamente uma das espécies mais comuns usadas para reflorestamento e no Japão (ZHU *et al*, 2005).

Gérard *et al* (2008) apresentam a *Cryptomeria japonica* como sendo uma madeira de cerne marrom avermelhado, de alburno claramente demarcado de coloração amarelo claro. Madeira de textura fina, grã reta, com presença de nós. Não é recomendado seu uso caso a madeira seja submetida temporariamente ou constantemente em ambientes úmidos. Apresenta boa laminação sendo recomendada para painéis de uso interno.

Ishiguri *et al* (2003) apresentam a sugi com uma gimnosperma de belíssima coloração de cerne e que tem sido amplamente utilizada em vários setores da indústria de madeira e o seu valor é frequentemente influenciado pela cor do cerne.

No Brasil, Carpanezi *et al* (1988) relatam que a criptomeria tem sido plantada comercialmente há décadas, em pequena escala, em Caieiras-SP (750 a 1.000 m de altitude) e em Camanducaia, na Serra da Mantiqueira, no sul de Minas Gerais (cerca de 1.500 m de altitude). Seu crescimento é muito influenciado por fatores edáficos; em sítios ótimos e restritos (grotões), no Brasil, há registro de incremento de até 45 m³/ha.ano. Sua madeira, com densidade 0,40 g/cm³, é de alta qualidade, podendo ser usada para serrados em geral.

Carneiro *et al* (2009) estudaram as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas da *Cryptomeria japonica* plantadas no Planalto Catarinense de 14 anos de idade. Detectaram traqueoides com comprimento e diâmetro do lume ligeiramente inferiores aos observados em outros estudos com a mesma espécie. A massa específica encontrada foi inferior em relação a outros estudos, sendo argumentado que este fato é o resultado da idade e de um crescimento mais acelerado da espécie na condição estudada. De maneira geral, a madeira apresentou-se com maior anisotropia de contração que as madeiras do gênero *Pinus*

com idade próxima e menores propriedades mecânicas que outros estudos da mesma espécie. Concluíram que os valores encontrados indicam uma madeira não adequada para fins estruturais ou mesmo usos que requeiram dureza superficial, como em pisos de madeira. Acrescentaram que as características da madeira juvenil apresentaram-se promissoras tanto em aspectos anatômicos e físicos quanto mecânicos.

Park *et al* (2006) estudaram painéis de madeira laminada de construção cruzada de três camadas para avaliar o desempenho da propriedade flexão estática, levando em consideração a variação da espessura da lâmina de miolo em relação à espessura total do painel. Os painéis foram produzidos com lâminas de criptomeria de densidade entre 0.358 e 0.417 mg/m³, colados com resina tipo resorcinol-formaldeído, com uma gramatura de 300 g/m². Concluíram que painéis de madeira laminada de construção cruzada foram possíveis de serem produzidos com a madeira de sugi, mesmo apresentando baixa densidade. Sugeriram que os painéis laminados de construção cruzada tenham em torno de 70% da espessura de lâmina de miolo, quando um comportamento isotrópico na resistência à flexão é demandado.

3.2 PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

O painel de madeira compensada é um produto construído inteiramente ou principalmente por lâminas. É um painel composto por um número ímpar de camadas com a direção das fibras das camadas adjacentes orientadas perpendicularmente uma ao outro. Uma camada pode consistir em uma lâmina ou de duas ou mais lâminas dispostas com a grã na direção paralela. As lâminas externas são chamadas de capa e contracapa. As lâminas internas são as outras além da capa e contracapa. (STARK *et al*, 2007).

Iwakiri (2005) reforça também que o princípio de construção de compensado é o da laminação cruzada, em que as lâminas são sobrepostas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes. Thoemen *et al* (2010) justifica que a necessidade por ter um número ímpar de lâminas é devido ao fato da madeira ser um material anisotrópico, possuindo diferentes propriedades nas direções longitudinal, radial e tangencial.

BNDES (2008), intitulado Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectivas, descreve que os compensados abrangem os seguintes tipos:

- a) Multilaminado – lâminas de madeira sobrepostas em número ímpar de camadas coladas de forma cruzada;
- b) Sarrafeado ou *blockboard* – tem o miolo composto de sarrafos e as capas com lâminas de madeira. Conta com camadas de transição compostas de lâminas coladas perpendicularmente aos sarrafos e às capas; e
- c) *Three-ply* ou compensado de madeira maciça – constituído de três camadas cruzadas de sarrafos colados lateralmente. Podem ser usados *clears* com emendas *finger-joints*.

Estes painéis podem ser produzidos por espécies plantadas de rápido crescimento, como por exemplo, o pinus, eucalyptus e o paricá, que é uma espécie tropical, ou por espécies oriundas de manejo florestal sustentado das florestas tropicais.

Gay (2001) apresenta os benefícios do painel compensado destacando que é um produto de inúmeras aplicações e é mais estável quando comparado à madeira maciça, apresentando baixíssima variação no comprimento e largura, além de ter baixo inchamento em espessura. Apesar de ser sensível aos ataques biológicos, sua duração é superior quando comparada à madeira serrada. Ressalta também que o compensado tem propriedades elevadas e boa resistência mecânica, mesmo apresentando peso leve. É um material técnico bastante elaborado, homogêneo,

rígido, mas flexível, leve e fácil de implementar, justificando, desta maneira, suas mais variadas possibilidades de aplicações.

Com relação à estabilidade dimensional mencionada por Gay (2001), Iwakiri (2005) descreve também como sendo um dos benefícios resultantes do princípio de fabricação do compensado.

Park *et al* (2006) descrevem que recentemente os painéis de lâminas cruzadas têm sido desenvolvidos e usados para aplicações como paredes e piso em madeira de construção. Além disso, é esperado que estes painéis sejam superiores em estabilidade dimensional e resistência ao empenamento. Expõem que é esperado que os painéis de madeira laminadas cruzadas possuam superior estabilidade e resistência ao empenamento.

Sellers (1985) descreve que o compensado continua a se revelar de grande valor para fabricação de móveis finos e outros produtos de estética onde as propriedades estruturais de móveis finos e outros produtos de estética onde as propriedades estruturais são menos importantes, assim como sua crescente importância nas pesquisas e utilização para aplicação na construção ou na área industrial.

3.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS

3.3.1 Produção de lâminas torneadas

A qualidade do compensado depende amplamente da qualidade das lâminas. A obtenção de lâminas de boa qualidade exige um equipamento bem mantido e toras em condições facilitadas para o corte ao máximo. A força da madeira é dependente do seu teor de umidade e por esta razão as toras devem ser

mantidas úmidas e com teor de umidade certamente superior ao seu ponto de saturação das fibras. A condição de toras úmidas previne rachaduras permitindo a obtenção de lâminas contínuas (THOEMEN *et al*, 2010).

Para o Programa Nacional de Qualidade da Madeira o cozimento é uma etapa não obrigatória na produção de lâminas para madeiras de densidade inferior a 500 kg/m^3 , no entanto a realização do cozimento melhora a qualidade das lâminas, no que diz respeito à aspereza da superfície, fendas superficiais, lâminas rugosas e felpudas.

Thoemen *et al* (2010) descrevem que nem sempre o processo de aquecimento das toras é aplicado, mas que é necessário para espécies de alta densidade ou quando lâminas finas são demandadas.

Ainda de acordo com Thoemen *et al* (2010) este aquecimento pode ser aplicado através de vapor, água quente ou a combinação das duas opções. A aplicação somente de vapor pode acarretar em risco das toras começarem a secar e racharem e a água quente minimiza este efeito.

Prata (2006) menciona que o cozimento das toras é realizado para elasticizar a madeira, favorecendo o melhor acabamento nas superfícies das lâminas e facilitando no processo de laminação. Fatores como tempo de cozimento das toras, o teor de umidade e temperatura no ato da laminação, regulação do torno, a densidade da madeira, e a manutenção do torno como a substituição das facas no tempo correto influenciam diretamente na qualidade das lâminas.

Umaña e Brito (2004) expõe que o aquecimento provoca um afrouxamento das ligações celulares da madeira e tem a finalidade de facilitar a laminação e obter benefícios como aumento da produtividade, redução no consumo de cola e redução no número de painéis desclassificados. Apresentam também que madeiras com fibras torcidas são as mais exigidas para o acondicionamento, visto que, durante o processo de laminação, desenvolvem-se tensões que provocam rachaduras e aparecimento de lâminas ásperas.

As lâminas de madeira são obtidas através do torno, posteriormente são direcionadas por um sistema de esteiras para seccionamento das mesmas.

Uma boa laminação da madeira é conseguida com regulagens técnicas do torno desfolhador, no qual é de vital importância, o ângulo da faca e da barra de pressão (UMAÑA & BRITO, 2004).

Iwakiri (2005) especifica também que condições mecânicas, de ajuste e operacionais do torno e da faqueadeira influenciam a qualidade das lâminas verdes, além do aquecimento, qualidade e condições de armazenamento das toras. Sendo os principais defeitos do processo de laminação a presença de manchas superficiais, desuniformidade da espessura, aspereza da superfície, fendas superficiais, desvios do plano normal das lâminas, lâminas rugosas, lâminas felpudas, lâminas com fibras arrancadas na face rígida e lâminas mais espessa nas extremidades que no centro.

A próxima etapa é a secagem das lâminas, sendo uma etapa crítica no processo de produção de painéis compensados, devido ao teor de umidade que as lâminas apresentarão no final da secagem, que é um requisito para a colagem. Além disso, é uma etapa em que as lâminas tendem a apresentar diversos defeitos em função do processo de secagem que afetarão o desempenho do processo de colagem.

A secagem das lâminas de madeira é um processo de retirada de água até um determinado teor de umidade, com mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de forma técnica e economicamente viável para o uso a que se destina (IWAKIRI, 2005). Uma boa secagem deverá resultar em lâminas com teor de umidade uniforme, sem fendas, rachaduras, ondulações, alterações de cor, com mínima contração e endurecimento superficial.

Thoemen *et al* (2010) apresentam que os defeitos que podem ocorrer nas lâminas podem ser evitados desde que as mesmas sejam secas cuidadosamente. Como a madeira é fraca perpendicularmente à grã, frequentemente surgem fendas

nas lâminas. Mencionam também que a principal razão do surgimento das fendas é a manipulação brusca das lâminas, já que as fendas iniciam no estado verde, talvez na árvore ou durante a laminação.

O PNQM (2009) estabelece requisitos para o teor de umidade para lâminas de capa e contracapa, assim como para lâminas a serem utilizadas no miolo do painel compensado, considerando também o tipo de resina a ser utilizada na colagem do painel, conforme Tabela 1:

TABELA 1 - REQUISITOS PARA TEOR DE UMIDADE ESTABELECIDO PELO PNQM

LÂMINA	COLAGEM	
	FENÓLICA	URÉICA
Capa	< 12 %	< 14 %
Miolo seco	< 08 %	< 12 %
Miolo úmido	< 08 %	< 08 %
Contracapa	< 12 %	< 14 %

FONTE: PNQM (2009)

Para se chegar ao teor de umidade desejável, uma série de fatores influenciam na secagem das lâminas, os que são inerentes à própria madeira e os relativos ao controle do processo de secagem. Segundo Iwakiri (2005), no que diz respeito à madeira, a espécie, densidade, espessura da lâmina e teor de umidade inicial são críticos; já para o controle do processo, volume de lâminas e velocidade de passagem das lâminas, assim como temperatura, umidade relativa e velocidade de ar contemplam as variáveis.

A secagem natural é ainda empregada por algumas indústrias normalmente como uma pré-secagem, para reduzir o teor de umidade inicial do material e, conseqüentemente, reduzir a possibilidade de ataque de fungos nas lâminas. Verifica-se que algumas empresas de pequeno porte adotam este método. As

indústrias de grande porte, de alto desempenho, utilizam-se da secagem artificial diretamente. Este método permite o controle das variáveis do processo de secagem e obtenção de lâminas com qualidade esperada dentro do menor tempo possível.

Após secagem as lâminas são guilhotinadas, classificadas e podendo ser emendadas por fitas ou fios, conforme o processo produtivo de cada empresa e largura da lâmina desejável.

3.3.2 Produção de painéis compensados

Com as lâminas já guilhotinadas e classificadas, dois parâmetros são controlados para aplicação do adesivo: o teor de umidade, conforme Tabela 1 e temperatura da lâmina, que de acordo com o PNQM (2009) tem que estar abaixo de 40°C.

A preparação da batida de cola é realizada em um misturador, sendo a formulação definida conforme o tipo de resina utilizada e a quantidade dos componentes definida de maneira que atenda o nível de qualidade de colagem desejável a um mínimo custo para a fábrica.

O custo da resina é crítico no custo final do painel de compensado, portanto o controle desta etapa é essencial. Segundo Baldwin (1981), a falta do controle resultará em desperdício em até 15% além do necessário. Ainda recomenda o controle de variáveis como qualidade da laminação, teor de umidade, espessura da lâmina e composição do painel, espécie de madeira e temperatura da lâmina e do meio ambiente.

Iwakiri (2005) apresenta exemplos básicos de formulação para preparação de adesivos e entre os componentes dos adesivos à base de resina ureia-

formaldeído encontra-se a resina, o extensor, água e catalisador. Para o adesivo à base de fenol-formaldeído, tem-se a resina, casca de coco, extensor e água.

A gramatura do adesivo aplicado varia com a classificação do painel, tipo de adesivo, espécie de madeira e, em particular, a qualidade de superfície da madeira. Menor quantidade de adesivo é necessária para superfícies lisas de lâminas (THOEMEN *et al*, 2010).

A espessura da lâmina deve ser levada em consideração para aplicação da formulação da batida de cola. De acordo com o PNQM (2009), a gramatura recomendada está apresentada na Tabela 2. A distribuição do adesivo deve ser uniforme.

TABELA 2 – GRAMATURA EM g/m^2 RECOMENDADA PARA APLICAÇÃO DO ADESIVO

ESPESSURA LÂMINA (mm)	GRAMATURA (g/m^2)
< 1,0	> 260
1,0 a 2,0	> 280
2,0 a 3,0	> 320
> 3,5	> 370

FONTE: PNQM (2009)

Na seqüência a montagem dos painéis é realizada, através da sobreposição de lâminas, seguindo o conceito de laminação cruzada.

De acordo com a Associação dos produtores de pinus da Nova Zelândia, as lâminas da capa e contracapa são as que recebem toda a carga e, portanto, determinam o desempenho do painel. Por esta razão, lâminas de maior densidade são desejáveis para capa e contracapa, principalmente quando é desejável alta resistência no sentido perpendicular à grã. Já as lâminas de miolo podem ser de menor densidade.

Os painéis já montados passam pelo período de montagem para que seja efetivada a transferência do adesivo para as lâminas sobrepostas, assim como sua absorção. Este período estende até o carregamento da prensa quente.

Durante o período de montagem muitas fábricas aplicam a pré-prensagem, freqüentemente denominada de prensagem a frio.

Segundo Iwakiri (2005), a finalidade principal da pré-prensagem é auxiliar na transferência e distribuição do adesivo entre as lâminas e facilitar as operações de carregamento da prensa, além de evitar a pré-cura.

A próxima etapa de produção do compensado é a prensagem a quente, sendo controlados os parâmetros de tempo de carregamento, pressão, temperatura e tempo de permanência. Para Baldwin (1981), a pressão promove o contato entre as lâminas e os pratos quentes da prensa e a temperatura aplicada ao painel realiza a cura do adesivo. A relação da temperatura, tempo de permanência e pressão determina o nível de compressão do painel, afetando diretamente a espessura final do painel.

Segundo Marra (1992), a principal função da pressão é fazer com que as superfícies juntadas tenham um contato razoável. Considerando o *status* de mobilidade dos adesivos na linha de cola no momento que a pressão é aplicada, a pressão deve também fornecer o ímpeto para que o movimento da cola efetive a colagem e permanecer até que a cola esteja totalmente curada. O *status* de mobilidade da cola no momento que a pressão é aplicada não é somente em função da cola, mas também se deve considerar o armazenamento, batida da cola e tempo de montagem. O tempo de prensagem é influenciado pelo teor de umidade e temperatura da lâmina, portanto o tempo de prensagem deve se estender quando a quantidade de cola, por alguma razão, for aumentada, uma vez que há um aumento da umidade.

O PNQM (2009) recomenda como critério de aceitação que o tempo de carregamento seja inferior a 2,5 minutos, que a temperatura varie de 125 a 150°C para resina fenólica e de 95 a 115°C para resina uréica. Que a variação da pressão para madeira de pinus seja de 08 a 12 kgf/cm² para resina fenólica e não especifica para resina uréica e, o tempo de permanência, no caso de temperatura < 140°C, seja de 1 min./mm para resina fenólica e de 0,5 min./mm + 2 min para resina uréica.

Ao serem retirados da prensa os painéis são acondicionados para estabilização (GAY, 2001), seguidos de uma pré-classificação, esquadrejamento, lixamento e a classificação final dos painéis.

3.4 FATORES QUE AFETAM A COLAGEM DOS PAINÉIS

As propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira influenciam na colagem adequada dos painéis, como também a superfície das lâminas, características dos adesivos e processo produtivo são fatores que estão diretamente relacionados no processo de colagem.

Hus (1997) resume que boas características da madeira para produzir painéis envolvem baixa densidade, baixo teor de umidade e extrativos, transição gradual de anéis de crescimento e baixa conicidade da tora.

