

UFRRJ

**INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Qualidade da Madeira Serrada e dos Painéis
Colados Lateralmente Obtidos de um Plantio de
Eucalyptus saligna Smith Visando o Segmento Moveleiro**

Kelysson de Freitas Amparado

2008



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

**QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA E DOS PAINÉIS
COLADOS LATERALMENTE OBTIDOS DE UM PLANTIO DE
Eucalyptus saligna Smith VISANDO O SEGMENTO MOVELEIRO**

KELYSSON DE FREITAS AMPARADO

Sob a orientação do Professor
Alexandre Monteiro de Carvalho

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

Seropédica, RJ
Julho de 2008

674

A526q

T

Amparato, Kelysson de Freitas, 1979-
Qualidade da madeira serrada e dos
painéis colados lateralmente obtidos de um
plantio de *Eucalyptus saligna Smith* visando
o segmento moveleiro / Kelysson de Freitas
Amparato - 2009.
47 f. : il.

Orientador: Alexandre Monteiro de
Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa
de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais.

Bibliografia: f. 37-42

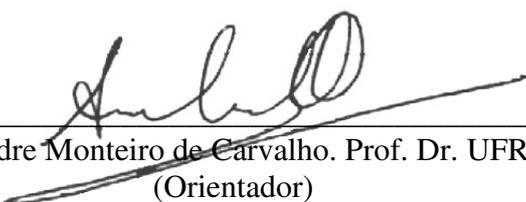
1. Madeira - Teses. 2. Madeira serrada
- Teses. 3. Eucalipto - Teses. 4.
Processamento da madeira - Teses. I.
Carvalho, Alexandre Monteiro de, 1971-.
II. Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais. III.
Título.

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

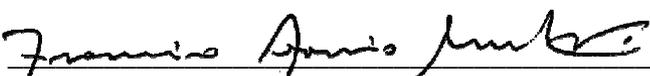
KELYSSON DE FREITAS AMPARADO

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

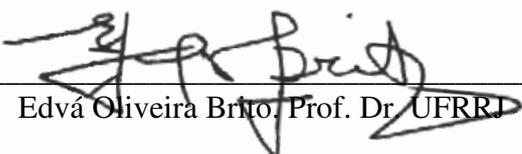
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 23/08/2008



Alexandre Monteiro de Carvalho, Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Francisco Antonio Rocco Lahr, Prof. Dr. EESC/USP



Edvá Oliveira Brito, Prof. Dr. UFRRJ

A Deus.

Aos meus estimados pais Arnaldo Lemos Amparado
e Vilma Fátima Freitas Amparado

Ao meu querido irmão Maycon de Freitas Amparado

AGRADECIMENTOS

A Deus e a meus pais

Ao meu grande amigo orientador Professor Doutor Alexandre Monteiro de Carvalho,

A CAPES pelo apoio relacionado à concessão da bolsa de estudos durante um ano.

Muito Obrigado...

BIOGRAFIA

KELYSSON DE FREITAS AMPARADO, filho de Arnaldo Lemos Amparado e Vilma Fátima Freitas Amparado, nasceu na cidade de Passos - MG, aos vinte e quatro dias de fevereiro do ano de 1979.

Em março de 2000 ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde se graduou em fevereiro de 2006 com o título de Engenheiro Florestal.

Iniciou em março de 2006, o curso de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESUMO

AMPARADO, Kelysson de Freitas. **Qualidade da Madeira Serrada e dos Painéis Colados Lateralmente Obtidos de um Plantio de *Eucalyptus saligna* Smith Visando o Segmento Moveleiro**. 2008. 51p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2008.

Neste trabalho foram avaliadas trinta árvores do gênero *Eucalyptus saligna* Smith, amostradas em um talhão de vinte anos de idade localizado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica/RJ. Cada árvore forneceu uma tora com 2,30 metros de comprimento cada uma, para o estudo do processo em escala piloto de obtenção de madeira serrada e painéis colados lateralmente (PCLs). O processamento das toras foi efetuado na serraria LPZ Madeiras e Artefatos Ltda., em Piraí/RJ, determinando-se o rendimento em madeira serrada. Posteriormente, as tábuas passaram pelo processo de secagem artificial, em câmara de secagem automatizada com condições controladas, no Laboratório de Secagem, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas da UFRuralRJ. Na avaliação qualitativa, foram avaliados os índices de defeitos na madeira após secagem. A seguir as tábuas foram levadas para o Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira do DPF/IF/UFRuralRJ, onde foram resserradas, produzindo sarrafos, que foram utilizados na confecção de painéis colados lateralmente e de um móvel (poltrona). Os painéis colados lateralmente foram produzidos a partir de quatro tratamentos, para comparação entre eles, sendo estes: painel simples com emendas de topo (T1), painel simples com emendas tipo “finger-joint” (T2), painel com dupla camada de sarrafos com emendas de topo (T3), e painel com dupla camada de sarrafos com emendas tipo “finger-joint” (T4). Foram quantificados o rendimento da conversão das toras em madeira serrada; os índices qualitativos de defeitos presentes nas tábuas após a secagem artificial; o rendimento da conversão da madeira serrada em painéis colados lateralmente (eliminando-se defeitos como rachaduras, nós soltos e empenamentos severos); e as propriedades de resistência dos PCLs através dos ensaios de cisalhamento e tração, adaptados ao material e seguindo procedimentos normativos do documento ABNT NBR 7190:1997 e ensaios de flexão orientados pelo documento normativo ASTM D-1037 (norma americana). Como exemplo prático da aplicação dos painéis colados de eucalipto foi produzido um móvel (poltrona), sendo discutidos e avaliados os problemas e soluções encontrados na aplicação do material estudado.

Palavras-chave: eucalipto, madeira serrada, painéis de eucalipto, processamento de madeira.

ABSTRACT

AMPARADO, Kelysson de Freitas. **Quality of the Sawnwood and Glued Panels Obtained of a *Eucalyptus saligna* Smith Plantation for Furniture Industry.** 2008. 51p. Dissertation (Master Science in Environmental and Forestry Science). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2008.

In this research were studied thirty trees of *Eucalyptus saligna* Smith wood, sampled in a twenty year-old plantation located in Seropédica/RJ. Each tree supplied a log with 2.30 meters in length for the study of the sawn process and panels production (“PCLs”). The processing of the logs was made in the LPZ Madeiras and Artefatos Ltda sawmill - Pirai/RJ, being determined the revenue in sawnwood. Later on, the boards went by the process of artificial drying, with controlled conditions, in the Laboratory of Wood Drying, of the Forest Products Department, of the Forest Institute, of UFRuralRJ. In the qualitative evaluation, were determinate the defects indexes of the wood after drying. Smaller pieces were produced and were used in the glued panels production. The glued panels were produced from four treatments, for comparison among them, being these: simple panel with simple top connection (T1), simple panel with finger-joint connection (T2), double panel with simple top connection (T3), and double panel with finger-joint connection (T4). Were quantified the revenue of the conversion of the logs in sawnwood; the qualitative indexes of boards defects after the artificial drying; the revenue of the conversion of the boards in glued panels (being eliminated defects as cracks and severe torsion); and the resistance properties of PCLs through the shear, traction and static bending tests, following normative procedures of the document ABNT NBR 7190:1997 and ASTM D-1037. As practical example of the application of the eucalyptus glued panels was produced an experimental furniture (armchair), being discussed the problems and solutions found in the application of the studied material.