3.4.1 Propriedades anatômicas

A porosidade da madeira está relacionada à estrutura da madeira e sua densidade, e influencia no fluxo de líquidos através da estrutura lenhosa. Quanto

mais porosa a madeira, maior será a penetração do adesivo na estrutura lenhosa e poderá resultar numa linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Marra (1992), a mobilidade dos adesivos é realizada diferentemente em madeiras de cerne e alburno. Além da aparência física, a permeabilidade se distingue, sendo o cerne menos permeável que o alburno.

O cerne concentra materiais “estranhos” como óleos, graxas e compostos fenólicos. Estes materiais influenciam na permeabilidade da madeira, podendo afetar a colagem e formação de “bolhas” nos painéis durante a prensagem.

O lenho inicial e o lenho juvenil possuem maior porosidade e, conseqüentemente, conforme citado acima, pode ocorrer linha de cola “faminta”. Ressalta-se também que a madeira de lenho juvenil é de baixa resistência mecânica e estabilidade dimensional, que pode resultar em um painel de qualidade inferior. Hans (1997) declara que coníferas com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio são mais adequadas do que aquelas com transição abrupta.

A direção da grã tem maior influência nos painéis compensado no processo de colagem e do produto colado. Em madeiras de grã cruzada pode ocorrer linha de cola “faminta” e a grã diagonal apresenta alterações dimensionais difusas que afetará a qualidade final do painel.

De acordo com Matos (1997) a inclinação excessivamente alta é indesejável, porque a madeira se torna mais frágil e tem uma maior tendência para distorção, com mudança no teor de umidade da madeira, e normalmente, considera-se que o efeito da inclinação da grã sobre as propriedades de resistência, é maior em membros estruturais do que em pequenos corpos de prova.

3.4.2 Propriedades físicas

Tanto a densidade como o teor de umidade tem grande influência no processo de produção e qualidade do produto final.

A densidade da madeira apresenta uma relação inversa com a porosidade e a ação de penetração de adesivos na estrutura lenhosa. Em madeiras de baixa densidade, ocorre maior penetração do adesivo e poderá resultar em linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005). Madeiras de alta densidade apresentam maiores alterações dimensionais resultantes das alterações de teor de umidade, gerando maiores tensões de linha de cola, dificultando o processo de colagem.

O teor de umidade da madeira e a distribuição da umidade dentro e entre peças individuais influenciam a formação e desempenho da colagem, exigindo assim, um acurado controle neste item (MARRA, 1992). Ainda especifica que em termos de desempenho de colagem, o ponto chave é que mudanças dimensionais, com pequenas exceções, sempre causam tensões na linha de cola.

Vick (1999) cita que a madeira com umidade excessiva também é difícil de colar com adesivos a base de água. Água e porções de adesivo de baixo peso molecular migram menos efetivamente para a parede celular úmida do que parede celular seca. Isso deixa o adesivo mais viscoso e propenso a sobressair quando pressão é aplicada. A mobilidade extra do adesivo também pode levar a linha de cola “faminta”. Controle do teor de umidade é particularmente crítico quando o adesivo é curado em prensa quente devido ao excesso de umidade que se transforma em vapor de alta pressão no interior do produto.

3.4.3 Propriedades químicas

As propriedades químicas da madeira tem grande influência no processo de colagem.

Hsu (1997) declara que quando os extrativos são voláteis, os painéis ficam propensos a bolhas no final do ciclo de prensagem. Apresenta também que os extrativos podem influenciar na seleção e consumo de resina, além da taxa de cura. Em geral, espécies com alta presença de extrativos promovem baixa colagem do adesivo, bem como uma colagem menos durável.

Segundo Marra (1992), os extrativos são depositados – impregnados no lúmen da célula ou na parede celular, sua influência pode ser observada na redução da higroscopicidade e permeabilidade da madeira. Durante a secagem pode ocorrer migração dos extrativos para superfície da lâmina, dificultando a penetração da resina.

Além dos extrativos, pH e teor de cinzas compõe as propriedades químicas que mais influenciam na colagem de madeiras.

O pH, pode influenciar na cura da resina, comprometendo a qualidade de colagem do painel.

3.4.4 Propriedades mecânicas

As tensões geradas no sistema madeira - linha de cola é de suma importância no balanço geral da resistência de um produto colado. Quanto maior a resistência da linha de cola em relação à resistência da madeira, maior será a percentagem de ruptura ou falhas na madeira na interface com a linha de cola. As

tensões desenvolvidas na linha de cola se manifestam através de tensões de cisalhamento no plano da ligação adesiva e no sentido perpendicular ao mesmo. As tensões na linha de cola são resultantes de fontes internas e externas, e ambas estão relacionadas à resistência da madeira quanto a magnitude destas tensões distribuídas na linha de cola (IWAKIRI, 2005).

3.4.5 Propriedades da superfície da madeira

Sellers (1985) descreve a importância da qualidade da superfície da madeira para receber o adesivo e de acordo com Frihart e Hunt (2010) lâminas com fendas, presença de defeitos como nós e buracos, são aplicáveis a painéis estruturais, no entanto exigirá a utilização de maior quantidade de adesivo.

De acordo com Lutz (1978), citado por Interamense (1998), as características mais importantes das lâminas que devem ser levadas em consideração para definir a qualidade do painel depende da uniformidade de espessura, rugosidade de superfície, deformações, fendas de laminação, cor e figura. Sendo uma lâmina ideal, àquela que seja uniforme em espessura, plana com nenhum fenda, de cor e figura agradáveis.

3.4.6 Características dos adesivos

Segundo Thoemen *et al* (2010) o objetivo do desenvolvimento dos adesivos é obter reatividade mais alta possível, sem deixar de considerar, por exemplo, estabilidade do adesivo durante o armazenamento, a vida útil da batida de cola e os existentes parâmetros do processo. Apresenta que a reatividade de uma batida de

cola é determinada por vários parâmetros como: tipo de adesivo, composição e procedimento de batida, tipo e quantidade, tipo e quantidade de extensor, aditivos que podem acelerar ou retardar o processo de endurecimento da batida de cola, temperatura da prensa, temperatura das lâminas durante a colagem e propriedades da superfície da madeira.

Frihart e Hunt (2010) menciona que uma série de fatores deve ser considerada na seleção de um adesivo para uma determinada aplicação. O adesivo tem que ter fluidez, transferir e penetrar na madeira, curar e resistir às tensões durante a utilização do produto mediante carregamentos e condições de meio ambiente.

Iwakiri (2005), apresenta que as variações na viscosidade, tempo de gelatinização, teor de substâncias sólidas e pH dos adesivos influenciam no processo de colagem.

O adesivo tem que ser fluido para penetrar na estrutura capilar da madeira, no entanto, que sua fluidez não resulte em linha de cola “faminta”. De acordo com Frihart e Hunt (2010) diversos fatores relativos ao tempo devem ser considerados. Vida útil relacionado à duração do tempo antes do adesivo ser aplicado na madeira. Tempo aberto é o tempo entre aplicar o adesivo e juntar as peças. Tempo fechado refere-se ao tempo de fechamento da prensa e aplicação de pressão. Tempo de aperto é determinado pela duração do tempo estabelecido até que a peça acabada seja liberada da pressão. Depois da pressão a quente ou a frio, o adesivo precisa de horas e semanas para completar a cura.

Conforme citado por Iwakiri (2005), o gel-time está relacionada à vida útil do adesivo quando se atinge o ponto de máxima viscosidade admissível para sua aplicação, além da reatividade do adesivo que influenciará no tempo de prensagem.

O teor de substâncias sólidas é definido como a quantidade de sólidos contidos na resina. A resina é composta de componentes sólidos e líquidos voláteis

constituídos de solventes orgânicos. Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos, “cura” e solidificação da resina, formando a linha de cola que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões geradas no sistema madeira – linha de cola (IWAKIRI 2005).

Ainda segundo Iwakiri (2005), o pH da madeira e da resina são importantes, sendo que o pH da resina pode afetar a degradação das fibras de madeira e influenciar na batida de cola pela formação de espuma na mistura dificultando a aplicação do adesivo. Madeira de alta acidez é mais difícil colar com resinas fenólicas e com resinas uréicas podem provocar a pré-cura da resina durante a prensagem dos painéis.

As resinas fenólicas são utilizadas para painéis compensados de aplicação onde é necessária a resistência à umidade e a resina uréica é utilizada para painéis compensados de uso interno, onde não são expostos à umidade.

3.4.7 Procedimentos empregados na colagem

Conforme já mencionado a superfície da lâmina é um ponto crítico na colagem, sendo influenciada pelo cozimento e laminação. Os controles dos parâmetros de gramatura da cola e condições das lâminas, como teor de umidade e temperatura, contribuirão para uma colagem adequada na etapa de preparação e aplicação da cola. Na seqüência da produção, o tempo de montagem e controle de parâmetros na prensagem como tempo de carregamento, pressão, temperatura e tempo de permanência completa os itens de controle do processo produtivo que afetam o processo de colagem.

3.5 APLICAÇÕES

As lâminas de madeira são utilizadas, principalmente, como matéria-prima para o painel compensado, que por sua vez são utilizados pela construção civil como componentes estruturais e não-estruturais, pela indústria moveleira, embalagens, em pisos (como base), transporte e também em aplicações marítimas. As lâminas faqueadas podem ser aplicadas em painéis particulados e de fibras como revestimento e também em decoração.

BNDES (2008), intitulado Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectivas (2008) descreve que o principal destino do painel compensado no mercado doméstico é a indústria de móveis e setor de construção civil, correspondendo a 31% e 44% do consumo doméstico respectivamente.

As normas europeias definem que os painéis compensados utilizados na construção civil podem ser de uso estrutural e não estrutural e classificam os painéis pelas condições de aplicação, conforme apresentado na Tabela 3 para painéis estruturais e Tabela 4 para painéis não estruturais:

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COMPENSADO ESTRUTURAIIS DE ACORDO COM AS NORMAS EUROPEIAS

EXIGÊNCIA A SER SEGUIDA	CLASSIFICAÇÃO
EN 636-1 S	Compensado de uso estrutural em ambiente interno em condições secas
EN 636-2 S	Compensado de uso estrutural em ambiente interno ou exterior protegido em condições úmidas
EN 636-3 S	Compensado de uso estrutural em condições externas

Fonte: FEIC (2007)

TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE COMPENSADO NÃO ESTRUTURAIS DE ACORDO COM AS NORMAS EUROPEIAS

EXIGÊNCIA A SER SEGUIDA	CLASSIFICAÇÃO
EN 636-1 G	Compensado de uso geral em ambiente interno em condições secas
EN 636-2 G	Compensado de uso geral em ambiente interno ou exterior protegido em condições úmidas
EN 636-3 G	Compensado de uso geral em condições externas

FONTE: FEIC (2007)

3.6 NORMAS

As normas são acordos documentados e voluntários que estabelecem importantes critérios para os produtos, serviços e processos. As normas contribuem, portanto, para fazer com que os produtos e os serviços sejam adaptados aos seus objetivos, comparáveis e compatíveis aos interesses de produtores e clientes (TORQUATO, 2009).

As normas ABNT para painéis de madeira compensada foram revisadas em 2007 e contemplam oito normas que correspondem em conteúdo e requisitos às Normas Europeias. Este fato também reforça a familiaridade das fábricas de compensado ao atendimento das normas europeias. Na Tabela 5 são expostas as normas da ABNT.

TABELA 5 – NORMAS DA ABNT PARA PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

CÓDIGO NORMA	DESCRIÇÃO
ABNT NBR ISO 1096	Madeira compensada – Classificação
ABNT NBR ISO 1954	Madeira compensada - Tolerâncias dimensionais
ABNT NBR ISO 2074	Madeira compensada – Vocabulário
ABNT NBR ISO 2426-	Madeira Compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 1
ABNT NBR ISO 2426-2	Madeira compensada - Classificação pela aparência superficial - Parte 2: Folhosas
ABNT NBR ISO 2426-3	Madeira compensada - Classificação pela aparência superficial - Parte 3: Coníferas
ABNT NBR ISO 12466-1	Madeira compensada – Qualidade de colagem - Parte 1: Métodos de ensaio
ABNT NBR ISO 12466-2	Madeira Compensada – Qualidade de colagem - Parte 2: Requisitos

Com relação ao controle do processo produtivo, os produtores nacionais contam com o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM desenvolvido em 1999. O Programa estabelece parâmetros a serem controlados e critérios de aceitação para as principais etapas do processo produtivo. É uma certificação voluntária e reconhecida pelo mercado internacional.

Em geral, as indústrias nacionais de painéis compensados seguem os requisitos estabelecidos pelo Programa Nacional de Qualidade de Madeira para o controle do processo produtivo. Para o controle de qualidade do produto final, visando o atendimento dos requisitos físico-mecânicos, as normas europeias (EN) e a PS1-07 são seguidas conforme o mercado de destino dos painéis.

A norma europeia para painéis de madeira não estabelece requisitos mínimos para o módulo de elasticidade e de ruptura para os sentidos perpendicular e paralelo. No entanto, estabelece que os resultados dos ensaios de controle de produção de fábrica estejam entre o mínimo e máximo obtido nos ensaios iniciais, o quinto percentil, sendo aceito valores superiores ao quinto percentil também. Valores mínimos a serem atendidos somente são exigidos pela norma EN12369 - Wood-

based panels. Characteristic values for structural design Part 2: Plywood, que envolvem valores para projetos estruturais.

A Tabela 6 mostra os requisitos para o ensaio de qualidade de colagem de acordo com a norma EN 314-2:

TABELA 6 – EXIGÊNCIAS PARA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE COLAGEM

MÉDIA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO F_v , EM N/MM	FALHA NA MADEIRA EM %
$0,2 \leq f_v$	≥ 80
$0,4 \leq f_v$	≥ 60
$0,6 \leq f_v$	≥ 40
$1,0 \leq f_v$	Sem exigência

FONTE: EN 314-2

A densidade não é um ensaio obrigatório, de acordo com a norma europeia, no entanto, é referência para determinação de propriedades como reação ao fogo, permeabilidade ao vapor de água e condutividade térmica.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 COLETA DE MATERIAL

As toras foram retiradas de um plantio com área total de 4,62 hectares, cujo povoamento está localizado na Fazenda Buriti, pertencente à Madem Florestamento Ltda, localizado nos Municípios de Rio Negro-PR e Campo do Tenente-PR a 25° 58' 09,73" S / 49° 47' 17,46" O, com altitude de 849m.

As toras selecionadas pertencem a um plantio de 35 anos de idade, em que foram realizados desbastes seletivos de baixa intensidade, com o objetivo de obter

varas para construção civil. O plantio não tinha caráter experimental, quando a área foi adquirida pela MADEM a espécie estudada já estava implantada no local.

Foram selecionadas aleatoriamente 3 árvores e de cada árvore foram obtidos 3 toras, das quais foram seccionadas em 3 toretes, totalizando 9 toretes de comprimento de 65cm por árvore (Figura 1), totalizando 27 toretes.



FIGURA 1 – TORETES ANTES DA LAMINAÇÃO

FONTE: A autora (2010)

Segue na Tabela 7 a numeração utilizada para os toretes, com a observação que o torete número 18 e 27 não foram laminados, considerando uma possível análise anatômica da espécie, não pertencente ao presente estudo. A sequência da numeração também considera que as toras e toretes foram obtidas da base para o topo.

TABELA 7 – NUMERAÇÃO TORETES

ÁRVORE / TORA	TORETE
	1
1-1	2
	3
	4
1-2	5
	6
	7
1-3	8
	9
	10
2-1	11
	12
	13
2-2	14
	15
	16
2-3	17
	-
	19
3-1	20
	21
	22
3-2	23
	24
	25
3-3	26
	-

Fonte: A autora (2010)

4.2 LAMINAÇÃO DAS TORAS

Lâminas com 2mm de espessura nominal foram obtidas através de um torno desfolhador, disponível no centro de Ciências Florestais da UFPR, tendo 10% de compressão na barra de pressão com base na espessura nominal e 0 de abertura vertical.

Os toretes não foram submetidos ao cozimento. Conforme ABIMCI (2009), o cozimento não é obrigatório para madeiras com densidade inferior a 500 kg/m^3 . Além disso, o estudo objetivou a verificação do desempenho da qualidade do painel mediante ao atendimento do requisito mínimo para esta etapa de produção.

Anterior ao início da laminação foi verificado duas medidas da circunferência do torete sem casca, uma em cada extremidade, devido à conicidade da tora. Posterior ao arredondamento do torete no torno, a medida desta circunferência era novamente determinada, segue Figura 2 do torete já arredondado. Após a laminação, um rolo resto de circunferência média de 30cm era obtido. O termo rolo resto é utilizado para denominar o material restante do processo de laminação da torete.



FIGURA 2 – TORETE ARREDONDADO

FONTE: A autora (2010)

As lâminas obtidas foram segregadas e identificadas por torete, conforme pode ser visualizado na Figura 3.



FIGURA 3 – LÂMINAS OBTIDAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO

FONTE: A autora (2010)

A classificação das lâminas foi baseada na presença de nós e o diâmetro dos mesmos, assim como a segregação de lâminas de cerne, alburno e mistas. Com relação à superfície, a classificação considerou superfície limpa das lâminas, diâmetro dos nós de no máximo 10mm e diâmetro dos nós superior à 10mm.

Ressalta-se que a denominação lâminas mistas refere-se às lâminas que contem madeira de cerne e alburno em uma mesma lâmina.

4.2.1 Cálculo do rendimento

O cálculo do rendimento foi realizado com base no volume do fardo e do torete em metros cúbicos, sendo o fardo composto pelo total de lâminas inteiras obtidas de cada torete.

Para obter o volume do torete foi determinado o diâmetro de cada peça através da verificação de duas medidas de circunferência do torete sem casca com auxílio de uma fita métrica, que foram tomadas uma em cada extremidade. A seguinte fórmula foi aplicada para obter o diâmetro de cada torete:

$$d = \frac{c1 + c2}{2\pi}$$

Onde:

d = Diâmetro médio (cm)

$c1$ = Circunferência 1 (cm)

$c2$ = Circunferência 2 (cm)

O volume do torete considerou diâmetro médio e o comprimento do mesmo, conforme fórmula abaixo:

$$V = \frac{\pi \times d^2}{40000} \times C$$

Onde:

V = volume do torete (m³)

d = Diâmetro médio (cm)

C = Comprimento da tora (m)

Enfim, o rendimento foi obtido através do volume do fardo dividido pelo volume do torete, expresso em termos percentuais.

4.2.2 Cálculo das perdas

As perdas no processo de laminação compreendem as perdas no arredondamento, rolo resto e a perda com manuseio referente às operações do início da laminação e na seqüência da guilhotinagem, incluindo também as lâminas não inteiras que foram segregadas. Explica-se que a perda no arredondamento deste estudo está relacionada à conicidade da árvore e a perda com o rolo resto é determinada pelo material restante no torno.

O cálculo das perdas foi realizado com base no volume do cilindro, que é o torete arredondado, do rolo resto e o volume de fardo de lâminas inteiras. O cálculo para obter o volume do fardo de lâminas, é apresentado a seguir:

$$V = c * l * e * \text{num. lâminas}$$

Onde,

V = volume do fardo (m^3)

c = comprimento da lâmina (m)

l = largura da lâmina (m)

e = média de 3 medidas da espessura de 5 lâminas do fardo

O cálculo do volume do cilindro e do rolo resto é o mesmo aplicado para o cálculo do volume do torete.

As perdas na laminação foram expressas em porcentagens, sendo determinadas com base nos valores destes volumes e por diferença:

- a) Volume tora – Volume cilindro = perda com o arredondamento (m^3)
- b) Volume rolo resto = perda com o rolo resto (m^3)
- c) Volume cilindro - volume rolo resto - volume do fardo = perda manuseio e lâminas segregadas (m^3)

4.3 PLANO EXPERIMENTAL

A produção dos painéis foi dividida pelo tipo de resina utilizada para colagem, que conseqüentemente, determina se a aplicação do painel será de uso interno seco ou externo coberto ou não coberto. Foram utilizadas a resina ureia-formaldeído e a resina fenol-formaldeído.

Para cada tipo de resina, foram preparados painéis com lâminas somente de cerne, lâminas somente de alburno e painéis com a combinação de lâminas de alburno e cerne, tendo o alburno como capa e contracapa e o cerne no miolo, sendo aplicada a variação de gramatura de 270 g/m² e 300 g/m² para cada grupo, ilustrados na Figura 4 e Figura 5.

No total foram produzidos e testados 36 painéis, sendo 18 painéis para cada tipo de resina.

Para efeito de esclarecimento, as lâminas mistas não foram utilizadas na confecção dos painéis, por não apresentarem as características ideais para colagem. Outro item destaque é que os painéis compostos de lâminas de alburno na capa e contracapa e lâminas de cerne no miolo serão denominados de painéis mistos no decorrer do estudo.

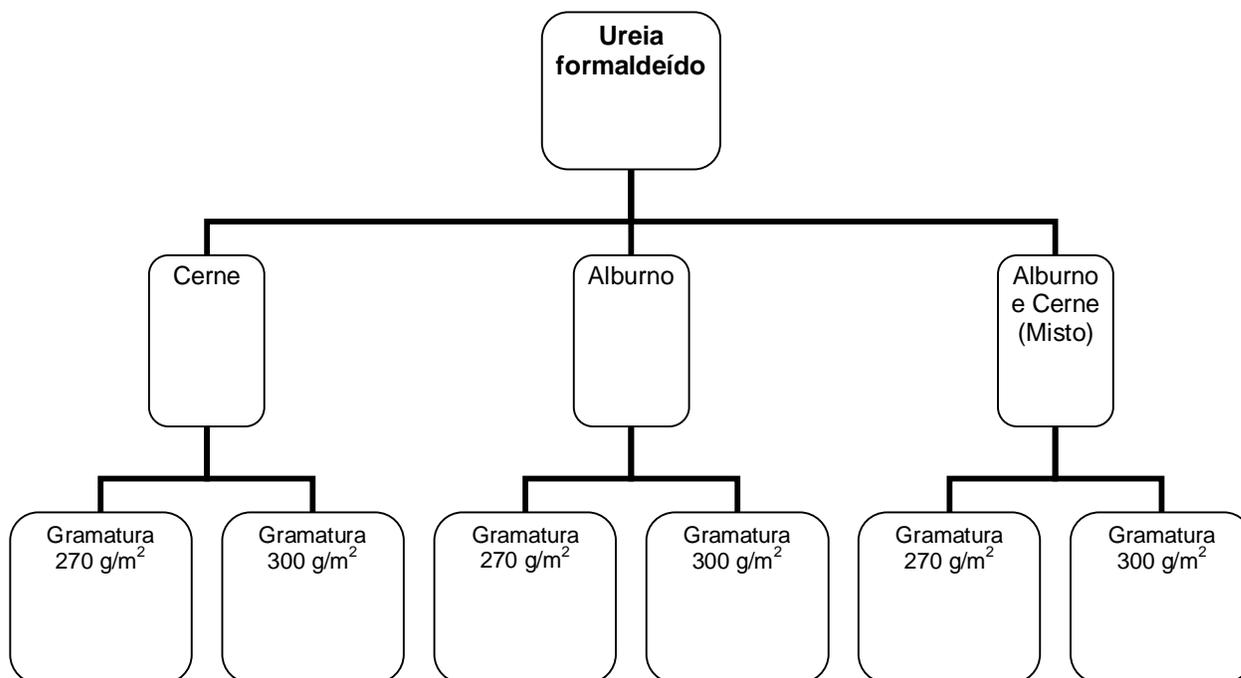


FIGURA 4 - DELINEAMENTO PARA PAINÉIS COMPENSADOS COLADOS COM RESINA UREIA-FORMALDEÍDO

FONTE: A autora (2010)

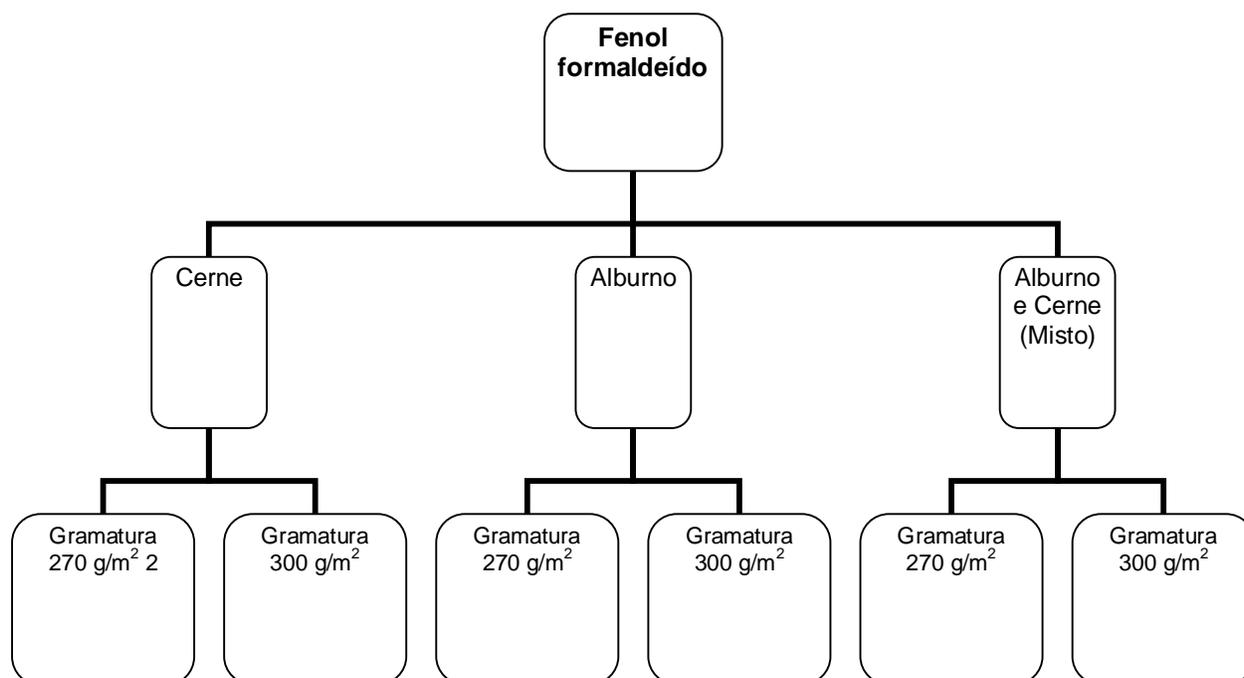


FIGURA 5 - DELINEAMENTO PARA PAINÉIS COMPENSADOS COLADOS COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

FONTE: A autora (2010)

4.4 MANUFATURA DE PAINÉIS COMPENSADOS

Os painéis foram produzidos no laboratório de Painéis de Madeira do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR, a partir das lâminas de criptomeria obtidas no processo de laminação.

Foram selecionadas lâminas de cerne e lâminas de alburno para fabricação dos painéis de espessura nominal de 10mm, os quais foram seccionadas nas dimensões de 500x500mm.

4.4.1 Secagem das lâminas

Foi adotada uma pré-secagem ao ar livre por um período de um dia, sendo as lâminas dispostas separadamente atingindo teor de umidade entre 15 e 25%. Para manufatura dos painéis, as lâminas foram colocadas na estufa até atingirem teor de umidade inferior a 8% para lâminas de miolo e 12% para lâminas de capa e contracapa.

4.4.2 Preparação da cola

Foi estabelecida uma formulação de batida de cola para cada tipo de resina utilizada, com variação na gramatura. A gramatura adotada foi orientada pelo PNQM, que determina que para lâminas de 2mm, classe 1 de madeira, a gramatura tem que ser superior a 280 g/m². Para o presente estudo foi adotado uma gramatura

de 300 g/m², que é um pouco superior ao mínimo indicado pelo Programa, e também uma gramatura inferior ao limite estabelecido pelo PNQM, de 270 g/m².

A Tabela 8 mostra a proporção dos insumos utilizados na batida do adesivo fenol-formaldeído e ureia-formaldeído em partes por peso.

TABELA 8 – PROPORÇÃO INSUMOS BATIDA DE COLA

INSUMOS	RESINA UREIA-FORMALDEÍDO (%)	RESINA FENOL-FORMALDEÍDO (%)
Resina	100	100
Trigo	25	15
Água	24,5	15
Catalisador	7	-

Ambas as resinas foram cedidas pela empresa Momentive Specialty Chemicals Inc. A resina uréica utilizada foi a Cascamite (TM) PL 2030, código 328189, data de fabricação 25/10/2010, lote 80000134549. Já a resina fenólica utilizada foi a cascophen HL 7090 HS, código 359615, fabricado também em 25/10/2010, lote 80000134852. O catalisador adotado na batida uréica foi o sulfato de amônia 25%.

4.4.3 Assemblagem

O tempo de assemblagem tanto dos painéis fenólicos como os dos painéis uréicos não ultrapassou 60 minutos.

Segundo PNQM (2009), o tempo de assemblagem para os painéis fenólicos não pode ultrapassar 720 minutos. Já para os painéis uréicos, que foi utilizada a solução sulfato de amônio amoniacal na batida de cola, o Programa estabelece 60 minutos como tempo máximo de assemblagem.

4.4.4 Prensagem

Os parâmetros de prensagem também foram baseados no PNQM. Os valores utilizados para temperatura, pressão, tempo de permanência são apresentados na Tabela 9:

TABELA 9 – REQUISITOS PARA OS PARÂMETROS DE Prensagem

PARÂMETROS	TIPO DE COLAGEM	
	URÉICA	FENÓLICA
Temperatura	100 °C	135 °C
Pressão	11 kgf/cm ²	11 kgf/cm ²
Tempo de permanência	0,5 min/mm + 2min	1min/mm

Na Figura 06 pode ser visualizada a montagem dos painéis e um painel sendo prensado no laboratório de Painéis de Madeira da UFPR.



FIGURA 6 – PREPARAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS

NOTA: a) aplicação de resina fenólica em lâmina de cerne; b) distribuição de resina fenólica em lâmina de cerne; c) painel de compensado montado; d) painel sendo prensado

FONTE: A autora (2010)

4.5 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova de flexão estática, paralela e perpendicular, e cisalhamento da linha de cola podem ser visualizados na Figura 7, tendo a quantidade de corpos de prova e as dimensões baseadas nas normas europeias (Tabela 10).

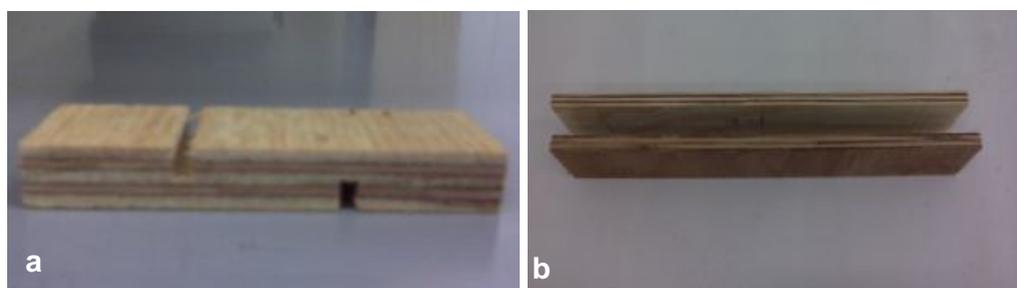


FIGURA 7 – CORPOS DE PROVA

NOTA: a) Corpo de prova de qualidade de colagem, b) corpos de prova de flexão (paralelo e perpendicular)/ densidade;

FONTE: A autora (2010)

TABELA 10 - CONTROLE DE ENSAIOS – PROPRIEDADES BÁSICAS

ENSAIOS	Nº DE AMOSTRAS (CP*/ PAINEL)	DIMENSÕES (mm)
Flexão Paralela (longitudinal) =	3	250 x 50
Flexão Perpendicular (transversal) ⊥	3	250 x 50
Qualidade de Colagem		
• Tratamento a seco	5	25 x 83
• Pré-tratamento 5.1.1 (24 horas em água a temperatura ambiente)	5	25 x 83
• Pré-tratamento 5.1.3 (ciclo de fervura)	5	25 x 83
Densidade	6**	

NOTA 1: * cp = corpo de prova

NOTA 2: a verificação da densidade foi feita através dos corpos de prova do ensaio de flexão.

O pré-tratamento 5.1.1 será descrito neste estudo como pré-tratamento em 24 horas em água a temperatura ambiente (T.A) e o pré-tratamento 5.1.3 como sendo ciclo de fervura.

Foi adaptado um plano de corte com base na EN 326-1 para retirada dos corpos de prova de flexão e cisalhamento de linha de cola, conforme pode ser visualizado na Figura 8. A dimensão dos painéis foi reduzida para 450x450mm para retirada dos corpos de prova.

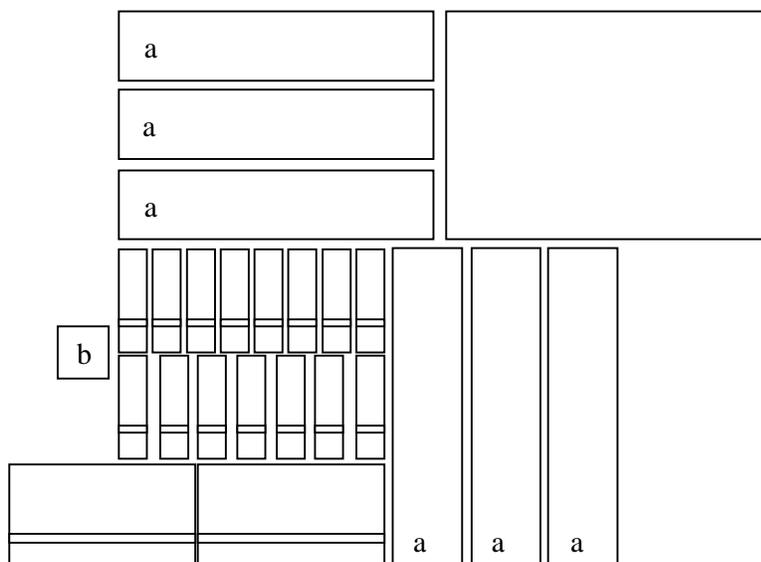


FIGURA 8 – ESQUEMA PLANO DE CORTE DOS CORPOS DE PROVA

NOTA: a) corpos de prova flexão estática; b) corpos de prova de cisalhamento de linha de cola

FONTE: A autora (2010)

Após a confecção dos corpos de prova, os mesmos foram identificados através de lápis-cópia, que garante que a identificação não seja perdida, resiste à umidade e é comumente utilizado por laboratórios.

Na sequência, os corpos de prova foram condicionados em câmara climatizada a 12% de umidade de equilíbrio, $65 \pm 3\%$ de umidade relativa (UR) e a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingirem a umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

4.6 ENSAIOS

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados no LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA – LTM, o qual segue padrões internacionais de padronização da qualidade e é credenciado à ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI para realização de ensaios em painéis de madeira compensada de acordo com as Normas Europeias.