Key-words: eucalyptus, sawnwood, eucalyptus panels, wood processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodologia de Smalian	10
Figura 2. Detalhes do desdobro das toras	11
Figura 3. Transporte das toras e determinação das dimensões na condição verde.....	11
Figura 4. Secador convencional.....	13
Figura 5. Cálculo do encurvamento das peças	14
Figura 6. Cálculo do arqueamento das peças	15
Figura 7. Cálculo do encanoamento das peças	15
Figura 8. Torcimento (a) e Encurvamento complexo (b)	16
Figura 9. Medições: A - encurvamento; B - arqueamento; C - encanoamento	17
Figura 10. Tipo de emendas utilizadas	18
Figura 11. Confecção das emendas do tipo “finger-joint”	19
Figura 12. Esquema mostrando os posicionamentos dos diferentes corpos-de-prova confeccionados para avaliação dos PCLs.....	21
Figura 13. Demarcação e confecção de corpos-de-prova para ensaios de resistência	22
Figura 14. Projeto e confecção da poltrona a partir do PCL de eucalipto.....	24
Figura 15. Detalhes dos ensaios de cisalhamento.....	31
Figura 16. Detalhes dos corpos-de-prova nos ensaios de resistência das emendas (tração) ...	33
Figura 17. Detalhes dos ensaios de flexão.....	34
Figura 18. Protótipo de móvel a partir do PCL de eucalipto, “poltrona de PCLs de eucalipto”	35
Figura 19. Parâmetros do programa utilizado na secagem das tábuas	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos tratamentos para comparação de resultados entre painéis PCL ...	23
Tabela 2. Resultados do desdobro das toras em madeira serrada (tábuas).....	25
Tabela 3. Valores médios dos defeitos avaliados na madeira serrada após a secagem.....	27
Tabela 4. Rendimento médio da conversão da madeira serrada em PCLs.....	28
Tabela 5. Resistência ao cisalhamento nas emendas de topo e “finger-joint”	29
Tabela 6. Resistência ao cisalhamento nas emendas laterais	30
Tabela 7. Resistência à tração normal nas emendas de topo e “finger-joint”	31
Tabela 8. Resistência à tração normal nas emendas laterais	32
Tabela 9. Resistência das emendas dentadas ou biseladas	32
Tabela 10. Resistência à flexão no sentido perpendicular ao comprimento do painel.....	33
Tabela 11. Resistência à flexão no sentido paralelo ao comprimento do painel.....	34
Tabela 12. Análise de variância dos resultados de rendimento da conversão da madeira serrada em PCLs	44
Tabela 13. Análise de variância dos resultados da resistência ao cisalhamento nas emendas de topo e “finger-joint”	44
Tabela 14. Análise de variância dos resultados da resistência ao cisalhamento nas emendas laterais	44
Tabela 15. Análise de variância dos resultados de resistência à tração normal nas emendas de topo e “finger-joint”	45
Tabela 16. Análise de variância dos resultados de resistência à tração normal nas emendas laterais	45
Tabela 17. Análise de variância dos resultados de resistência das emendas dentadas ou biseladas	45
Tabela 18. Análise de variância dos resultados de resistência à flexão no sentido perpendicular ao comprimento do painel	46
Tabela 19. Análise de variância dos resultados de resistência à flexão no sentido paralelo ao comprimento do painel	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. O Gênero <i>Eucalyptus</i>	2
2.2 Rendimento em Madeira Serrada e o Volume de Resíduos Gerado	3
2.3. Indústria de Painéis	4
2.4. A Secagem da Madeira de Eucalipto	6
2.5. Caracterização Mecânica da Madeira de Eucalipto	7
2.6. A Indústria de Madeira Serrada e Indústria Moveleira	7
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Material	9
3.2. Métodos	9
3.2.1 Desdobro e rendimento em madeira serrada (tábuas)	9
3.2.2 Secagem da madeira serrada	12
3.2.3 Avaliação dos defeitos após secagem	13
3.2.4 Produção de painéis colados lateralmente - PCLs	17
3.2.5 Avaliação dos painéis colados lateralmente	19
3.2.6 Tratamentos considerados e análises estatísticas	22
3.2.7 Aplicação dos painéis - confecção do móvel (poltrona)	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Rendimento em Madeira Serrada	25
4.2 Avaliação de Defeitos Após Secagem	26
4.3 Rendimento em Painéis Colados Lateralmente	28
4.4 Ensaios Físico-Mecânicos nos Painéis	29
4.4.1 Cisalhamento	29
4.4.2 Tração	31
4.4.3 Flexão	33
4.5 Confecção do Móvel (Poltrona de PCLs de Eucalipto)	35
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO	43

1 INTRODUÇÃO

O uso da madeira pelo homem iniciou-se nos tempos da antiguidade, representando evoluções no seu cotidiano de acordo com suas diversas necessidades. O uso da madeira confunde-se com a própria história da humanidade. Desde eras remotas o homem utiliza a madeira para fabricar ferramentas, utensílios domésticos, armas e instrumentos de trabalho (ALBUQUERQUE; MENDES, 1999).

No presente, a madeira constitui um precioso material cujas propriedades tecnológicas podem contribuir a favor da qualidade de seus produtos. Seja para a construção civil ou outros propósitos, a madeira proporciona conforto, praticidade e boa trabalhabilidade, características hoje muito requisitadas pelos consumidores.

Além dos aspectos estéticos favoráveis à confecção de móveis, a madeira é matéria-prima para diversos produtos, como celulose, carvão, lenha, construção civil, entre outros. Na construção civil e na fabricação de móveis a madeira é utilizada tanto na forma sólida quanto como reconstituída. Portanto, mesmo na presença de materiais substitutos, o mercado mantém condições favoráveis à comercialização da madeira e seus produtos.

A área de tecnologia da madeira e as atividades relacionadas à produção florestal vêm a alguns anos, buscando um equilíbrio que otimize os benefícios extraídos da matéria-prima madeira e seus derivados.

O levantamento de informações que possibilitem o aprimoramento técnico, e o desenvolvimento de novas tecnologias, que reduzam custos e utilizem de melhor forma os plantios comerciais das espécies madeireiras, devem ser práticas contínuas, incentivadas por empresas e instituições de pesquisa.

O papel do Brasil no cenário mundial como produtor madeireiro e pólo de pesquisa florestal vêm sendo concretizados há alguns anos. Segundo Carvalho (2000), projetos pioneiros no sentido da diversificação do uso final da madeira vêm sendo desenvolvidos em empresas como a Aracruz Celulose S.A., no estado do Espírito Santo e Bahia, e a Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara-CAF, em Minas Gerais. Essas práticas se devem ao fato de que, muitas vezes, as condições econômico-financeiras prevaletentes na época da intervenção na floresta forçam a busca de mercados intermediários e usos alternativos para a madeira (NAHUZ, 1995).

A utilização da madeira de reflorestamento, principalmente a de eucalipto, vem crescendo devido ao melhor conhecimento de suas propriedades, maior divulgação e à crescente preocupação com a preservação das florestas nativas (FERREIRA et al., 2004). Além disso, essas madeiras possuem preço competitivo, comparado às madeiras nativas (VALENÇA, 2002).

Através da realização em escala piloto de todo o processo produtivo, desde a coleta da madeira no campo, passando pelas etapas de desdobro, secagem, resserragem, produção dos painéis, avaliações qualitativas e obtenção do produto final, o presente estudo teve como objetivo principal, verificar a qualidade da madeira e dos painéis colados lateralmente obtidos, da espécie *Eucalyptus saligna* Smith, implantada em um plantio em Seropédica/RJ, na geração de matéria-prima para o segmento moveleiro.