Duas máquinas universal de ensaios, ambas da marca EMIC, com capacidade máxima de 100 KN e 300KN foram utilizadas para realização dos ensaios. Os corpos de prova foram medidos e pesados com auxílio de paquímetro digital e balança digital.

Os ensaios foram realizados em uma repetição de 3 painéis para cada tratamento, totalizando 36 painéis testados.

As normas europeias EN foram adotadas na execução dos ensaios devido a sua ampla utilização pelos fabricantes nacionais, principalmente, a partir de abril de 2004, em que o atendimento às normas europeias para painéis de madeira, incluindo os painéis de madeira compensada, se tornou obrigatório para os países pertencentes à União Europeia.

As seguintes propriedades foram avaliadas:

- a) Flexão estática (no sentido paralelo e perpendicular);
- b) Cisalhamento da linha de cola. Os pré-tratamentos para os painéis de resina ureia-formaldeído diferem para os painéis de resina fenol-formaldeído, sendo:
 - Os painéis ureia-formaldeído foram submetidos ao pré-tratamento em 24 horas em água a temperatura ambiente,

além do tratamento a seco. Para efeito de comparação a propriedade de cisalhamento de linha de cola foi aplicada em corpos de prova sem nenhum tipo de tratamento, que é o tratamento denominado a seco;

- Os painéis fenol-formaldeído foram submetidos aos pré-tratamentos de 24 horas em temperatura ambiente, ciclo de fervura, além do tratamento a seco.

c) Densidade.

A seguir são apresentadas as normas utilizadas no presente estudo:

- a) Determinação do Módulo de Elasticidade – MOE em flexão e da resistência à flexão – MOR (EN 310);
- b) Determinação de Cisalhamento de linha de cola (EN 314-1 e EN 314-2);
- c) Determinação da densidade (EN 323);
- d) Determinação das dimensões dos corpos de prova de ensaio (EN 325) - norma auxiliar.

4.7 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS

4.7.1 Flexão estática

Os ensaios de flexão estática foram realizados na direção paralela e na direção perpendicular ao sentido das fibras da capa, para verificação do módulo de elasticidade – MOE em flexão e da resistência à flexão, módulo de ruptura – MOR entre as direções. Para este ensaio foram medidas a largura (base), a altura (espessura), comprimento e peso, com a utilização dos equipamentos de medição, como balança e paquímetro. As fórmulas utilizadas para determinação do MOE (E_m)

e MOR (f_m), as quais também foram aplicada por Prata (2006), são apresentadas a seguir:

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1)l_1^3}{4bt^3(a_2 - a_1)}$$

Onde,

E_m : Módulo de elasticidade (N/mm²)

F_2 : Aproximadamente 40% da força máxima (N)

F_1 : Aproximadamente 10% da força máxima (N)

l_1 : Distância entre os centros dos apoios (mm)

b : Largura do corpo de prova (mm)

t : Espessura do corpo de prova (mm)

a_1 : Deformação correspondente à 10% da força máxima (mm)

a_2 : Deformação correspondente à 40% da força máxima (mm)

$$f_m = \frac{F_{máx}l_1}{2bt^2}$$

Onde,

f_m : Módulo de ruptura (N/mm²)

$F_{máx}$: Força máxima (N)

l_1 : Distância entre os centros dos apoios (mm)

b : Largura do corpo de prova (mm)

A velocidade do ensaio seguiu à exigência da norma europeia, em que preconiza que os corpos de ensaios devem ser rompidos entre 60 mais ou menos 30 segundos. O diâmetro do cutelo e dos apoios foi de 30 mm.

Na Figura 9 é apresentada a disposição do corpo de prova na máquina universal de ensaio.

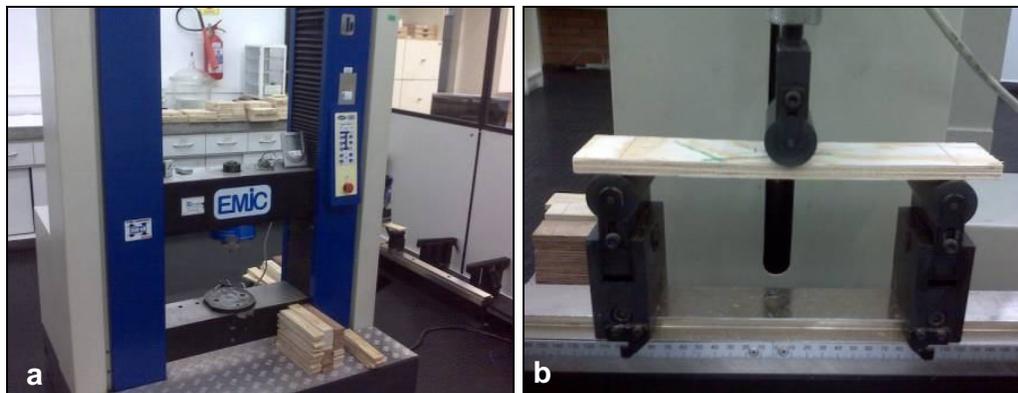


FIGURA 9 - EXECUÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA
NOTA: a) Máquina universal de ensaio; b) corpo de prova de flexão durante o ensaio.
FONTE: A autora (2010)

4.7.2 Cisalhamento de linha de cola

A verificação do cisalhamento de linha de cola foi realizada conforme o pré-tratamento a ser realizado, sendo:

- a) Pré-tratamento 5.1.1: imersão dos corpos de prova em 24 horas em água a $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;
- b) Pré-tratamento 5.1.3: é o ciclo de fervura, imersão durante 4h em água em ebulição, seguida de secagem em estufa com circulação de ar permitindo manter a temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, seguindo para imersão em água em ebulição durante 4h, para posterior resfriamento em água a $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante pelo menos 1h para estabilização da temperatura em torno de 20°C ;
- c) Pré-tratamento a seco: os corpos de prova foram submetidos a ensaio sem nenhum tipo de tratamento.

Posterior ao ensaio, os corpos de prova foram secos em estufa e, em seguida, testados para determinação da porcentagem de falha de madeira na

verificação da qualidade de colagem. A Figura 10 mostra como é feita análise da falha de madeira, de acordo com figuras da norma EN 314-1.

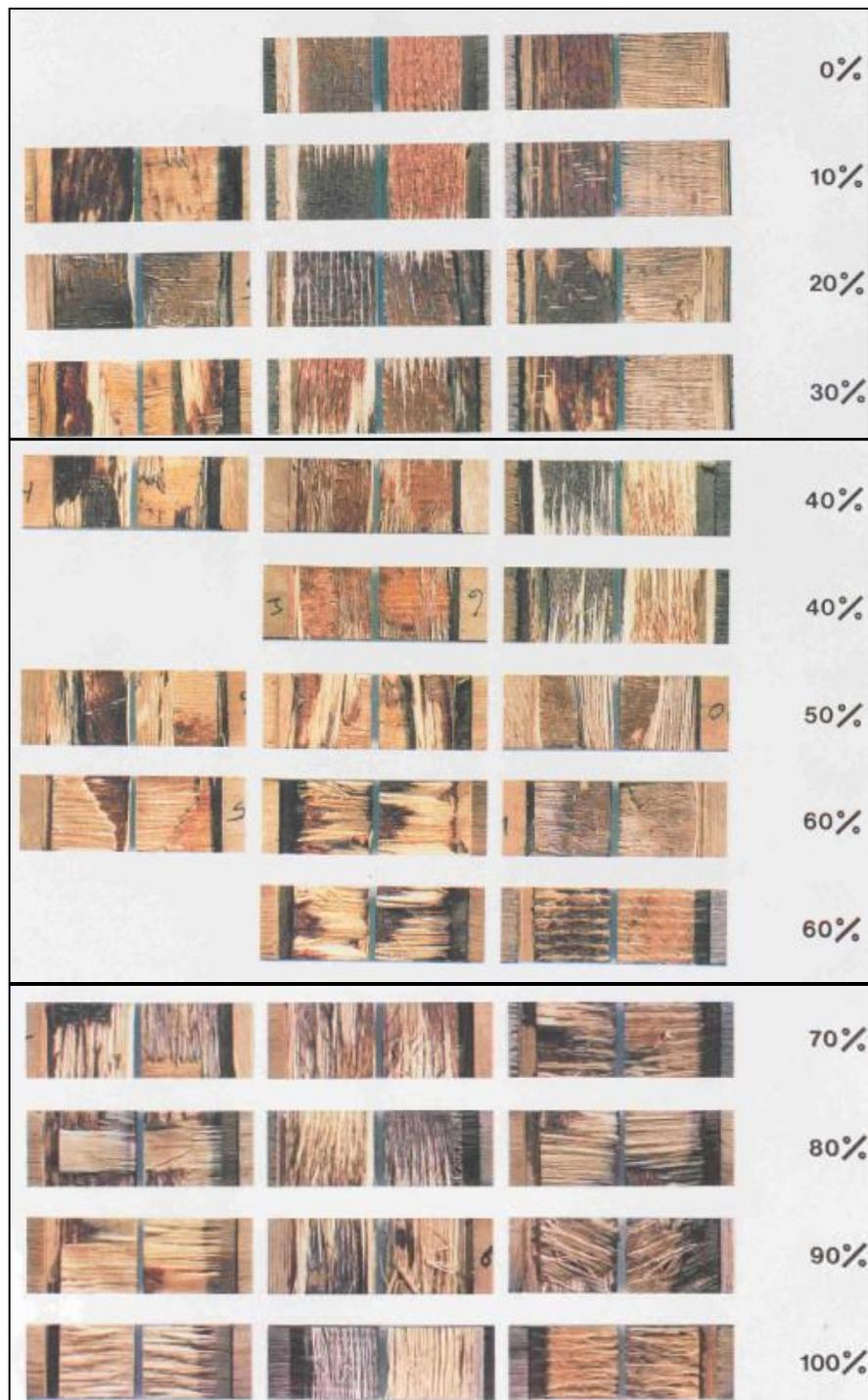


FIGURA 10 - ANÁLISE DO DESFIBRAMENTO DA MADEIRA

FONTE: EN 314-1

4.7.3 Densidade

A densidade foi obtida através dos corpos de prova dos ensaios de flexão estática, obtendo os resultados em kg/m³.

$$d = \frac{m}{c \times l \times e} \times 10^6,$$

Onde:

m = massa do corpo de prova, em g

c, l, e = comprimento, largura e espessura respectivamente do corpo de prova, em mm

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise do rendimento da laminação foi realizada com a aplicação de ferramentas da estatística descritiva, sendo obtido valor médio, mínimo, máximo e o desvio padrão do rendimento da laminação de 25 toretes.

O Programa *Statgraphics Plus*, aplicando o método ANOVA e teste de Tukey foi utilizado para comparação das médias entre os resultados de MOE, MOR, cisalhamento e densidade, com um nível de confiança de 95%, tendo o teste de Bartlett aplicado para verificar a homogeneidade das variâncias. A análise também foi estendida para verificação da influência da gramatura e composição dos painéis nos resultados de MOE, MOR, cisalhamento de linha de cola e densidade.

O cisalhamento da linha de cola também foi analisado através da tabela 2: Requirements da norma EN 314-2. Esta análise também leva em consideração a

norma EN 326-2, que especifica que o controle de produção da fábrica para a verificação da qualidade de colagem dos painéis de compensado segue a exigência de que os corpos de prova com problema tem que ser iguais ou menores que 10% para que a análise da qualidade de colagem seja aprovada no ensaio de cisalhamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO EM LAMINAÇÃO

A Tabela 11 apresenta o diâmetro dos toretes antes do arredondamento e após arredondamento, além do diâmetro do rolo resto. Tem o objetivo de ilustrar o diâmetro efetivo dos toretes que serão laminados e para posterior discussão das perdas no processo de laminação. Os valores apresentados na tabela foram obtidos através de fita métrica e, por esta razão, não apresenta precisão decimal.

Ressalta-se também que o diâmetro do rolo resto foi pré-determinado em 10 cm, o diâmetro do torete número 9 foi superior devido a presença de rachadura na peça.

TABELA 11 – DIÂMETROS DOS TORETES APÓS ARREDONDAMENTO E DO ROLO RESTO

TORA	TORETE	DIÂMETRO MÉDIO TORETE (CM)	DIÂMETRO MÉDIO CILINDRO (cm)	DIÂMETRO MÉDIO ROLO RESTO (cm)
1-1	1	30	26	10
	2	28	25	10
	3	28	25,	10
1-2	4	27	24	10
	5	26	23	10
	6	25	23	10
1-3	7	25	22	10
	8	23	21	10
	9	23	21	12
2-1	10	31	29	10
	11	30	26	10
	12	29	26	10
2-2	13	28	25	10
	14	26	24	10
	15	26	25	10
2-3	16	25	24	10
	17	25	22	10
3-1	19	32	29	10
	20	36	30	10
	21	32	29	10
3-2	22	29	26	10
	23	30	27	10
	24	30	27	10
3-3	25	28	25	10
	26	27	25	10

Fonte: A autora (2010)

A Figura 11 mostra o rendimento mínimo, médio e máximo obtido na laminação e a Figura 12 apresenta a dispersão dos rendimentos obtidos com relação à média.

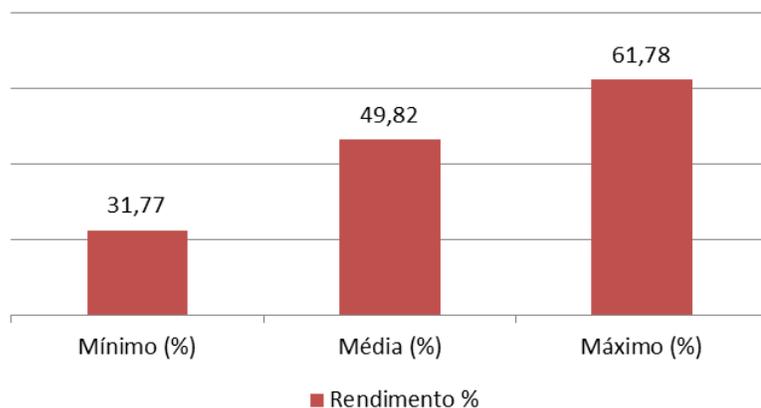


FIGURA 11 – GRÁFICO DO RENDIMENTO NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO

FONTE: A autora (2010)

O rendimento médio no processo de laminação para *Cryptomeria japonica* foi de 49,82%. Esta média, em geral, está dentro dos valores obtidos por outros pesquisadores para outras espécies.

Bortoletto Júnior (2008) obteve rendimento de 57,9% para o *Pinus merkussi*, Bortoletto *et al* (2003) para madeira de Guapuruvu, que é uma espécie nativa do Brasil, obteve o valor médio de 52,9% e Interamnense (1998) realizou um estudo com *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus punctata*, obtendo rendimentos de 50,43, 44,86 e 17,57% respectivamente.

Medina (1986) obteve rendimento de 38,8% para o *Pinus elliotii*; Jankowsky (1978) obteve para o *Pinus strobus* o rendimento de 54,4% e Bonduelle *et al* (2006) obteve rendimento para o *Pinus spp* de 47,97%.

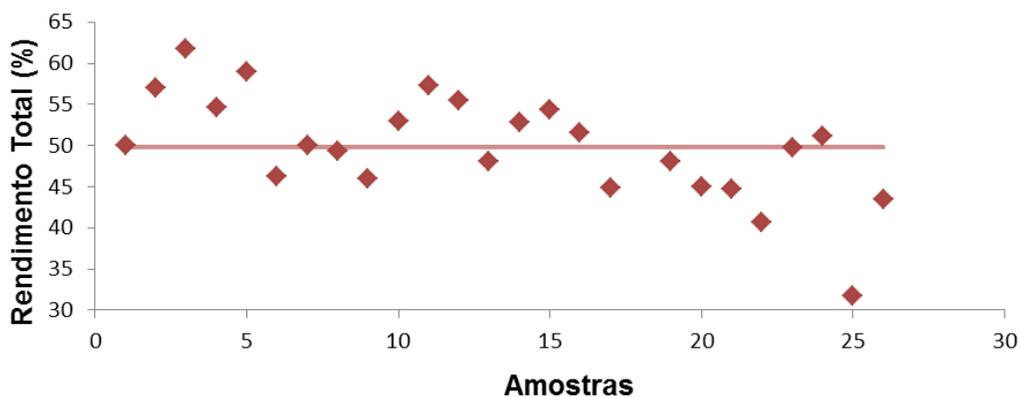


FIGURA 12 – DISPERSÃO DOS VALORES OBTIDOS NA LAMINAÇÃO

FONTE: A autora (2011)

Conforme pode ser observado na Figura 12, o rendimento do torete 25, pertencente a 3^a árvore ficou relativamente distante da média dos valores do rendimento. O principal fator que afetou o baixo rendimento do torete 25 foi a segregação de lâminas não inteiras. A amostragem apresentou desvio padrão de 6,42.

Para o cálculo das perdas foi levado em consideração os trabalhos de Medina (1986), Pio (1995), citados por Interamnense (1998).

A Figura 13 mostra os valores de perdas percentuais médias nos processos de arredondamento do torete, do rolo resto, no manuseio das lâminas e segregação das lâminas não inteiras. É apresentado também o valor percentual mínimo, médio e máximo para perda total no processo de laminação.