O projeto procurou gerar resultados que colaborem com outras áreas de estudo ligadas ao material madeira, buscando soluções e melhorias para correção de problemas relacionados à utilização desta matéria-prima, sendo assim, o trabalho teve ainda os seguintes objetivos específicos:

- Determinar e avaliar o rendimento em madeira serrada após o desdobro das toras;

- Avaliar a metodologia para a secagem de madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith na câmara de secagem automatizada do Laboratório de Secagem de Madeira, do Departamento de Produtos Florestais (DPF/IF/UFRuralRJ), contribuindo para o desenvolvimento do equipamento recém-adquirido, através dos primeiros ciclos de secagem;
- Avaliar defeitos da madeira após secagem;
- Produzir painéis colados lateralmente (PCLs) a partir da madeira serrada obtida e determinar o rendimento (%) desta transformação;
- Avaliar os painéis através de ensaios físico-mecânicos baseados no documento normativo ABNT NBR 7190:1997 e ASTM D-1037;
- Produzir um móvel piloto a partir dos PCLs obtidos avaliando o processo de montagem e discutindo o resultado final obtido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Gênero *Eucalyptus*

A utilização do gênero *Eucalyptus* para suprir a demanda do consumo de madeira está relacionada às vantagens que este oferece, como rápido crescimento e grande diversidade de espécies, o que possibilita a adaptação destas culturas a diferentes tipos de clima e solo, além de possibilitar sua utilização para diversos fins (ANGELI, 2006).

Ponce (1995), estudando o uso da madeira de eucalipto cita que, para certos usos, tais como madeira para construção, pisos, compensados, embalagens e paletes, as florestas atuais, em princípio, podem ser utilizadas desde que fatores econômicos tais como a localização, produtividade, demanda, sejam favoráveis.

Com as espécies do gênero *Eucalyptus* os estudos estão surgindo ano a ano em maior escala, tendo em vista os indicativos de garantia de benefícios: “o preço de mercado da madeira para serraria pode chegar a ser quatro vezes superior ao preço da madeira para celulose de fibra” (SANTOS, 1994).

Algumas dessas espécies de rápido crescimento, plantadas em países tropicais, apresentam algumas barreiras quanto à sua utilização. O desenvolvimento da árvore ou idade da madeira tem grande importância, sendo que as espécies de eucalipto utilizadas comercialmente apresentam rápido crescimento e têm sido utilizadas ainda possuindo grande quantidade de madeira juvenil. De fato, se justifica o grande investimento em pesquisas para se aperfeiçoar processos que se adaptem às propriedades da madeira jovem de eucalipto e possam trazer benefícios, reduzindo perdas e custos de produção.

Dentro desse cenário, as empresas florestais têm procurado nas espécies do gênero eucalipto, uma alternativa para fornecimento de matéria-prima. Entre estas espécies, cabe destacar a madeira de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus saligna*, em função das altas taxas de produtividade das florestas plantadas, da boa adaptação em grande parte do território brasileiro e da relativa disponibilidade de florestas para pronto uso (SILVA, 2002). O *Eucalyptus grandis*, por exemplo, é uma espécie que vem sendo utilizada, ainda que em pequena escala, para produção de madeira serrada, lâminas e compensados.

2.2 Rendimento em Madeira Serrada e o Volume de Resíduos Gerado

O processamento mecânico da madeira remonta aos primórdios do ser humano e seu desenvolvimento acompanhou a evolução da civilização humana, partindo dos primeiros instrumentos rudimentares, até chegar aos equipamentos computadorizados da atualidade (ALBUQUERQUE, 1995).

O setor florestal brasileiro, atualmente, já representa cerca de 5% do PIB nacional. Todavia, esta participação é muito modesta diante das potencialidades do país. Portanto, é possível afirmar que o Brasil ainda é um gigante adormecido no setor florestal. Vale ressaltar que, considerando apenas a produção de celulose e papel, o Brasil conseguiu desenvolver a maior silvicultura de eucaliptos do mundo (ALBUQUERQUE, 1995).

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grande quantidade de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária. O aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento do consumo de matéria-prima madeira, em um momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma, além da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não tem utilização na indústria, onde os mesmos foram gerados.

Estimativas grosseiras da quantidade de resíduos disponíveis podem ser feitas através das áreas florestais produtivas, da sua produção primária e do grau de rendimento. Nos resíduos das diferentes indústrias madeireiras, a disponibilidade pode ser determinada diretamente através das estatísticas disponíveis ou da relação *input* matéria-prima *output* produtos (PATZAK, 1977).

Segundo Tuset e Duran (1979) existem basicamente dois modos de avaliar o rendimento na operação de desdobro. A primeira forma básica de medir o rendimento de madeira serrada é mediante o cálculo da produtividade em cada máquina e no conjunto dos equipamentos. A forma tradicional de expressar a produtividade de uma serra é em m³ de madeira serrada por hora ou m³ de madeira serrada por hora/homem.

A forma de determinação do rendimento citada por Rocha (1999) é a determinação do coeficiente de transformação ou fator de rendimento, que é a relação entre o volume de madeira serrada que se obtém e o volume de toras que são usadas para o processamento. Esta unidade pode ser expressa em unidade métrica e pés, e em ambos os casos o coeficiente é dado em porcentagem.

A partir da década de 80, as indústrias de base florestal no Brasil passaram por uma grande transformação em termos de matéria-prima, produtos e processos produtivos. A base da matéria-prima madeira, que era quase que totalmente oriunda de florestas nativas, passou a ser substituída pelas florestas plantadas de rápido crescimento, especialmente a de pinus e eucalipto. As espécies do gênero *Pinus*, *P.taeda* e *P.elliottii*, foram as primeiras a serem utilizadas para a substituição de madeiras nativas na fabricação de produtos sólidos e reconstituídos, em face das suas características tecnológicas e disponibilidade (ABIMCI, 2004).

Rocha (1999) considera ainda que, além da essência que está sendo desdobrada, outros fatores afetam o rendimento como a qualidade dos povoamentos de onde as árvores são provenientes, os equipamentos e técnicas utilizados no desdobro e a qualidade profissional dos operários.

A conversão de toras em tábuas, pranchas, vigas ou em outras peças de madeira implica, necessariamente, na produção de uma quantidade maior ou menor de desperdício, segundo os fatores que influem no seu volume, como a natureza da matéria-prima, a eficiência das máquinas empregadas pela indústria e as exigências do mercado. Este último aspecto exerce influência através das quantidades relativas de madeira serrada de diversas

espessuras e comprimentos solicitados, já que, por exemplo, a obtenção de tábuas mais finas requer maior quantidade de cortes, o que aumenta o desperdício em forma de serragem (Anuário Brasileiro de Economia Florestal, 1957).

Os resíduos florestais ou madeiráveis, além de serem utilizados para a geração de energia de diversas formas como a queima direta, briquetes de madeira, carvão, briquetes de carvão e *pellets*, podem também ser utilizados de várias outras maneiras, como na fabricação de pequenos objetos e utensílios tais como brinquedos, artigos de copa e cozinha, cabos de ferramentas, artigos desportivos; produção de chapas de partículas de diferentes composições; cama para aviários, currais e estábulos; compostagem para adubação e complementos orgânicos para o solo; produção de fibras para diversos fins tais como chapas, isolamento termo-acústico, papel, papelão; produção de pacotes para contenção de encostas; obtenção de matéria-prima para indústria de tintas, vernizes, corantes, adesivos, indústria alimentícia e solvente através da extração de voláteis, etc. (SOUZA, 1997), ou ainda no paisagismo de jardins (NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES, 1999).