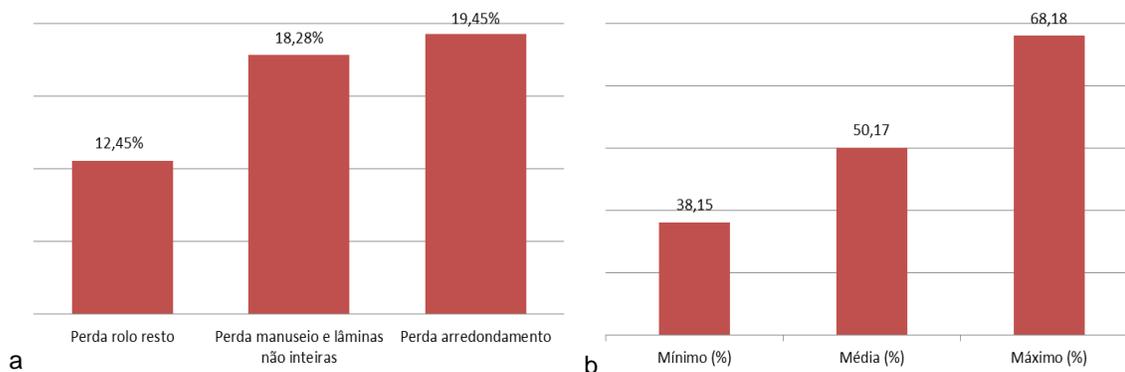


FIGURA 13 – GRÁFICO DAS PERDAS PERCENTUAIS NO PROCESSO LAMINAÇÃO

NOTA: a) Perdas no processo de laminação, b) Valor mínimo, médio e máximo das perdas totais na laminação

FONTE: A autora (2010)

As comparações na sequência são baseadas nos resultados e não consideraram o comprimento das toras e o diâmetro do rolo resto adotados pelos demais pesquisadores.

Para tanto, analisando a Figura 13, observa-se que as perdas no processo estão coerentes com os valores obtidos por outros autores para outras espécies. Bortoletto Júnior (2008) obteve na laminação do *Pinus merkussi* perdas percentuais médias no arredondamento de 15,1% e no rolo resto de 8,2%, já Bortoletto *et al* (2003) obtiveram para laminação da madeira Guapuruvu, perdas de 22,9 e 9,9% no arredondamento e rolo resto, respectivamente. Interamnense (1998) obteve perdas no arredondamento das espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus punctata* de 18,03, 22,78 e 27,31% e no rolo resto 13,68, 13,93 e 38,70% respectivamente.

Ressalta-se que com relação à perda ao arredondamento, a média de perda entre a ponta fina e ponta grossa foi de aproximadamente 3 cm.

Medina (1986) teve perdas para o *Pinus elliottii* de 28% no arredondamento, 5% no manuseio e 19,4% no rolo resto, Jankowsky (1978) estudou o *Pinus strobus* e

teve perda de 32% no manuseio e Bonduelle *et al* (2006) teve perdas para o *Pinus spp* no arredondamento de 35%, no rolo resto de 13%.

Quando comparado às perdas na laminação da *Cryptomeria japonica* verifica-se que o valor obtido na perda percentual média do arredondamento é inferior à madeira de guapuruvu e às espécies *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus punctata*. Para o rolo resto, o valor ficou inferior à madeira guapuruvu e às espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus punctata*.

Já quando comparado com o *Pinus*, a *Cryptomeria japonica* ficou com perda inferior no rolo resto e no arredondamento. Com relação ao manuseio foi superior ao *Pinus elliottii* estudado por Medina (1986) e inferior ao *Pinus spp* estudado por Bonduelle *et al* (2006).

A perda no manuseio e segregação de lâminas inteiras foi de média percentual de 18,28%. Bortoletto Junior (2008) com o *Pinus merkussi* encontrou média percentual de 5,3% e Bortoletto *et al* (2003) com o Guapuruvu obteve 6,2%.

Este percentual ficou superior aos autores estudados, possivelmente devido à retirada das lâminas que não eram inteiras, mas que em um processo de produção de compensado normalmente são aproveitadas, diminuindo, desta maneira, as perdas e incrementando o rendimento. Além deste fator, acrescenta-se ao fato dos toretes não terem sido aquecidos previamente à laminação.

A perda total na laminação da *Cryptomeria japonica* foi de 50,17%, média percentual superior em até 16% comparado as perdas obtidas por Bortoletto Júnior (2008), Bortoletto *et al* (2003), Interamnense (1998) para *Eucalyptus cloeziana* e inferior a Interamnense (1998) para *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus punctata*, em 9 e 39% respectivamente.

Bonduelle *et al* (2006) descreveram que as perdas no arredondamento são destinadas à caldeira para a geração de energia térmica e cogeração dentro da

própria indústria. O rolo resto, normalmente, é destinado à produção de estrados para embalagens e sarrafos para fabricação de compensados sarrafeados.

5.1.1 Classificação das lâminas

No total foram obtidas 704 lâminas, sendo 38,64% de lâminas de alburno, 36,51% de lâminas de cerne e 24,86% de lâminas mistas. Estes valores representam em número de lâminas 272, 257 e 175 lâminas, respectivamente.

As lâminas do cerne estavam mais quebradiças e, como o estudo considerou somente lâminas inteiras para contagem, possivelmente esta foi a razão do número de lâminas de alburno terem sido superior às de cerne.

A utilização das lâminas mistas, com menor número obtido no estudo, não é recomendada para produção de painéis compensados, uma vez que as lâminas não possuem as características ideais para colagem, por apresentarem variações de porosidade e densidade em uma mesma lâmina.

A Figura 14 apresenta a porcentagem de lâminas de superfície limpa, de lâminas com nós de diâmetro máximo de 10mm e lâminas com nós acima de 10mm, onde pode ser observado que o maior número de lâminas ficou concentrado em lâminas com nós superior a 10mm de diâmetro, principalmente em lâminas de cerne. A porcentagem de número de lâminas de superfície limpa e diâmetro com nós de diâmetro máximo de 10mm ficou bem próxima, tendo as lâminas de alburno se destacando em ambas classificações. No total foram encontradas 110 lâminas de superfície limpa, 117 lâminas com presença de nós de diâmetro máximo de 10mm e 477 lâminas com presença de nós de diâmetro superior a 10mm.

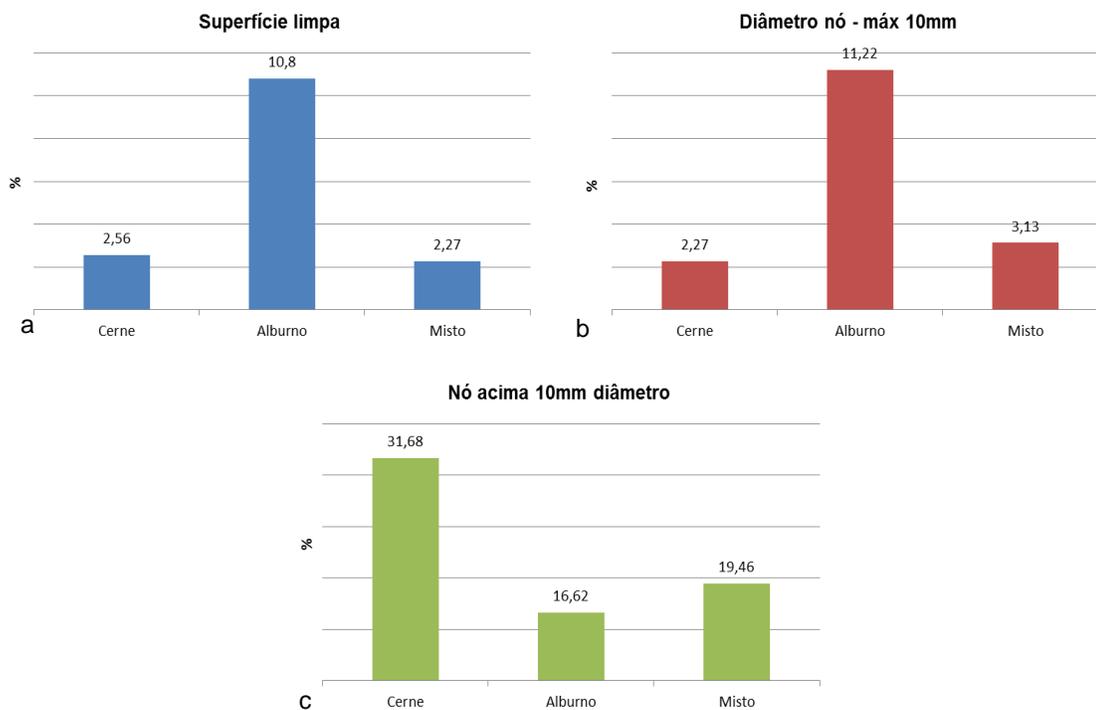


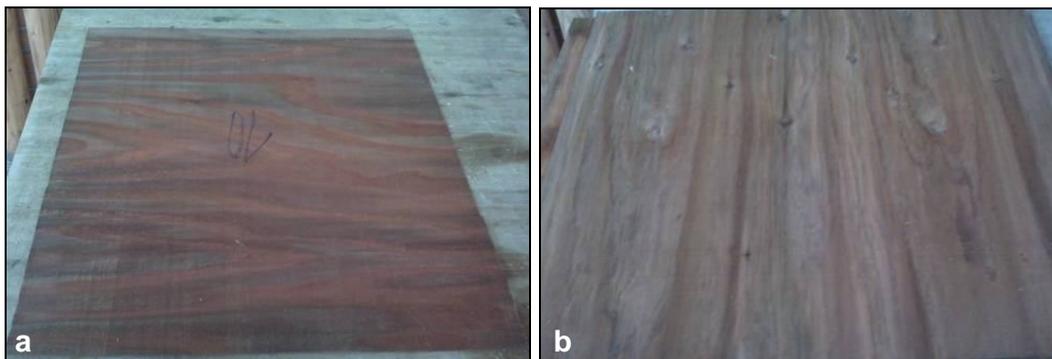
FIGURA 14 – PORCENTAGEM DE LÂMINAS PARA CADA CLASSIFICAÇÃO

NOTA: a) Lâminas com superfície limpa b) Lâminas com presença de nós de diâmetro máximo de 10mm c) Lâminas com presença de nós de diâmetro acima de 10mm

FONTE: A autora (2011)

Possivelmente, o fato das lâminas terem apresentado em maior quantidade nós acima de 10mm de diâmetro deve-se ao fato de pertencerem a um plantio sem tratamentos silviculturais efetivos.

A Figura 15 exemplifica as lâminas obtidas no processo de laminação.



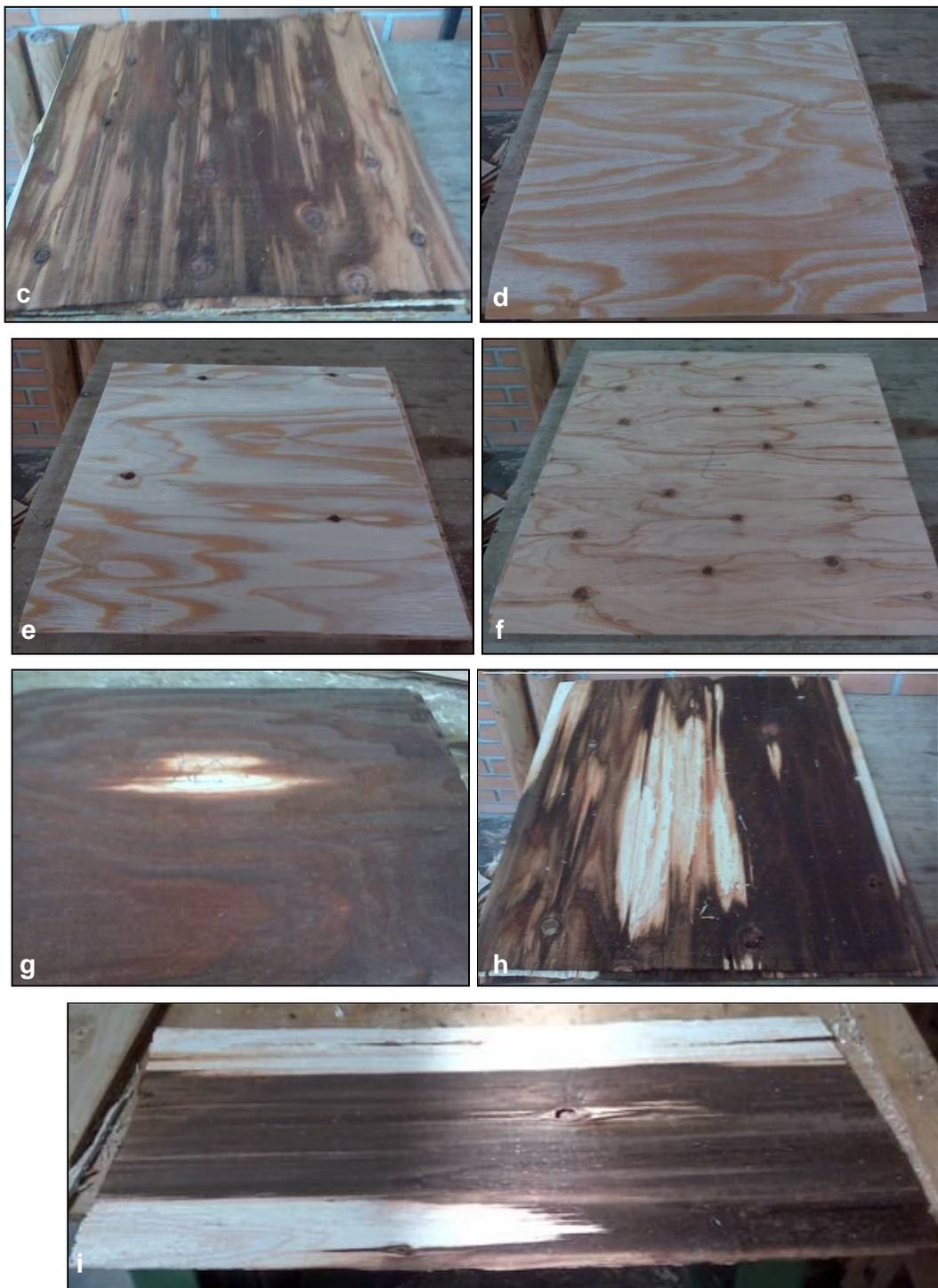


FIGURA 15 – LÂMINAS DE CERNE, ALBURNO E MISTAS

NOTA: a) b) c) Lâminas de cerne, d) e) f) Lâminas de alburno e g) h) i) Lâminas mistas

FONTE: A autora (2010)

5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

5.2.1 Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) em flexão estática dos painéis de colagem uréica estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 - FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR – COLAGEM URÉICA

*TRATAMENTOS	FLEXÃO PARALELA (MPa)		FLEXÃO PERPENDICULAR (MPa)	
	MOE	MOR	MOE	MOR
C – 270g/m ²	2592,58 b	21,83 b	1247,08 b	15,50 bc
A - 270 g/m ²	4842,08 a	37,30 a	1842,41 a	18,55 ab
AC - 270 g/m ²	5722,26 a	43,44 a	1290,06 b	12,07 c
C – 300g/m ²	2968,75 b	24,45 b	1140,52 b	15,13 bc
A – 300 g/m ²	5006,71 a	38,30 a	1355,16 b	12,19 c
AC - 300 g/m ²	5174,88 a	36,87 a	2000,69 a	22,07 a

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel de Alburno e Cerne

FONTE: A autora (2010)

A Tabela 12 apresenta que, na direção paralela, os painéis de alburno e mistos nas duas variações de gramatura foram superiores aos painéis compostos de lâminas de cerne, tanto no módulo de elasticidade como no módulo de ruptura.

Já na direção perpendicular, o módulo de elasticidade foi superior para os painéis de alburno de gramatura 270 g/m² e os painéis mistos de gramatura 300 g/m². Para o módulo de ruptura os painéis de lâminas de alburno de gramatura de 270 g/m² e os compostos de lâminas de alburno e cerne de gramatura de 300g/m² obtiveram resultados superiores. Na sequência, os painéis de cerne apresentaram melhor desempenho e por último, não se diferenciando estatisticamente, os painéis mistos de gramatura 270 g/m² e os painéis de alburno de gramatura de 300g/m².

Os painéis de alburno e mistos se destacaram nos resultados de flexão estática, uma vez que as lâminas de alburno possuem densidade superior e, no caso dos painéis mistos, estão dispostas na capa e contracapa.

A Tabela 13 apresenta os valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática dos painéis de colagem fenólica.

TABELA 13 - FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR – COLAGEM FENÓLICA

*TRATAMENTOS	FLEXÃO PARALELA (MPa)		FLEXÃO PERPENDICULAR (MPa)	
	MOE	MOR	MOE	MOR
C – 270g/m ²	3387,63 d	26,92 c	1638,30 b	19,00 bc
A - 270 g/m ²	8185,27 a	56,63 a	1243,71 b	17,08 c
AC - 270 g/m ²	7078,71 ab	45,85 ab	2396,88 a	26,71 a
C – 300g/m ²	4917,81 c	41,37 b	1509,93 b	18,82 bc
A - 300 g/m ²	5971,31 bc	39,96 bc	2223,27 a	25,35 ab
AC – 300 g/m ²	6494,21 ab	46,48 ab	1346,65 b	19,19 bc

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

FONTE: A autora (2010)

De acordo com a Tabela 13 os valores médios mais altos de MOE e MOR na direção paralela foram verificados para os painéis de alburno de gramatura 270g/m² e os mistos de gramatura de 270g/m² e 300g/m². Os painéis de cerne obtiveram os resultados médios mais baixos para o MOE e o MOR.

Já para os resultados de MOE e MOR na direção perpendicular, os painéis de alburno, gramatura 300g/m² e os painéis mistos de gramatura 270g/m² foram superiores. Este resultado reforça o fato da densidade das lâminas influenciarem a resistência mecânica dos painéis.

A Figura 16 e 17 sintetiza os resultados obtidos para o MOE e MOR respectivamente para os painéis uréicos (UF) e painéis fenólicos (FF).

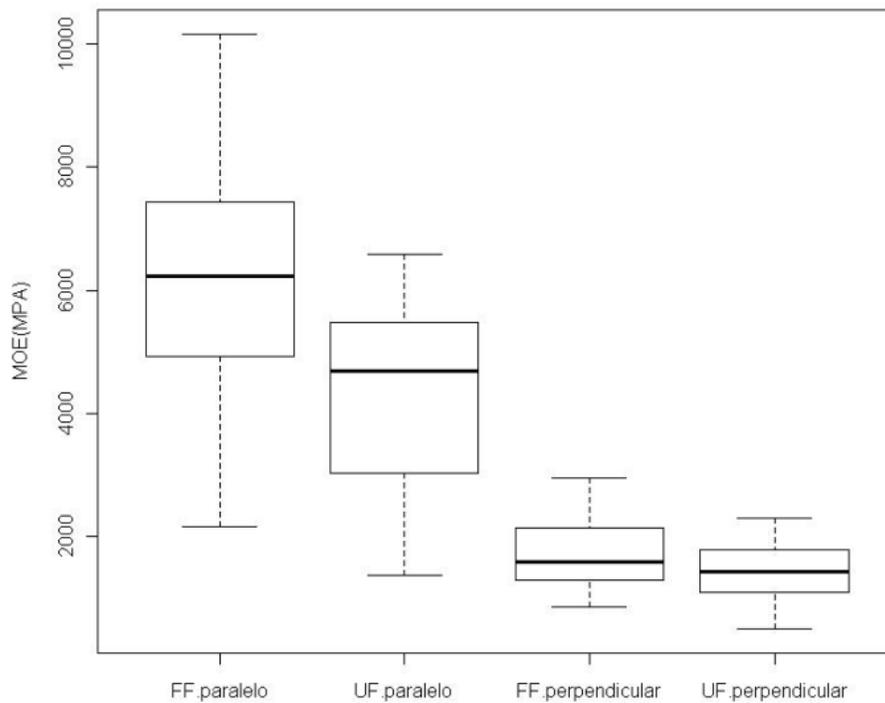


FIGURA 16 – INFLUÊNCIA DA RESINA E DIREÇÃO SOBRE O MOE

FONTE:A autora (2011)

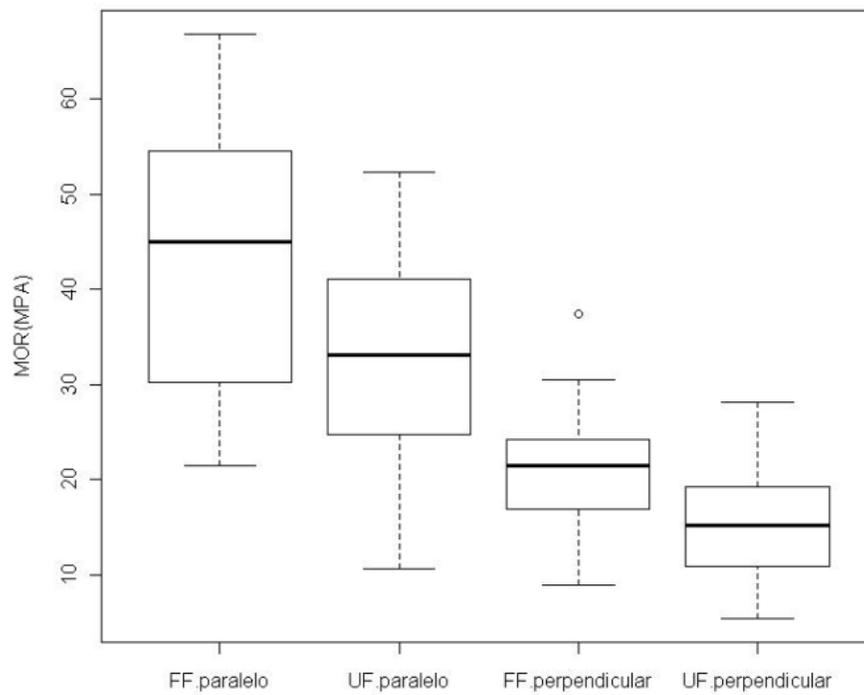


FIGURA 17 – INFLUÊNCIA DA RESINA E DIREÇÃO SOBRE O MOR

FONTE:A autora (2011)

A Tabela 14 apresenta que a variação na gramatura não teve influência nos resultados de flexão estática, tanto para os painéis de colagem uréica como para os painéis de colagem fenólica na direção paralela e perpendicular.

O fato da variação na gramatura de 270 g/cm² e 300 g/cm² não influenciar nos resultados de flexão estática revela uma informação importante que impacta positivamente nos custos de produção de uma fábrica, uma vez que é possível utilizar a gramatura menor, reduzindo o consumo de resina, que é um dos principais insumos na produção do painel de madeira compensada.

TABELA 14 – INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA

DIREÇÃO	FLEXÃO ESTÁTICA	RESINA URÉICA		RESINA FENÓLICA	
		270 g/cm ²	300 g/cm ²	270 g/cm ²	300 g/cm ²
Paralelo	MOE	34,19 a	33,01 a	43,13 a	42,60 a
	MOR	4385,64 a	4359,47 a	6.221,71 a	5.894,44 a
Perpendicular	MOE	15,38 a	16,52 a	20,93 a	21,12 a
	MOR	1.459,85 a	1.506,72 a	1.759,63 a	1.696,62 a

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

FONTE: A autora (2010)

Na Tabela 15 é apresentada a influência da composição do painel de colagem uréica na propriedade flexão estática. Pode ser evidenciado que os painéis de alburno e mistos são estatisticamente iguais entre si e superior no cerne para o MOE e MOR na direção paralela e MOE na direção perpendicular. Para o MOR na direção perpendicular a análise aponta que não há diferença na composição do painel.

TABELA 15 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL DE COLAGEM URÉICA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA

TRATAMENTO	PARALELO		PERPENDICULAR	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Cerne	23,13 b	2.780,66 b	15,33 a	1.193,80 b
	(23,92)	(24,01)	(24,36)	(32,73)
Alburno	37,77 a	4.919,55 a	15,37 a	1.598,78 a
	(15,03)	(12,46)	(28,12)	(19,98)
Misto	41,35 a	5.448,57 a	17,07 a	1.561,96 a
	(19,87)	(15,61)	(42,91)	(32,44)

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA2: Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

FONTE: A autora (2010)

A influência da composição do painel de colagem fenólica na propriedade flexão estática é apresentada na Tabela 16. O resultado do painel fenólico se diferenciou do painel uréico na direção perpendicular, em que no MOE e MOR não houve diferença estatística entre as diferentes composições.

TABELA 16 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL DE COLAGEM FENÓLICA NA PROPRIEDADE FLEXÃO ESTÁTICA

TRATAMENTO	PARALELO		PERPENDICULAR	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Cerne	34,15 b	4.152,72 b	18,91 a	1.574,11 a
	(33,79)	(32,88)	(29,83)	(24,82)
Alburno	48,29 a	7.078,29 a	21,22 a	1.738,49 a
	(25,23)	(20,48)	(29,21)	(33,77)
Misto	46,16 a	6.936,46 a	22,95 a	1.871,76 a
	(25,66)	(13,56)	(24,77)	(31,57)

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA2: Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

FONTE: A autora (2010)

A análise estatística que apresenta a influência da composição do painel, em geral reforça o resultado da análise geral para flexão estática em que os resultados dos painéis de alburno e os painéis mistos se destacaram.

Em virtude da coloração da lâmina de cerne ter uma forte aceitação no mercado externo e os valores médios de flexão estática obtidos no estudo serem inferiores aos painéis de alburno e mistos, recomenda-se a utilização de painéis com lâminas de cerne na capa e contracapa como decorativos, em que a aplicação estrutural não seja exigida.

Para efeito de ilustração, amostras dos corpos de-prova ensaiados podem ser visualizadas na Figura 18.



FIGURA 18 – CORPOS DE-PROVA DE FLEXÃO ESTÁTICA APÓS ENSAIO

FONTE: A autora (2010)

Na seqüência, são apresentados os resultados obtidos por outros pesquisadores para efeitos comparativos. Foram considerados painéis de espessura e número de lâminas mais próximas ao painel estudado.

Stella (2009) estudou a influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensados de paricá de espessura de 13mm e 5 lâminas, colados com resina ureia-formaldeído. As gramaturas utilizadas foram de 320 e 380 g/m², tempo de prensagem de 7 e 10

minutos e temperatura de prensagem de 100 e 120°C, a pressão adotada foi a mesma para as variações utilizadas.

Os valores médios obtidos por Stella (2009) nos tratamentos de MOE no sentido paralelo variaram de 4932,86 a 5402,98 Mpa. Quando comparado aos painéis de criptomeria de resina uréica, estes valores são superiores aos resultados dos painéis de cerne e dos painéis de alburno de gramatura de 270 g/m², para os demais painéis os resultados ficaram dentro desta variação e o painel composto de alburno e cerne, gramatura 270 g/m² apresentou média superior.

Para o MOR no sentido paralelo, os valores médios nos tratamentos encontrados por Stella (2009) variaram de 29,86 a 35,08 MPa. Comparando à criptomeria de colagem uréica, somente os painéis de cerne tiveram valores médios inferiores, no entanto, os demais painéis apresentaram valores médios superiores. No sentido perpendicular, os painéis de alburno, gramatura 270 g/m², e painéis composto de alburno e cerne, 300 g/m², apresentaram valores superiores encontrados por Stella (2009).

Em 2007, a ABIMCI divulgou através de um Catálogo Técnico, características mecânicas do painel de madeira compensada de pinus (nacional) de colagem fenólica para diversas espessuras, com base nos resultados de ensaios de diversos fabricantes brasileiros. Para o painel de 12mm com 5 lâminas, o valor médio de MOE e MOR na direção paralela é de 5139,78 e 45,36 MPa respectivamente.

Os valores médios de MOE no presente estudo, em geral, superam os valores dos painéis de pinus. Somente o painel de cerne, gramatura 270 g/m² apresentou valor médio inferior aos valores divulgados por ABIMCI (2007). Os valores de MOR foram superiores a 45,36 MPa nos painéis de alburno e mistos de gramatura 270 g/m² e mistos de gramatura 300 g/m².

Na direção perpendicular, os valores de MOE e MOR encontrados para criptomeria no presente estudo foram inferiores aos divulgados pela ABIMCI (2007), em que o valor médio de MOE é de 2590,96 MPa e no MOR de 32,05 MPa.

É importante ressaltar que a espessura do painel de criptomeria deste estudo é de 10mm, com 5 lâminas, ou seja, espessura inferior ao painel comparado do Catálogo Técnico divulgado por ABIMCI (2007).

Quando os painéis de criptomeria de colagem fenólica deste estudo são comparados aos resultados de Prata (2006) para painéis de pinus de 12mm com 5 lâminas, de empresas que possuem controle de qualidade, pode-se verificar que os mesmos apresentaram comportamento similar à comparação realizada para os painéis de ABIMCI (2007).

5.2.2 Cisalhamento de linha de cola

A Tabela 17 apresenta os valores médios obtidos no ensaio de cisalhamento para os painéis de colagem uréica, onde pode ser observado que no tratamento a seco não existe diferença estatística, independentemente da composição e variação de gramatura utilizada na fabricação dos compensados. Da mesma forma, no pré-tratamento 24horas em água a temperatura ambiente observa-se que os painéis de cerne de gramatura 300 g/m² e alburno de gramatura 270 g/m² foram superiores e são estatisticamente iguais às demais composições e variação de gramatura, com exceção do painel misto de gramatura 300 g/m² que difere estatisticamente e apresentou a menor média de tensão.

TABELA 17 - CISALHAMENTO – VALORES DE TENSÃO N/mm² – COLAGEM URÉICA

*TRATAMENTOS	SECO	24h EM ÁGUA T.A
C – 270g/m ²	0,80 a	0,73 ab
A - 270 g/m ²	0,81 a	0,82 a
AC - 270 g/m ²	0,69 a	0,73 ab
C – 300g/m ²	0,92 a	0,82 a
A - 300 g/m ²	0,80 a	0,76 ab
AC – 300 g/m ²	0,71 a	0,51 b

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

FONTE: A autora (2010)

A Tabela 18 mostra os valores médios obtidos para tensão no ensaios de cisalhamento dos painéis fenólicos, evidenciando que não houve influência da variação da gramatura e composição do painel nos corpos de prova sem tratamento (seco) e no pré-tratamento ciclo de fervura. Entretanto, no pré-tratamento 24 horas em água em temperatura ambiente, o melhor resultado foi para os painéis de alburno de gramatura 300 g/cm², que são estatisticamente iguais para os painéis de cerne e mistos de gramatura 270 g/cm² e ao painel de cerne de gramatura 300 g/cm².

TABELA 18 - CISALHAMENTO – VALORES DE TENSÃO N/mm² – COLAGEM FENÓLICA

*TRATAMENTOS	SECO	24h EM ÁGUA T.A	(CICLO FERVURA)
C – 270g/m ²	1,05 a	0,83 ab	0,70 a
A - 270 g/m ²	1,02 a	0,76 b	0,75 a
AC - 270 g/m ²	1,06 a	0,92 ab	0,77 a
C – 300g/m ²	1,20 a	0,85 ab	0,80 a
A - 300 g/m ²	1,03 a	1,09 a	0,77 a
AC – 300 g/m ²	1,08 a	0,79 b	0,73 a

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

FONTE: A autora (2010)

A variação da gramatura não teve influência na propriedade cisalhamento na linha de cola, conforme pode ser observado na Tabela 19. Em geral os valores médios foram superiores para a gramatura 300 g/cm².

TABELA 19 – INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

GRAMATURA	RESINA URÉICA			RESINA FENÓLICA		
	SECO	24h EM ÁGUA T.A	CICLO FERVURA	SECO	24H EM ÁGUA T.A	CICLO FERVURA
270 g/cm²	0,77 a	0,76 a	-	1,04 a	0,84 a	0,74 a
300 g/cm²	0,81 a	0,69 a	-	1,10 a	0,91 a	0,75 a

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2: Os valores são em MPa

FONTE: A autora (2010)

A Tabela 20 apresenta que para resina uréica, no tratamento a seco, a composição não influenciou nos resultados de cisalhamento de linha de cola. No entanto, no pré-tratamento 24 horas em água a temperatura ambiente, os painéis de alburno são estatisticamente iguais aos painéis de cerne e se diferem estatisticamente aos painéis mistos. Já para os painéis colados com resina fenólica, é mostrado que as diferentes composições não diferem estatisticamente no tratamento a seco, no pré-tratamento 24 horas em água a temperatura ambiente, assim como no pré-tratamento ciclo de fervura.

TABELA 20 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO PAINEL NA PROPRIEDADE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA

TRATAMENTO	RESINA URÉICA			RESINA FENÓLICA		
	C	A	AC	C	A	AC
Seco	0,86 a	0,81 a	0,70 a	1,13 a	1,03 a	1,07 a
5.1.1 (24h em água T.A)	0,77 ab	0,78 a	0,62 b	0,84 a	0,93 a	0,86 a
Ciclo fervura				0,75 a	0,73 a	0,75 a

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2: C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

FONTE: A autora (2010)

São apresentadas nas Figuras 19 e 20 o número de corpos de prova aprovados na verificação da qualidade de colagem dos painéis de colagem uréica e fenólica, respectivamente, de acordo com a norma europeia EN 314. Ressalta-se que para cada composição de painel, 15 corpos de prova foram ensaiados, totalizando 90 corpos de prova para cada pré-tratamento.

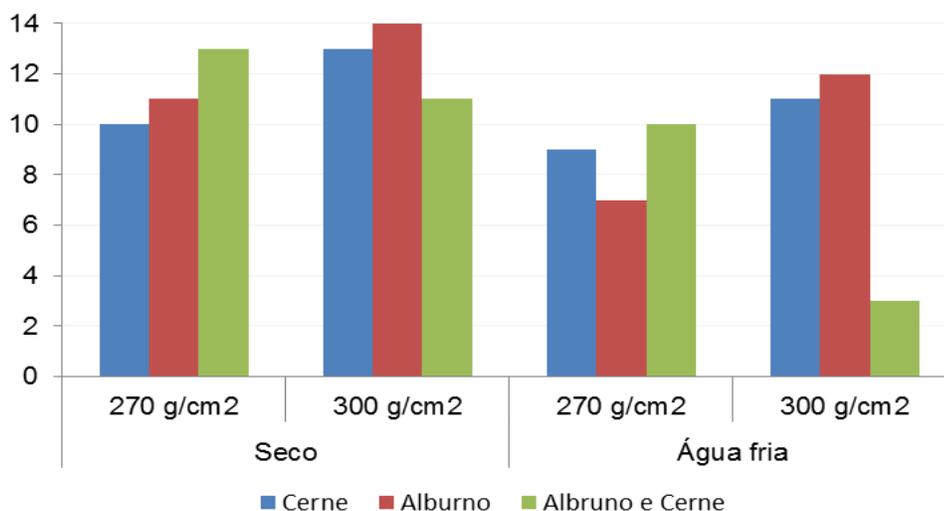


FIGURA 19 – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA APROVADOS NA VERIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE COLAGEM DOS PAINÉIS URÉICOS

FONTE: A autora (2011)

Os resultados obtidos no tratamento a seco e no pré-tratamento 24 horas em água a temperatura ambiente não atendem à exigência da norma europeia. 42% dos corpos de prova não cumpriram aos requisitos mínimos, conforme apresentado na tabela 06 do presente estudo.