O resíduo gerado em serrarias é uma importante matéria-prima em forma de partículas para a produção de polpa e produtos como chapas de partículas. É efetivamente usado como matéria-prima em plantas de produção de combustíveis de madeira, como cama para cultivo de cogumelos, e o restante é consumido em queima direta. A casca é usada como matéria-prima para a produção de combustíveis de madeira, mas é parcialmente queimada sem aproveitamento energético ou abandonada (MIYAZAKI, 1989)

Segundo o trabalho publicado na Remade (2003), existe unanimidade entre os pesquisadores da área de produtos florestais de que a qualidade da madeira para determinados usos pode ser melhorada, modificada ou ter alguns fatores minimizados ou controlados, em considerável extensão, se houver trabalho conjunto dos setores de produção florestal e industrial, integrando os silvicultores com os engenheiros e os técnicos da área de processamento.

2.3 Indústria de painéis

Os painéis à base de madeira apresentam uma série de vantagens inerentes a esta matéria-prima, como renovabilidade, boa resistência em relação à massa específica, elevada disponibilidade, reciclabilidade, capacidade de imobilizar em sua massa grande quantidade de gás carbônico proveniente da atmosfera e demandam relativa baixa quantidade de energia para produção, transporte e instalação (SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 1997).

A grande vantagem da utilização de painéis à base de madeira é elucidada quando comparamos sua utilização com materiais não-renováveis, como alvenaria, aço, plásticos e alumínio. Um consistente parâmetro de comparação é a demanda de energia para a extração, produção e transporte de cada material. Como exemplo, a utilização de uma tonelada de painéis proveniente de madeira de fibras com média densidade (MDF), no fechamento de paredes, resulta numa necessidade líquida de energia de 8,49 milhões de BTU, a utilização de alumínio demandará 34,08 milhões de BTU e por fim, a utilização de alvenaria para o mesmo fim, 183,28 milhões de BTU (KOCH, 1992).

Tratando-se de um material de origem biológica, a madeira pode apresentar alguns defeitos inerentes à anatomia das árvores como nós, presença de medula, grã desalinhada, tensões de crescimento e dimensões atreladas à forma das árvores.

Muitos desses defeitos podem ser eliminados durante os processos de fabricação de painéis, sendo possível obter um produto final com dimensões relacionadas apenas ao

equipamento disponível e demanda de consumo. Destes processos resultam produtos livres de defeitos isolados, com maior homogeneidade tanto dentro do painel como entre painéis, além da possibilidade de adicionar características desejáveis como resistência ao fogo e à biodeterioração, aumentando a durabilidade e a diversificação da utilização (MALONEY, 1996).

A tecnologia desenvolvida para a fabricação de painéis reconstituídos permite utilizar, como matéria-prima, sub-produtos da indústria madeireira, por exemplo costaneiras ou madeira de diâmetro reduzido proveniente de desbastes, agregando valor a este material e diminuindo a demanda de madeira industrial e a pressão sobre os recursos naturais (MALONEY, 1996).

O fato de as indústrias de base florestal gerarem grandes quantidades de resíduos no processo produtivo não é novidade. Porém, o aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado o problema da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não têm utilização na indústria onde foram gerados (BRAND, 2004).

As indústrias de produtos secundários de madeira incluem empresas que manufaturam produtos acabados de tábuas ou lâminas produzidas pela indústria primária. Como exemplos, podem-se citar móveis, divisórias de escritórios, produtos manufaturados para o comércio, como janelas, portas, armários, pisos, cercas, pallets, produtos para construção, etc. Essas empresas podem dar acabamento ao produto final, como também serrar ou dimensionar a madeira serrada. A quantidade de resíduos de madeira produzida varia muito com o tipo de atividade, os quais podem ser pequenos ou grandes, incluindo partículas, serragem, refilos, destopos e uma combinação destes (C.T. DONOVAN ASSOCIATES, 1990).

Andrade (1992) estudando fábricas de compensados na Malásia e Indonésia, encontrou perdas de 53% no processo produtivo, das quais, porém, 43% estavam relacionadas às atividades de laminação e classificação das lâminas e somente 7,5% eram relativas ao esquadrejamento e 3,0% ao lixamento dos painéis. No Brasil, Tomaselli (1992), que avaliou a produção de compensados a partir de espécies tropicais, encontrou rendimento médio de 38%, quando usadas espécies de várzea e 42% quando utilizadas espécies de terra firme. Esses resultados foram obtidos a partir das toras no pátio, considerando-se toda a atividade de laminação.

Olandoski (2001) avaliou uma indústria de compensados, sarrafeados e aglomerados revestidos confeccionados a partir de madeira tropical, no sul do Brasil, quanto à geração de resíduos e ao rendimento produtivo. Como resultados desse trabalho o autor encontrou, na produção de compensados, rendimentos de 95 a 97% nas esquadrejadeiras, 91% na lixadeira e 91% na refiladeira e encoladeira.

Na indústria de painéis sarrafeados, Ecker et al. (2003) encontraram 43,75% de rendimento no processo produtivo, partindo de sarrafos verdes até o painel acabado. Assim, fica clara a necessidade da caracterização do processo produtivo para o melhor aproveitamento da matéria-prima e produção de produtos de melhor qualidade.

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

Na indústria de compensados, o resíduo gerado tem a mesma destinação do gerado na serraria e na indústria de assoalho, sendo quase todos os resíduos consumidos como combustível (MIYAZAKI, 1989).

2.4 A Secagem da Madeira de Eucalipto

A madeira de eucalipto, de uma forma geral, é de difícil secagem, ou seja, a secagem é lenta e a propensão a defeitos é elevada. Para que se possa obter sucesso é necessário conhecer as características do material, os equipamentos mais adequados e os processos físicos envolvidos na retirada de umidade (JANKOWSKY, 1995).

O mesmo autor descreve que devido a sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de fluídos líquidos, a fase inicial da secagem da madeira de eucalipto deve ser cuidadosamente conduzida. Isto requer não só um programa de secagem, mas também que o secador esteja operando sem criar zonas diferenciadas no seu interior.

O estoque disponível de madeira de eucalipto vem aumentando em diversos países, principalmente no hemisfério Sul. Por se tratar, na grande maioria das situações de matéria-prima proveniente de plantações de ciclo curto, tem-se como principal obstáculo a necessidade de secar material jovem e propenso a apresentar sérios defeitos durante a secagem.

O processo de secagem típico para madeira de eucalipto emprega baixas temperaturas, o que implica em longos tempos de secagem (NEUMANN, 1990). Praticamente todos os defeitos possíveis de se manifestarem durante a secagem, tais como rachaduras, empenamentos de diferentes formas, gradientes de umidade, colapso, tensões de secagem e endurecimento superficial, são citados como de ocorrência na madeira de eucalipto (CAMPBELL; HARTLEY, 1984).

As rachaduras associadas com as tensões de crescimento e os defeitos de secagem, comuns nos eucaliptos, trazem como resultado uma perda significativa de madeira. Experiências a nível industrial descritas por Jankowsky e Cavalcante (1992) mostraram que as perdas causadas por colapso e por empenamentos podem chegar na ordem de 30 a 40%.

Vermaas (1995) discute as características e as principais causas da ocorrência de defeitos como as rachaduras e empenamentos. A principal causa do colapso é a tensão capilar, que se manifesta nas fases iniciais da secagem quando o teor de umidade da madeira está acima do ponto de saturação das fibras (SKAAR, 1972; CHAFE, 1986, 1987).

Diversos tratamentos anteriores à secagem têm sido estudados nos últimos anos visando a melhoria da qualidade das peças secas (ELLWOOD; ECKLUND, 1963; KININMONTH, 1973; CAVALCANTE, 1991), mas o método mais eficiente até o momento tem sido o condicionamento com altas temperaturas e umidade relativa ao final da secagem.

Neumann (1989) recomenda o condicionamento com alta umidade relativa quando a madeira atinge um teor de umidade de 20%, visando recuperar a madeira colapsada. Alexiou (1989), recomenda o condicionamento com temperatura e umidade relativa elevada ao final da secagem, como forma de recuperar o colapso e também aliviar as tensões de secagem.

Conrad et al. (2003) relatam que um dos maiores problemas da madeira são as rachaduras. Alguns defeitos em peças de madeira ocorrem e são acentuados durante o processo de secagem, resultando em colapsos e contrações na madeira (MCMILLEM, 1958)

O processo de secagem da madeira resulta em contrações lineares diferenciadas, manifestadas nos três planos fundamentais de estudo da madeira, ou seja, nos planos longitudinal, tangencial e radial. Segundo Hillis e Brown (1978), a utilização da madeira do gênero *Eucalyptus*, oriunda de árvores jovens e de crescimento acelerado é mais difícil por apresentar contrações excessivas, que são seguidas pelo aparecimento de defeitos, como rachaduras e empenos.

As variações dimensionais provocadas pela contração e pelo inchamento da madeira, segundo Durlo e Marchiori (1992), constituem, conjuntamente com a anisotropia,

características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades, ou ainda, exigindo técnicas específicas de utilização.

O maior desafio da secagem é controlar a perda higroscópica, ou seja, a água impregnada nas paredes celulares. Afinal, é durante a perda desta que acontecem as variações dimensionais nas peças de madeira e aparecem os defeitos de secagem (GALVÃO; JANKOWSKY, 1984).

O controle do teor de umidade melhora a atuação dos vernizes e tintas aplicadas sobre a madeira, reduz o risco do ataque de fungos apodrecedores e manchadores, proporciona melhor qualidade na colagem e maior impregnação com líquidos preservativos, aumenta a resistência mecânica e determina a maior ou menor facilidade em trabalhar a madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1984). Assim sendo, a secagem constitui uma etapa imprescindível para garantir melhor qualidade na madeira antes de sua transformação em produto (CAIXETA, 2002).

2.5 Caracterização Mecânica da Madeira de Eucalipto

Segundo descreve o trabalho da Remade (2003), as principais propriedades físicas e mecânicas da madeira que provocam impacto na qualidade do produto final a ser produzido são identificadas como: a) resistência mecânica, b) massa específica aparente e c) estabilidade dimensional, e os principais impactos tecnológicos nas características das madeiras passam pelo melhoramento florestal e práticas silviculturais e de manejo, além das etapas de processamentos primário e secundário.

Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

Shimoyama (1990) afirmou que o ambiente, bem como sua manipulação, pode afetar as características da madeira e, conseqüentemente, sua qualidade. As propriedades físico-mecânicas da madeira de árvores plantadas em um ambiente exótico podem ser significativamente diferentes daquelas cultivadas em um ambiente nativo.

Segundo Ponce (1995), a uniformidade quanto às propriedades mecânicas e físicas é uma das características mais valorizadas em serrarias em função do aumento da produtividade e no rendimento em madeira serrada. O processamento mecânico é facilitado, chegando a atingir melhor qualidade quando a madeira é uniforme com relação às suas várias propriedades mecânicas.

2.6 Indústria de Madeira Serrada x Indústria Moveleira

Atualmente a indústria de madeira serrada tem características adequadas às condições econômicas e sociais do Brasil: necessita de investimentos relativamente baixos, pessoal com pouco treinamento, e pode alimentar a indústria moveleira, de grande potencial exportador e absorvedor de mão-de-obra.

Ponce (1995) discute que a possibilidade de uso das florestas atualmente existentes para a produção de madeira serrada depende da análise de cada situação; são fatores importantes a espécie, a procedência, a história do talhão, seu desenvolvimento e as características tecnológicas e de processamento da madeira.

A combinação da busca de uniformidade da matéria-prima com a melhoria da qualidade do produto final e busca de novas fontes de abastecimento, uma vez que a madeira

nativa passou a ser escassa em determinadas regiões, gerou uma reação econômica, com a procura de maiores valores agregados para a madeira produzida nas florestas plantadas. Isso resultou na introdução da madeira de eucalipto na indústria moveleira. Algumas empresas optaram pelo desenvolvimento de clones provenientes de matrizes selecionadas e melhoradas para usos específicos, como aqueles destinados à produção de madeira para serraria (MALAN, 1995; OBINO, 1996; ASSIS, 1999; OLIVEIRA, 1999; MALAN, 1989).

Luz et al. (1993) observaram que dentre os usos da madeira de eucalipto para produtos diversificados destacam-se a indústria de móveis, marcenaria e construção civil, as quais vêm apresentando cada vez maior importância. Isto devido ao escasseamento e encarecimento das madeiras nativas para uso em serraria e o aumento da disponibilidade de madeira de eucalipto de espécies que apresentam melhores qualidades, com boas produtividades, o que as viabiliza como alternativas valiosas e interessantes aos reflorestadores e consumidores. Estrategicamente, este tipo de utilização gera uma significativa valorização da madeira do eucalipto.

Baena (1982) destaca que o rápido crescimento apresentado pelo eucalipto nas condições brasileiras, o número considerado de defeitos, e a falta de informações concretas baseadas em evidências científicas, têm sido fatores altamente limitantes para que a indústria moveleira venha se beneficiar em maior escala desta matéria-prima, que está hoje disponível.

Mesmo sendo um gênero de crescimento rápido, a madeira de eucalipto não despertava muito interesse na indústria moveleira. Afinal, sempre gerou grandes defeitos causados pela presença de tensões internas de crescimento e propriedades físicas e mecânicas heterogêneas, sendo estas características resultantes das variações em seus componentes anatômicos tanto na direção axial quanto na radial (SILVA et al., 2005).

Adicionalmente, é freqüente a presença de nós nas toras, um fator que diminui a qualidade da madeira e sua utilidade, pois estes prejudicam suas propriedades físicas e mecânicas. Neste caso, a redução do número de nós pode ser conseguida através da indução da desrama natural, utilizando espaçamentos menores ou pela desrama artificial no intuito de obter madeira limpa, reduzindo o diâmetro do cilindro nodoso (VALE et al., 2002).

O uso da madeira de árvores jovens, devido à falta de matéria-prima, é também um fator que dificulta a confecção de produtos de qualidade. Árvores de eucalipto estão sendo serradas com diâmetro entre 15 e 20 cm, conseqüentemente com grande quantidade de madeira juvenil. A madeira juvenil apresenta geralmente fibras mais curtas e menor densidade que a madeira normal acarretando propriedades mecânicas inferiores, sendo quebradiça e frágil, não devendo ser utilizada onde essas características possam significar riscos (PONCE, 1995).

O potencial do eucalipto como madeira serrada não é novidade. Diversos trabalhos foram publicados, com tendência a uma sinergia crescente, canalizando esforços para viabilizar industrialmente a madeira do eucalipto (MELLADO, 1993; ACOSTA, 1998; MENEZES, 1998; DEL MENEZZI, 1999; CARVALHO, 2000; LOPES, 2000). Aspectos básicos, tanto de silvicultura como de tecnologia, estão se firmando, permitindo assim uma visão bastante otimista quanto à disseminação do uso da madeira desse gênero. Entretanto, ainda há resistência de alguns empresários em utilizar, de forma indiscriminada, a madeira de eucalipto para a produção de móveis (MENEZES, 1998).

Em um futuro próximo, quer seja por pressões ambientais, pela elevação do custo da madeira das florestas naturais, ou ainda pelo aumento da consciência para a utilização de recursos florestais renováveis, poderão ocorrer dificuldades para o suprimento de segmentos da indústria de madeira serrada. Uma das alternativas mais iminentes para suprir esta demanda é o desenvolvimento das técnicas de processamento e do mercado da madeira de eucalipto (COSTA, 1996).