Os painéis de colagem fenólica obtiveram resultados superiores aos painéis de colagem uréica, conforme pode ser observado na Figura 20.

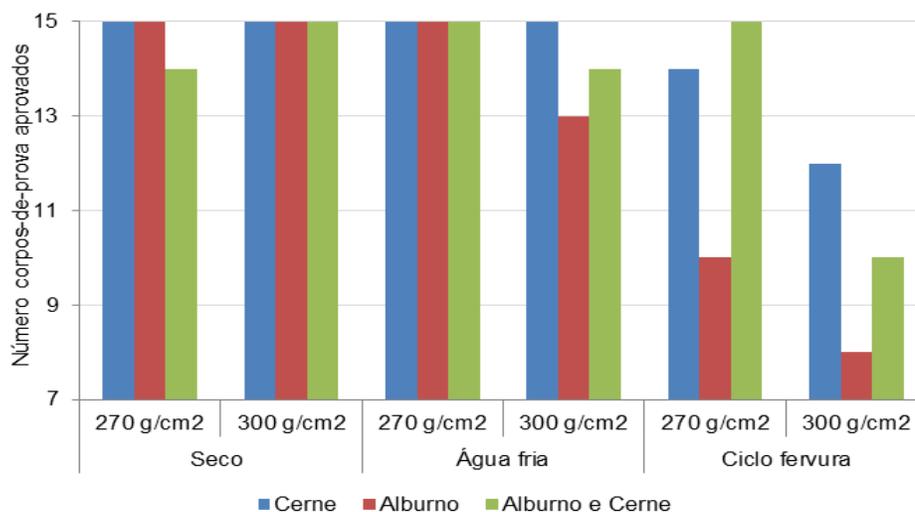


FIGURA 20 – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA APROVADOS NA VERIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE COLAGEM DOS PAINÉIS FENÓLICOS

FONTE: A autora (2011)

Os corpos de prova sem tratamento atingiram os requisitos mínimos da norma europeia, assim como no pré-tratamento 24 horas em água a temperatura ambiente. Já o pré-tratamento ciclo de fervura, 22% dos corpo de prova não cumpriram com às exigências da norma europeia EN 314.

Como o processo de colagem depende de diversos fatores, uma série de itens pode ter influenciado para que a colagem não tenha sido efetiva. No entanto, a superfície das lâminas, em geral, apresentou-se bastante rugosa, podendo ter influenciado em uma linha faminta, outro fator pode estar relacionado à gramatura da cola, que foi trabalhada um pouco abaixo e um pouco acima do mínimo indicado pelo PNQM.

A Figura 21 exemplifica um corpo de prova testado.



FIGURA 21 – CORPO DE PROVA TESTADO PROPRIEDADE QUALIDADE DE COLAGEM

FONTE: A autora (2011)

5.3 DENSIDADE

O presente estudo obteve valores médios de massa específica da madeira de 0,393 e 0,473 g/cm³ em madeira de cerne e alburno respectivamente. Carneiro, Bittencourt e Muniz (2009), obtiveram valor médio de massa específica básica de 0,255 g/cm³ para *Cryptomeria japonica* de 14 anos. Pereira *et al* (2003) obtiveram valor médio de 0,360 g/cm³ de árvores de 22 anos.

O fato da massa específica obtida para a criptomeria deste estudo ser superior ao valor encontrado pelos demais pesquisadores descritos anteriormente, pode ser atribuído à maior idade do plantio.

Considerando a variação da densidade entre o cerne e alburno, tendo o cerne apresentado valor inferior ao alburno, recomenda-se a utilização de lâminas de cerne no miolo do painel de madeira compensada e a lâmina de alburno na capa e contracapa, por oferecer maior resistência à compressão.

Salienta-se que o fato do cerne ter apresentado densidade inferior ao alburno pode ser devido à presença madeira juvenil ou pela presença de cerne quebradiço.

Os valores médios encontrados para densidade de painéis colados com resina ureia formaldeído (UF) e com resina fenol formaldeído (FF) são apresentados na Tabela 21 e 22 respectivamente.

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DOS PAINÉIS UF

TRATAMENTO	DENSIDADE PAINÉIS (g/cm ³)	CV(%)
C – 270g/m ²	0,395 d	5,40
A - 270 g/m ²	0,487 b	6,96
AC - 270 g/m ²	0,461 c	5,97
C – 300g/m ²	0,393 d	4,17
AC - 300 g/m ²	0,510 a	3,78
A – 300 g/m ²	0,476 bc	3,12

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (95% de confiança).

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

NOTA 3: CV = Coeficiente de variação

FONTE: A autora (2010)

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DOS PAINÉIS FF

TRATAMENTO	DENSIDADE PAINÉIS (g/cm ³)	CV(%)
C – 270g/m ²	0,435 c	4,93
A - 270 g/m ²	0,509 a	4,36
AC - 270 g/m ²	0,526 a	4,40
C – 300g/m ²	0,466 b	5,69
A - 300 g/m ²	0,520 a	4,07
AC – 300 g/m ²	0,486 b	3,65

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (95% de confiança).

NOTA 2:* C=Painel de Cerne, A=Painel de Alburno, AC=Painel Misto

NOTA 3: CV = Coeficiente de variação

FONTE: A autora (2010)

Os painéis de alburno e os painéis mistos, em geral, foram os que apresentaram os melhores resultados, tendo os painéis de cerne a densidade mais baixa. Este resultado é coerente, uma vez que a massa específica da madeira de

cerne é inferior à madeira de alburno. Com relação à variação na gramatura, a análise estatística não evidenciou influência sobre a densidade dos painéis (Tabela 23).

TABELA 23 – INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA PROPRIEDADE DENSIDADE

GRAMATURA	RESINA URÉICA		RESINA FENÓLICA	
	ME (g/cm ³)	CV (%)	ME (g/cm ³)	CV (%)
270 g/cm²	0,444 a	11,12	0,490 a	9,28
300 g/cm²	0,462 a	10,83	0,491 a	6,39

NOTA1: Método Tukey, médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

NOTA 2: Os valores são em MPa

FONTE: A autora (2010)

De acordo com a norma EN 13986, os valores de densidade são referenciais para as propriedades de reação ao fogo, permeabilidade ao vapor de água e condutividade térmica. Dentro deste contexto somente os painéis de cerne de colagem uréica não atenderam o valor mínimo na determinação de reação ao fogo que indica um valor mínimo de densidade de 400 kg/cm³.

Os valores médios obtidos na análise estatística entre as diferentes composições dos painéis são apresentadas na Figura 22. A análise revelou que a massa específica dos painéis de alburno e mistos são estatisticamente iguais, tanto para os painéis uréicos (UF) como para os painéis fenólicos (FF).

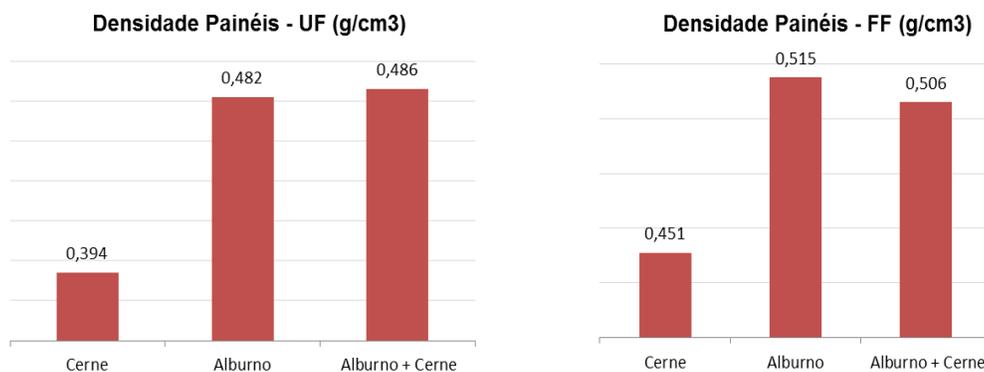


FIGURA 22 – RESULTADO MÉDIO DA DENSIDADE ENTRE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DOS PAINÉIS

FONTE: A autora (2010)

Levando em consideração que não há estudos com painel de compensado de criptomeria plantada no Brasil e que o paricá (*Schizolobium amazonicum*) é uma espécie tropical de rápido crescimento, sendo amplamente plantada no norte do Brasil e suas lâminas já são utilizadas na produção de painéis compensados, o painel desta espécie foi utilizado para comparação dos resultados obtidos para *Cryptomeria japonica* para painéis de colagem uréica.

Sendo assim, Stella (2009) encontrou, valores médios de massa específica variando de 0,348 g/cm³ a 0,364 g/cm³, dentre 4 tratamentos estudados. Estes valores podem ser em até 32% inferiores quando comparado aos valores médios encontrados nos tratamentos aplicados para criptomeria.

Para os painéis colados com resina fenólica, o compensado de pinus foi utilizado para comparação. No Catálogo Técnico da ABIMCI (2002) de *pinus spp* foi apresentado valor médio de densidade de 0,565 g/cm³ para o painel de 9mm, com 5 lâminas. O valor médio mais baixo encontrado na análise dos tratamentos de criptomeria é de 23% inferior ao de pinus e quando comparado ao valor médio mais alto, o valor cai para 7% inferior.

Um pesquisa conduzida por Suzuki (2005) utilizando a criptomeria como matéria-prima na produção de painel compensado, encontrou para painéis de espessura de 9mm com 3 lâminas densidade de 0,437 a 0,431 g/cm³. Com base nestes resultados, observa-se que os valores encontrados no presente estudo estão levemente superiores.

6. CONCLUSÃO

O rendimento médio do processo de laminação de 49,86% revela a *Cryptomeria japonica* como uma espécie satisfatória para laminação.

A maior perda no processo de laminação está balanceada na etapa de arredondamento das toras e no manuseio, a qual inclui a desclassificação de lâminas não inteiras.

O maior número de lâminas obtidas foi de alburno. No que diz respeito à qualidade, a maior porcentagem ficou concentrada para lâminas de cerne com presença de nós de diâmetro superior à 10mm.

Para a propriedade flexão estática, módulo de elasticidade e módulo de ruptura, na direção paralela e perpendicular, os painéis de colagem uréica de alburno e os mistos se destacaram, encontrando-se dentro ou até superiores aos valores para painéis de paricá pesquisados.

Nos painéis fenólicos, os resultados de MOE na direção paralela, com exceção do painel de cerne de gramatura 270 g/cm², foram superiores aos valores referenciados por ABIMCI (2007). Os resultados de MOR foram superiores nos painéis de alburno de gramatura de 270 g/cm² e nos painéis mistos de gramatura de 270 g/cm² e 300 g/cm².

Na direção perpendicular, os resultados de MOE e MOR foram inferiores aos divulgados pela ABIMCI (2007).

Os resultados obtidos para qualidade de colagem dos painéis revelou que os parâmetros utilizados para produção dos painéis uréicos não foram satisfatórios, uma vez que os requisitos mínimos da tabela 2 da norma EN 314-2 não foram atingidos.

Os painéis de colagem fenólica se revelaram aptos a serem utilizados em ambiente interno seco.

A análise da densidade confirmou que os painéis de madeira de cerne possuem a densidade mais baixa que os formados com lâminas de alburno e os painéis mistos. A densidade do painel de criptomeria foi inferior aos painéis de pinus e superior aos painéis de paricá pesquisados.

A variação da gramatura não teve influência nos resultados de flexão estática, cisalhamento na linha de cola e densidade. Para as composições, os painéis de alburno e mistos em geral, foram os que apresentaram os melhores resultados. Salienta-se que na propriedade de cisalhamento de linha de cola, a composição não teve influência nos painéis fenólicos e nos painéis uréicos, no tratamento a seco. No pré-tratamento 5.1.1, os painéis de alburno e cerne se destacaram. Na flexão, somente no MOR, sentido perpendicular, a composição dos painéis não teve influência nos resultados.

Com base nos resultados das análises dos ensaios de flexão, cisalhamento e densidade e em comparação com resultados obtidos por outros pesquisadores para os painéis de pinus e paricá, conclui-se que a madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta potencial para produção de painéis de madeira compensada.

6 RECOMENDAÇÕES

Levando em consideração o contexto apresentado inicialmente e as conclusões obtidas, recomenda-se:

- a) Realizar o cozimento dos toretes para analisar uma possível melhora na qualidade de superfície das lâminas e aumento do rendimento do processo de laminação;
- b) Pesquisas com outras gramaturas de batida de cola visando o atendimento da norma europeia na propriedade de cisalhamento de linha de cola;
- c) Utilização de lâminas de cerne da criptomeria para lâminas decorativas e na composição de painéis compensados com lâminas de alburno, tendo o alburno como lâmina de capa e contracapa;
- d) Pesquisas que analisem o incremento das propriedades mecânicas dos painéis considerando lâminas de capa e contracapa de eucalipto.
- e) Pesquisas que analisem a emissão de formaldeído dos painéis de colagem uréica, que é uma exigência de mercado.

REFERÊNCIAS

ABIMCI. **Fluxograma de produção de lâminas de madeira.** Artigo Técnico nº 19. Curitiba. 2004.

ABIMCI. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades.** Artigo Técnico nº 1. Curitiba. 2003.

ABIMCI. **Painéis de compensado de pinus.** Catálogo Técnico. Curitiba. 2002.

ABIMCI. **Painéis de compensado de pinus.** Catálogo Técnico. Curitiba. 2007.

BALDWIN, R. F. **Plywood Manufacturing practices.** San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326p

BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas.** Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, mar. 2008.

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

BORTOLETTO JUNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas, através de **Scientia Forestalis**, V. 36, n. 78, p. 95-103, 2008.

CARPANEZZI, A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E. R.; REIS, A; VIEIRA, A. .R. R. V.; ROTTA, E.; STURION, A J. A.; RAUEN, M. J.; SILVEIRA, R. A. S. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina.** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 103 p. (Documento, n. 21).

CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. de. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 913-920, 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310** – Determinação do módulo de elasticidade. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 314:1** - Colagem do Compensado de Madeira – Qualidade – Parte1: Método de Teste. Bruxelas 1996.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 314-2** - Colagem do Compensado de Madeira – Qualidade – Parte 2: Exigências de Teste. Bruxelas, 1996.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 323** – wood based panels – determination of density. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 325** – wood based panels – determination of dimensions of test pieces. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 326-1** – sampling, cutting and inspection of wood based panels products. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 12369-2** – - Wood-based panels – characteristic values for structural design – Part 2 – Plywood. Bruxelas, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 13986** - Wood-based panels for use in construction . Characteristics, evaluation of conformity and marking. Bruxelas, 2004.

EUROPEAN FEDERATION OF THE PLYWOOD INDUSTRY. CE Marking Guarantee for Plywood. Disponível em: http://europlywood.satelithost.be/uploads/images/PDFfiles/112114_1_EN.pdf, 2007. Acesso em: 30/11/2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook** - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL GTR 113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. 463 p. 1999.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook** - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL GTR 190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. 509 p. 2010.

GAY, P. **L'Atlas du bois**. Paris: Editions de Monza, 2001.

GÉRARD, J.; GUIBAL, D.; BEAUCHÊNE, J.; FOUQUET, D.; LANGBOUR, P.; THEVENON, M. F.; THIBAUT, A.; VERNAY, M. TROPIC 6.0: Caractéristiques technologiques de 215 essences tropicales. Montpellier: **CIRAD-Forêt**, 2008.
Disponível em:
< <http://tropix.cirad.fr/asia/sugi.pdf> >. Acesso em: 15/02/2011.

HSU, W.; E. Wood quality requirements for panel products. **CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop**, 1997.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensados**. Curitiba, 1998, 81p. Dissertação. Universidade Federal do Paraná.

ISHIGURI, F.; MARUYAMA, S.; TAKAHASHI, K.; ABE, Z.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, M. A. N. Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. **Journal of Wood Science**, v49, p. 135-139, 2003.

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

IWAKIRI, S.; SILVA, J. C.; SILVA, J. R. M.; ALVES, C. R.; PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L.E. *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p 371-375, 2002.

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

LUTZ, J.F. **Wood veneer. Log selection, cutting and drying**. USDA Technical bulletin 1577 1978.

MATOS, J. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de Lâminas Paralelas de *Pinus taeda* L.** 115p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 1997.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento nas lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade de colagem de compensados fenólicos de**

Pinus elliottii. Curitiba. 1986 81p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

NEW ZEALAND PINE MANUFACTURES ASSOCIATION INC. Plywood & LVL. Disponível na Internet via [www.<http://www.pine.net.nz/resources/faqs/userguide/16%20Plywood%20&%20LV L.pdf>](http://www.pine.net.nz/resources/faqs/userguide/16%20Plywood%20&%20LV L.pdf)(acessado em 17 de junho de 2011).

PARK, H.M., FUSHITANI, M. Effects of component ratio of the face and core laminae on static bending strength performance of three-ply cross-laminated wood panels made with sugi (*CRYPTOMERIA JAPONICA*). **Wood and Fiber Science**, 38 (2), 2006, pp278-291.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da madeira do cedrinho japonês**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Comunicado técnico, n. 88).