Zobel (1981) descreve alguns problemas e defeitos que podem ocorrer na utilização do eucalipto como madeira serrada, entre eles talvez o mais preocupante seja a existência das tensões de crescimento, que se apresentam mais prejudiciais em material com predominância de madeira juvenil.

No Brasil, a participação do eucalipto no mercado de madeira serrada ainda é pequena. Uma série de preconceitos é atribuída a esta matéria-prima, provenientes da utilização incorreta e da falta do desenvolvimento de tecnologias que permitam otimizar as características do produto final. Ponce (1995) coloca que o eucalipto apresenta algumas características que realmente dificultam seu aproveitamento, essas dificuldades não são, todavia, maiores do que as que apresentam a maioria das madeiras.

“O madeireiro brasileiro acostumado a trabalhar com toras de grande diâmetro, de madeiras nativas, nas serrarias tradicionais, ainda não se habituou à idéia de processar toras de 15 a 20 cm de diâmetro, das quais não se podem obter tábuas de grande largura. O processamento destas toras exige equipamentos específicos para que seja alcançada uma produtividade adequada” (PONCE, 1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O material utilizado neste estudo foi coletado em um talhão de *Eucalyptus saligna* Smith, com aproximadamente vinte anos de idade, implantado através do plantio de mudas produzidas a partir de sementes, situado nas dependências do Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, localizada no km 07 da Rodovia BR-465, antiga estrada Rio-São Paulo. O espaçamento entre árvores do plantio varia, normalmente apresentando acima de 4 metros de distância entre um indivíduo e outro, fato que se deve a sucessivos desbastes realizados na área com a retirada de árvores para usos diversos em anos anteriores.

Visando o aproveitamento do maior diâmetro do tronco, ao todo foram abatidas 30 árvores, sendo utilizada apenas a primeira tora a partir da base. O diâmetro médio das árvores na altura do DAP (1,30m) era de cerca de 30cm. As toras foram seccionadas com 2,30m de comprimento cada uma. Foram amostradas ao todo 30 toras. As árvores foram abatidas próximo ao solo, tomando-se o cuidado para que não ocorresse rachamento devido ao abate. A porção restante das árvores foi utilizada como matéria-prima da usina de tratamento de madeiras do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da UFRuralRJ.

3.2 Métodos

3.2.1 Desdobro e rendimento em madeira serrada (tábuas)

Ainda antes do desdobro, foi determinado o volume em m³ de cada tora a partir da metodologia de Smalian (Figura 1) e da equação apresentadas abaixo (Equação 1).

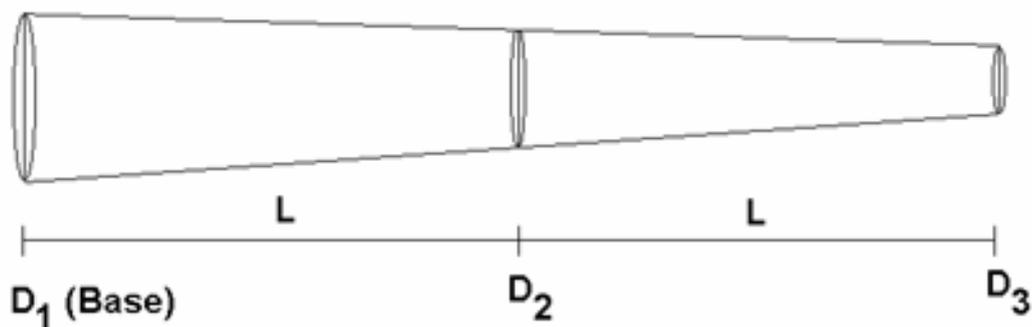


Figura 1. Metodologia de Smalian

Sendo que:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{8} \cdot L \cdot [(D_1^2 + D_3^2) + 2 \cdot (D_2^2)] \quad \text{Equação 1}$$

onde:

$V \text{ (m}^3\text{)}$ = volume em m³ da tora;

L = comprimento de cada porção da tora (m);

D_1 = diâmetro da base (m);

D_2 = diâmetro na metade do comprimento (m);

D_3 = diâmetro do topo (m).

Para o desdobro das toras (confecção de tábuas) as toras foram transportadas para as instalações da serraria LPZ - Artefatos de Madeira LTDA, localizada em Pirai-RJ, que disponibilizou os equipamentos e a mão-de-obra para as operações de desdobro e canteamento (acerto da largura das tábuas).

A operação de desdobro foi realizada 48 horas após a coleta das toras no campo. O desdobro foi feito através de cortes sucessivos, em serra de fita vertical com volantes de 800mm de diâmetro, e sistema de alimentação por carrinho semi-automatizado. A serra foi ajustada para produção de tábuas com 20mm de espessura. Detalhes da operação de desdobro das toras podem ser observados na Figura 2.



Figura 2. Detalhes do desdobro das toras.

Nas 24 horas que se seguiram ao desdobro das toras foi programado o transporte das tábuas obtidas para o Departamento de Produtos Florestais, onde estas foram dispostas para as determinações de dimensões na condição verde e posterior empilhamento para a secagem. Detalhes desta etapa são apresentados na Figura 3.



Figura 3. Transporte das toras e determinação das dimensões na condição verde.

Através das dimensões das tábuas, determinadas pelo comprimento (m) x largura média (m) x espessura média (m) o processo de desdobro foi avaliado quanto ao rendimento. Esta determinação foi realizada antes e após a etapa de secagem das tábuas. O rendimento em madeira serrada de cada tora foi determinado através da Equação 2.

$$R\% = \frac{\sum \text{vol. (m}^3\text{) das tábuas}^{(1)}}{\text{Vol. Inicial (m}^3\text{) da tora}^{(2)}} \quad \text{Equação 2}$$

onde:

R% = Rendimento em madeira serrada da tora;

(1) = Somatório do volume das tábuas (m³);

(2) = Volume inicial da cubagem da tora (m³).

A madeira serrada permaneceu no pátio (em local coberto) por um período de aproximadamente três semanas antes do empilhamento na câmara de secagem.

3.2.2 Secagem da madeira serrada

Após a determinação do rendimento na condição verde, a madeira serrada foi empilhada e levada para secagem artificial na câmara de secagem automatizada do Laboratório de Secagem da Madeira, do DPF/IF/UFRuralRJ.

Na época, a câmara de secagem mencionada havia sido recém adquirida pelo departamento e encontrava-se em desenvolvimento. Pela oportunidade da realização de um ciclo de secagem, com uma carga completa de madeira verde de eucalipto, a secagem do material referente a este projeto caracterizou o primeiro ciclo de secagem realizado naquele equipamento.

A câmara de secagem do DPF/IF/UFRuralRJ possui fabricação nacional, pela empresa Leogap, de Curitiba/PR, possui capacidade de 4 metros cúbicos de madeira serrada empilhada, controlador automatizado do fabricante Marrari, aquecimento por resistência elétrica e aspersão automática de água para ajuste da temperatura e umidade relativa.

Em virtude dos problemas de secagem inerentes às espécies do gênero *Eucalyptus* sp, na secagem artificial foi utilizado um programa considerado suave, com temperaturas de bulbo seco variando de 40°C a 65°C conforme o decréscimo da umidade da madeira. Devido ao período de três semanas, pelo qual a madeira ficou empilhada ao ar livre e passou por uma pré-secagem até um teor médio de umidade por volta de 35% (verificado através de medidor elétrico de umidade da madeira), o tempo de secagem artificial previsto foi de 80 horas, até uma umidade final pretendida de 12%.

No Anexo (Figura 19) foram inseridas informações relativas aos parâmetros do programa de secagem utilizado. Na Figura 4 é mostrado um detalhe da câmara contendo a madeira empilhada para a etapa de secagem.



Figura 4. Secador convencional.

3.2.3 Avaliação dos defeitos após secagem

Após a secagem das tábuas, primeiramente, foram novamente realizadas as determinações das dimensões comprimento (m), espessura média (m) e largura média (m) de cada uma das tábuas, que possibilitaram a determinação da perda volumétrica em função da retratibilidade da madeira e do rendimento do processo de desdobro na condição seca.

A partir de então foram quantificados, em cada tábua, os índices de defeitos quanto à presença de rachaduras nas extremidades; a presença de rachaduras superficiais; os tipos de empenamentos: encurvamento, arqueamento, encanoamento, torcimento e encurvamento complexo; a incidência de colapso e a quantidade de nós (soltos ou vivos) na madeira em função do comprimento linear de cada peça.

Nos sub-itens a seguir os defeitos avaliados são explicados em detalhes:

- Índice de rachamento ou de rachaduras:

Este índice, já utilizado nos trabalhos de Miranda (1998) e Carvalho (2000), expressa a porcentagem do comprimento da tábua que sofreu rachaduras e fornece um indicativo do nível das tensões de crescimento presentes na árvore. A Equação 3 indica o cálculo do índice de rachamento ou de rachaduras:

$$\text{IR (\%)} = \frac{\text{cr1} + \text{cr2}}{\text{ct}} \times 100$$

Equação 3

onde:

IR % = índice de rachadura na tábua;

cr1 = comprimento da racha mais longa em uma extremidade ;

c2 = comprimento da racha mais longa na outra extremidade;

crt = comprimento total da tábua.

- Rachaduras superficiais:

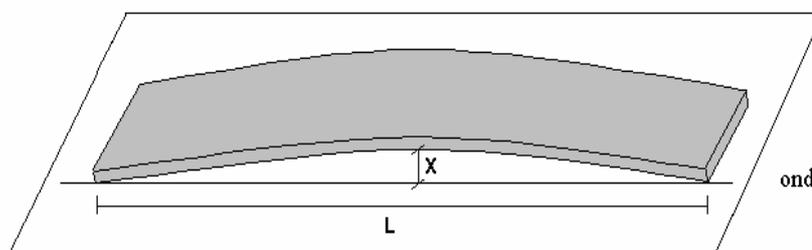
As rachaduras superficiais, também chamadas de fendilhado, são pequenas rachaduras que ocorrem nas superfícies das tábuas. As rachaduras superficiais foram avaliadas como: ausentes, poucas ou severas.

- Empenamentos:

Os empenamentos se caracterizam como torções que podem ocorrer nas peças de madeira em relação ao seu plano principal: podem ser ocasionados por contrações radiais e tangenciais durante a secagem, pela presença de lenho juvenil e grã espiralada ou ainda por efeito das tensões de crescimento liberadas no desdobro.

Foram medidos os seguintes tipos de empenamentos: encurvamento, arqueamento e encanoamento.

O encurvamento e arqueamento foram expressos em relação ao comprimento da peça, sendo medidos o ponto de maior ocorrência do defeito (Figuras 5 e 6).



$$E_{(\text{mm/m})} = (X / L)$$

onde: E = encurvamento da tábua em mm/m,
L = comprimento da tábua em m;
X = encurvamento máximo em mm.

Figura 5. Cálculo do encurvamento das peças.

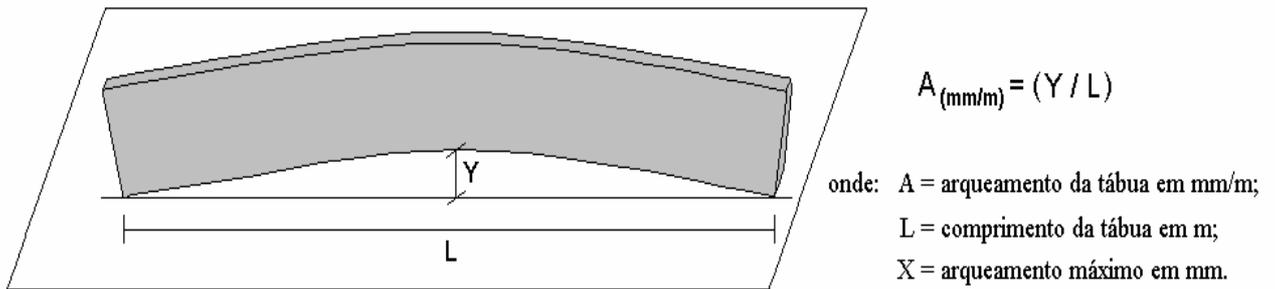


Figura 6. Cálculo do arqueamento das peças.

O encanoamento, curvatura da peça em função da sua largura, foi expresso em mm. O encanoamento foi calculado pela diferença entre a espessura nominal da tábua e a espessura que se poderá obter após o aplainamento (Figura 7).

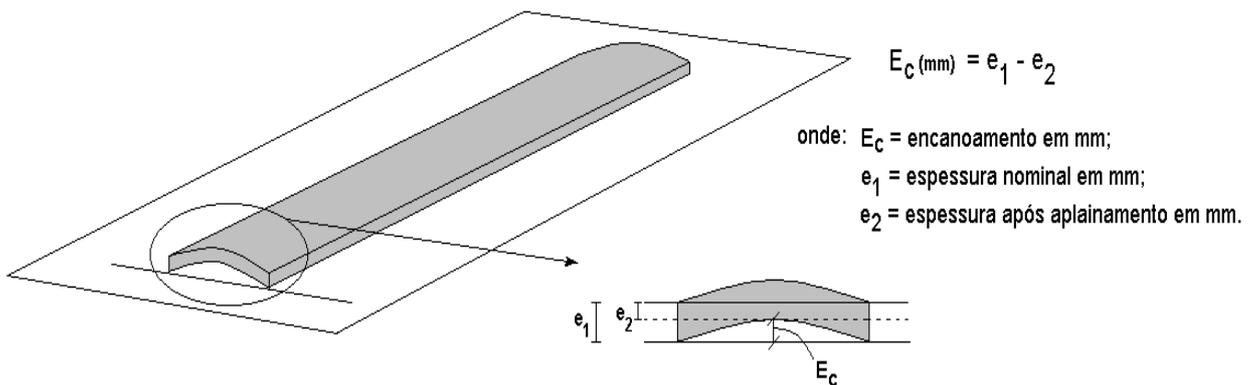


Figura 7. Cálculo do encanoamento das peças.

O torcimento e o encurvamento complexo são empenamentos mais graves, que podem inviabilizar o aproveitamento da peça, foram avaliados como: presente ou ausente Figura 8.