PIO, N.S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados**. Curitiba. 1996 101p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

PRATA, J.G. **Desempenho de um sistema de qualidade de uma fábrica de painéis compensados**. Curitiba. 2006 106p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

PROGRAMA NACIONAL DA QUALIDADE DA MADEIRA. Parâmetros para compensados de madeira tropical e pinus PNQM-CT e PNQM-CP - Rev.05, 2009.

SELLERS, T. **Plywood and adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SUZUKI, S. **Using cedar plantation materials for wood based composites in Japan**. USDA Proceedings of Scientific Session 90, XXII IUFRO World Congress. 2005.

STELLA, J. C. **A influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensado de paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. Curitiba. 2009 51p. TCC. Universidade Federal do Paraná.

THOEMEN, H., IRLE, M., SERNEK, M. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Brunel University Press. Londres, 2010.

TORQUATO, P. L. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no BRASIL**. Curitiba. 2008 93p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná.

UMAÑA, C. L. A, BRITO, E. O, Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas, **Revista da Madeira**, nº78, ano13, 2004.

ZHU, J.; TADOOKA, N.; TAKATA, K. Growth and wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) planted in Akita prefecture (II). Juvenile/mature Wood determination of aged trees. **Journal of Wood Science**, v51, p. 95-101, 2005.

ANEXOS

- ANEXO 01 – Boletim técnico Cascamite PL-2030
- ANEXO 02 – Boletim técnico Cascophen HL-7090

CASCAMITE PL-2030Parte da marca **CASCO®** pertencente à Hexion**PRENSA QUENTE****ALTO TACK - BAIXA EMISSÃO DE FORMOL****CASCAMITE PL-2030 É UMA RESINA, LÍQUIDA,
À BASE DE URÉIA-FORMOL.****APRESENTADA EM SOLUÇÃO AQUOSA, DESTINA-SE À FABRICAÇÃO DE
COMPENSADOS MOVELEIROS, PORTAS, DIVISÓRIAS, FOLHEAÇÕES, DENTRE
OUTRAS COLAGENS DAS INDÚSTRIAS MADEIREIRA E MOVELEIRA****CARACTERÍSTICAS**

Aspecto do produto	Líquido, branco leitoso
Teor de sólidos (0,5g/3h/105°C), %	64 – 66
Viscosidade (Brookfield , 3/60/25°C), cP	600 – 1000
pH (25°C)	7,4 - 8,0
Densidade (25°C), g/cm ³	1,2770 - 1,2870
Formol livre (na data da fabricação), %	Máximo 1,0

Cascamite PL-2030 é classificada como uma resina de baixa emissão de formol, sendo portanto indicada para as colagens onde esta exigência seja primordial.

Por possuir “alto tack”, ou seja, alta pega à temperatura ambiente, **Cascamite PL-2030** é especialmente indicada para as linhas de produção onde haja a pré-prensagem dos painéis (prensagem à frio), antecedendo o carregamento automático ou manual da prensa quente.

A alta pega da **Cascamite PL-2030** manterá os painéis formados, facilitando o carregamento e evitando as inconvenientes dobras de capas e deslocamentos de miolos (formação de “janelas”).

FÓRMULAS PARA MISTURA

	A	B	C	D
CASCAMITE PL-2030	100	100	100	100
FARINHA DE TRIGO	35	50	65	80
ÁGUA	35	50	70	85
PREPARADO ENDURECEDOR K-6	1,5 a 2,5	1,5 a 2,5	2,0 a 3,0	2,0 a 3,0

Os números referem-se a partes por peso.
A quantidade de água pode ser variada para o ajuste da viscosidade.

HEXION™

CASCAMITE PL-2030 – Prensa Quente

COMO PREPARAR A COLA:

Inicialmente colocar na batedeira boa parte da água separando o restante para a dissolução do Endurecedor, juntar a farinha de trigo, batendo sempre até conseguir mistura homogênea. Em seguida, juntar a resina **Cascamite PL-2030** e bater até total homogeneidade. Adicionar então a solução de Endurecedor previamente preparada batendo igualmente até sua perfeita incorporação à mistura.

ESCOLHA DO EXTENSOR:

O extensor é utilizado para obter maior rendimento, com a finalidade de concorrer para o bom resultado da colagem, tanto de ordem técnica como econômica. À proporção que se aumenta a quantidade de extensores diminui a resistência à água. A farinha de trigo é comumente usada como extensor.

A nova geração de resinas à que pertence a **Cascamite PL-2030** permite a obtenção de compensados utilizando maiores níveis de extensão que as resinas convencionais de baixa emissão de formol.

As fórmulas “A” e “B” são indicadas para a produção de compensados com maiores níveis de exigências (painéis tipo exportação), enquanto que as fórmulas “C” e “D” nos darão excelente qualidade de painéis para o atendimento das exigências impostas pelo mercado brasileiro.

ESCOLHA DO PREPARADO ENDURECEDOR:

Preparado Endurecedor é o produto destinado a provocar o endurecimento da mistura após determinado tempo e que varia com a temperatura ambiente. O endurecimento ocorre muito rapidamente com a alta temperatura dos pratos da prensa.

O Preparado Endurecedor K-6 é apresentado na forma sólida, sendo tradicionalmente utilizado na proporção 1,5 a 2,5 partes por peso em relação à **Cascamite PL-2030**. Por se tratar do Endurecedor que oferece o menor tempo de polimerização para as resinas de baixa emissão de formol, como é o caso da **Cascamite PL-2030**, deve ser utilizado nas fábricas onde os tempos de montagem dos painéis, carregamento e fechamento da prensa sejam curtos. Este é um sistema altamente eficiente nas linhas de produção onde são utilizadas pré-prensa e dispositivos automáticos de carregamento da prensa quente.

Para as linhas de produção onde seja necessário sistema de Endurecedor mais lento, o Preparado Endurecedor M-4, poderá, na proporção de 5 a 7 partes por peso, substituir o Endurecedor K-6.

INDICAÇÕES PARA ESPALHAR A COLA:

A distribuição da cola sobre a lâmina deve ser feita com o auxílio de espalhadeira ou passadeira, com rolos de borracha que devem ter 6 ranhuras em formas de V por centímetro, com 0,4 mm de profundidade (14 a 16 ranhuras por polegada, com uma profundidade de 1/64”).

A quantidade de cola preparada que deve ser espalhada por metro quadrado, varia de 320 a 380 gramas, de superfície dupla, variação esta dependente da espessura da lâmina empregada. Assim, para uma lâmina de 3 mm, empregaremos uma camada de 380 gramas, e, para uma de 1 mm, 320 gramas.

Também esta variação é dependente de superfície de madeira, uma vez que lâminas corrugadas (mal torneadas) exigem maiores quantidades de cola.

PRENSAGEM:

As peças devem ser prensadas entre 15 a 30 minutos após a aplicação da cola. Limites maiores requerem cuidados especiais e sugerimos consultar-nos nesses casos. Quanto maior for a temperatura ambiente, tanto mais rapidamente as peças devem ser prensadas, para evitar que a cola seque antes de ir à prensa. Por outro lado, é necessário um tempo mínimo de 8 a 10 minutos de espera antes da prensagem para possibilitar a penetração da cola na madeira.

TEMPO DE PRENSAGEM:

Com uma camada de cola preparada de 360 gramas por metro quadrado de superfície dupla, empregando **Cascamite PL-2030** com extensão de 65 partes e usando temperatura de 105°C, podemos calcular o tempo total da seguinte forma: toma-se a espessura em milímetros existente até a mais profunda linha de colagem, multiplica-se por 100 (cem) segundos. O número encontrado dividido por 60 (sessenta), será o tempo de prensagem em minutos.

UMIDADE DAS LÂMINAS:

O teor de umidade das lâminas é um fator importantíssimo na colagem, principalmente em prensa quente, uma vez que a umidade excessiva com temperaturas elevadas ocasionam falhas ou inutilização das colagens. O teor de umidade da madeira (lâmina, miolo, etc.) deverá ser controlado principalmente em função da temperatura de prensagem.

Para as prensagens com temperaturas entre 105 e 115°C, recomendamos para as camadas internas umidades na faixa de 7 a 9%, máximo 10%. Para capas e contra-capas é indicado o máximo de 12% de umidade.

TEMPERATURA DA PRENSA:

A temperatura de prensagem nos trabalhos com a **Cascamite PL-2030** deverá ser igual ou superior a 100°C, sendo a faixa de temperatura de 105 a 115°C a mais habitualmente empregada.

O uso de temperaturas mais altas poderá ser administrado com o objetivo de obter-se a redução do ciclo de prensagem. Sugerimos consultar-nos nestes casos.

PRESSÃO:

A pressão específica deve ser de 6 a 10 kgf/cm². Para madeiras denominadas moles, pressões maiores podem ocasionar sensível redução da espessura inicial.

EMBALAGEM:

Cascamite PL-2030 é comercializada em tambores com 250 kg e a granel.

O **Preparado Endurecedor K-6** é comercializado em sacos com 30 kg

O **Preparado Endurecedor M-4** é comercializado em bombonas com 210 kg

ARMAZENAGEM:

O produto deve ser armazenado em sua embalagem original, em temperatura ambiente de clima tropical, longe de fontes de calor e protegido da incidência direta de raios solares.

Cascamite PL-2030 - vida útil: 3 meses na temperatura de 20 °C e 5 semanas na temperatura de 30 °C.

É recomendável a utilização da **Cascamite PL-2030** até o limite de viscosidade de 2.000 cP.

Preparados Endurecedores - vida útil: 6 meses

SEGURANÇA NO MANUSEIO:

Tanto no manuseio da resina pura quanto da resina formulada, é recomendada a utilização de equipamentos de proteção individual, tais como luvas, avental, etc., evitando-se sempre o contato com a pele.

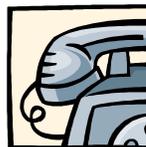
No caso de contato com a pele ou com os olhos, lavar a parte afetada com água em abundância até a remoção total do produto. Em caso de irritação, procurar cuidados médicos.

CLASSIFICAÇÃO PARA TRANSPORTE:

A **Cascamite PL-2030** não é classificada como produto perigoso, conforme Dec. 96.044 de 18/05/88 e Portaria 204 de 26/05/97.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO:

A Hexion Química dispõe da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ) para fornecimento, com detalhes de segurança e proteção individual, relativos à sua linha de produtos.



Rev.: 10

11/12/08

DOC 55 / Rev. 10

Este Boletim Técnico é apenas informativo não devendo ser usado como especificação, podendo ser alterado a qualquer momento pela Hexion sem qualquer consulta prévia.
As informações e recomendações aqui contidas constituem um serviço aos nossos clientes mas não os liberam de suas responsabilidades em pesquisar outras fontes de informação, nem do cumprimento de obrigações legais relativas à segurança da manipulação e ao uso do produto aqui referido.
Informações adicionais sobre aplicações podem ser solicitadas diretamente ao nosso Departamento Técnico. A Hexion não assume qualquer responsabilidade pelo uso inadequado de seus produtos.

CASCOPHEN HL-7090 HS

Parte da marca CASCO® pertencente à Hexion

RESINA FENÓLICA LÍQUIDA PARA COLAGENS À PROVA D'ÁGUA

PRENSA QUENTE ALTO SÓLIDOS - ALTO TACK

Cascophen HL – 7090 HS é uma resina líquida, à base de fenol-formol, em solução aquosa, especialmente desenvolvida para as colagens de madeiras dos mais variados tipos, onde as exigências primordiais sejam **alta qualidade e colagem totalmente à prova d'água**.

Cascophen HL-7090 HS diferencia-se das resinas convencionais existentes no mercado por seu **alto teor de sólidos**, conferindo um maior rendimento e qualidade às colagens, sendo portanto especialmente indicada para a fabricação de painéis multilaminados para uso naval, bem como outras utilizações onde a característica **“à prova d'água”** seja especificada, satisfazendo as exigências britânicas impostas aos painéis tipo **“W.B.P.”**.

CARACTERÍSTICAS	
Teor de Sólidos (1g/3h/105°C), %	52 – 54
Viscosidade Brookfield (LVF 2/30/25°C), cP	400 – 800
pH Típico (25°C)	12,0
Gel time (121°C), minutos	6 – 9

Cascophen HL-7090 HS por apresentar baixa reatividade à temperatura ambiente, oferece maior segurança nas operações de montagem, especialmente em climas quentes, como também maior segurança no carregamento manual da prensa quente. O tempo de prensagem não será afetado por esta característica da resina.

Por apresentar **alto tack**, a **Cascophen HL-7090 HS** apresenta excelente desempenho nas linhas de produção onde há a pré-prensagem à frio, oferecendo ótima compactação dos painéis e possibilitando um rápido e seguro carregamento manual ou automático da prensa quente.

Cascophen HL-7090 HS propicia a produção de painéis pré-prensados sem “capas dobradas”, “janelas” ou “cavalos”, comuns às resinas de baixo tack.

FÓRMULAS PARA MISTURA		
	A	B
CASCOPHEN HL-7090 HS	100	100
FARINHA DE TRIGO	20	25
ÁGUA	20	25

Obs.: Os números referem-se à partes por peso.
A quantidade de água poderá ser modificada para o ajuste da viscosidade da cola pronta.

ESCOLHA DO EXTENSOR:

A Hexion produz o Albex-9 que é uma farinha de casca de coco micro pulverizada, especialmente indicada nas formulações onde se deseja um compensado com excepcional resistência à água e fervura.

A substituição parcial ou total do Albex-9 por farinha de trigo, quando efetuada, deve ser de forma moderada, pois à medida que se aumenta a quantidade da farinha de trigo, baixa-se proporcionalmente a resistência à água.

INDICAÇÕES PARA ESPALHAR A COLA:

A distribuição da cola sobre a lâmina deve ser feita com o auxílio de passadeira com rolos de borracha tendo 18 ranhuras por plegada, com uma profundidade de 0,7 mm.

A quantidade de cola pronta a ser espalhada por metro quadrado depende de fatores tais como fórmula escolhida, espessura da lâmina, qualidade de laminação, etc., contudo a faixa de 360 a 380 gramas por metro quadrado de superfície dupla é suficiente para a maioria dos casos.

ASSEMBLAGEM DOS PAINÉIS:

Após a aplicação da cola e montagem dos painéis, recomendamos um tempo mínimo de assemblagem de 40 minutos, antes da introdução dos painéis na prensa quente. Tempos menores poderão resultar na formação de bolsas de vapor e, quando administrados, requererão cuidados especiais no controle da gramatura de cola e umidade das lâminas.

UMIDADE DAS LÂMINAS:

O controle do teor de umidade das lâminas é de grande importância, sendo recomendada a faixa de 4 a 6% para as camadas internas, podendo-se chegar até 8 a 12% para capas e contracapas.

TEMPERATURA DA PRENSA:

Para a obtenção da resistência máxima das colagens efetuadas com a **Cascophen HL-7090 HS**, recomendamos efetuar as prensagens em temperaturas superiores a 130°C, sendo a faixa de 130 a 140°C a mais habitualmente empregada.

TEMPERATURA DA PRENSA (°C)	130	135	140
TEMPO BASE, segundos	120	90	60
Mais para cada milímetro até a linha mais profunda de colagem, segundos	115	105	85

PRESSÃO:

A pressão específica deve ser de 10 a 15 kgf/cm².

EMBALAGEM:

Cascophen HL-7090 HS é comercializada em tambores com 250 kg e a granel.

Albex-9 é comercializado em sacos multifolhados com 30 kg.

ARMAZENAGEM:

O produto deve ser armazenado em sua embalagem original, em temperatura ambiente de clima tropical, longe de fontes de calor e protegido da incidência direta de raios solares.

Cascophen HL-7090 HS – vida útil: 3 meses na temperatura de 20 °C e 1 mês na temperatura de 30 °C.

É recomendável a utilização da **Cascophen HL-7090 HS** até o limite de viscosidade de 1.500 cP.

Albex-9 – vida útil: Indeterminada (em sua embalagem lacrada).

SEGURANÇA NO MANUSEIO:

Por se tratar de solução aquosa alcalina, no manuseio da **Cascophen HL-7090 HS** e das fórmulas com ela preparadas é recomendada a utilização de equipamentos de proteção individual, tais como luvas, avental, etc., evitando-se sempre o contato do produto com a pele.

No caso de contato com a pele ou com os olhos, lavar a parte afetada com água em abundância até a remoção total do produto. Em caso de irritação, procurar cuidados médicos.

CLASSIFICAÇÃO PARA TRANSPORTE:

A **Cascophen HL-7090 HS** é classificada como produto líquido tóxico não especificado, sob número ONU 2810, Classe de Risco 6.1, Grupo de Risco 68, conforme Decreto 96.044 de 18/05/88 e Portaria 204 de 26/05/97.

FICHA DE INFORMAÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO:

A Hexion Química dispõe da Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ) para fornecimento, com detalhes de segurança e proteção individual, relativos à sua linha de produtos.



SAC
(41) 3212 1600
0800-7012969

Este documento foi transmitido pôr via eletrônica e pôr esta razão não está assinado..

Emis.: A

Rev.: 2

03/10/2008

DOC 55 / Rev 2

Este Boletim Técnico é apenas informativo não devendo ser usado como especificação, podendo ser alterado a qualquer momento pela Hexion sem qualquer consulta prévia.

As informações e recomendações aqui contidas constituem um serviço aos nossos clientes mas não os liberam de suas responsabilidades em pesquisar outras fontes de informação, nem do cumprimento de obrigações legais relativas à segurança da manipulação e ao uso do produto aqui referido.

Informações adicionais sobre aplicações podem ser solicitadas diretamente ao nosso Departamento Técnico. A Hexion não assume qualquer responsabilidade pelo uso inadequado de seus produtos.