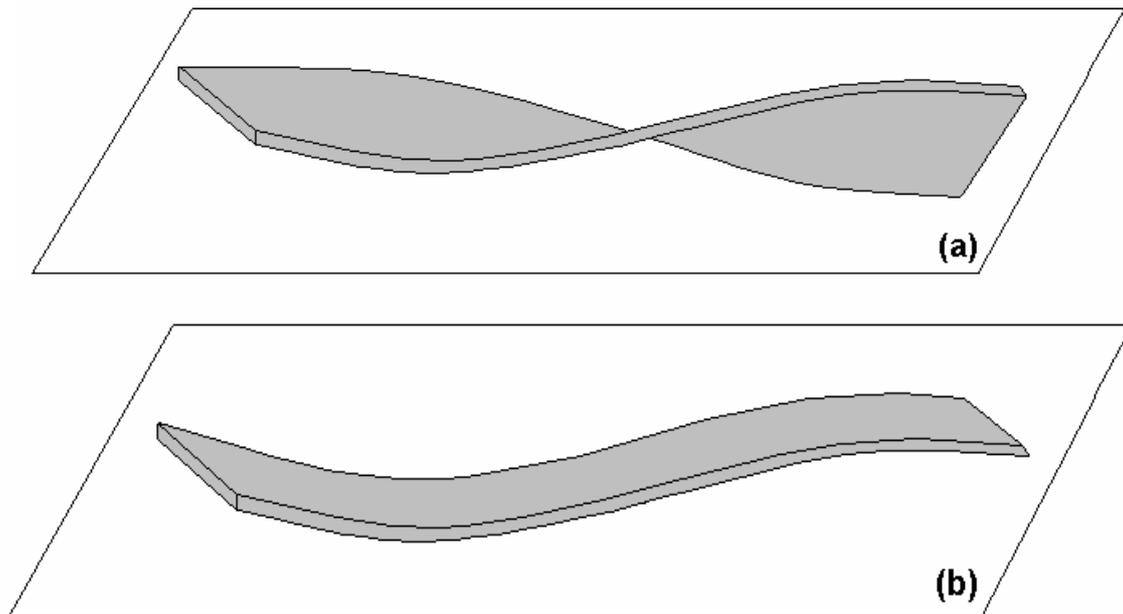


Figura 8. Torcimento (a) e Encurvamento complexo (b).

- Colapso:

O colapso é um defeito bastante incidente na madeira serrada de eucalipto, principalmente nas tábuas originadas pela parte central da tora, onde está presente a medula. O colapso ocorre devido à movimentação da água capilar e por forças geradas no interior das células, que as deformam e alteram a forma visível da madeira (CARVALHO, 2000).

Este defeito foi avaliado nas peças como: ausente, leve, moderado e severo; de acordo com sua extensão e intensidade.

A Figura 9 ilustra parte das etapas da análise de medição dos defeitos das tábuas (empenamentos).

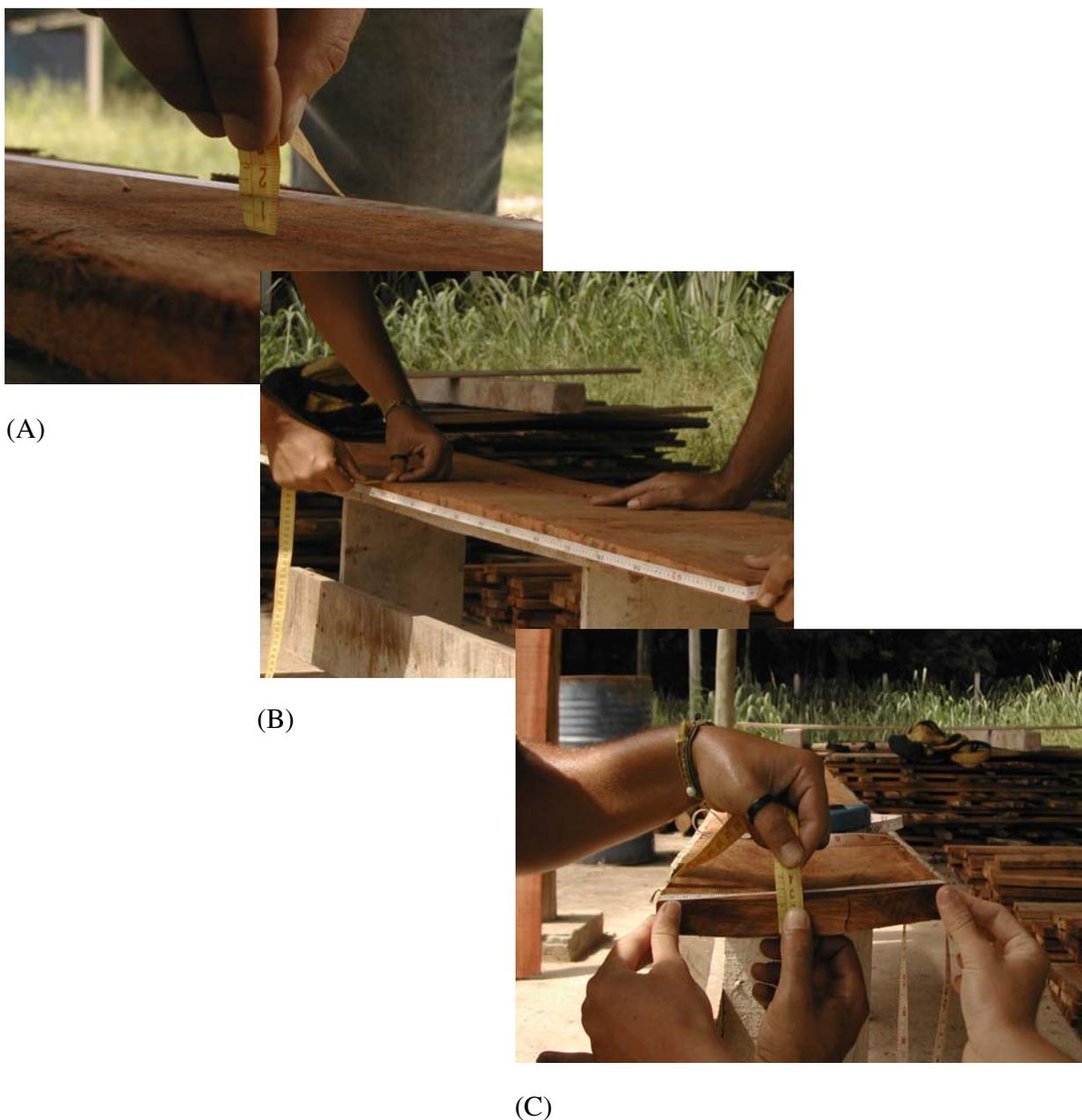


Figura 9. Medições: A - encurvamento; B - arqueamento; C - encanoamento.

3.2.4 Produção de painéis colados lateralmente - PCLs

Ao término da avaliação dos defeitos decorrentes do processo de secagem das tábuas, as mesmas foram conduzidas ao Laboratório de Usinagem e Beneficiamento da Madeira do DPF/IF/UFRuralRJ (antiga marcenaria), para início da produção de painéis colados lateralmente, os PCLs.

As tábuas utilizadas na produção dos painéis foram coletadas aleatoriamente entre todas as tábuas produzidas no desdobro, na etapa anterior. Na produção dos painéis colados lateralmente, foram descartadas as porções das tábuas que apresentavam defeitos severos, como as rachaduras nas extremidades ou rachaduras superficiais e os nós soltos. Para

eliminação dos empenamentos as tábuas foram submetidas a uma redução em sua espessura na plaina desempenadeira.

Estas operações de retificação das peças, por si só, geraram peças menores e isentas de defeitos. Esse conceito de qualificação das peças, ou “limpeza” da madeira serrada, embora cause uma redução no volume das tábuas, transformando-as em peças menores ou sarrafos, visa valorizar o produto final, transformando a madeira serrada bruta em peças limpas ou “clear-blocks”, conceito aplicado na madeira nacional que vem sendo exportada, conforme observou em seu trabalho Carvalho (2000).

O painel colado lateralmente foi formado então, pela junção destas peças menores resultantes da retirada dos defeitos da madeira e das imperfeições geradas em seu processamento e secagem, visando a obtenção de um produto (painel) de maior qualidade e homogeneidade.

A matéria-prima para a produção dos painéis, peças menores “limpas”, ou isentas de defeitos, ou ainda sarrafos, foram padronizadas em relação à largura em 5cm. Na operação de corte foi utilizada uma serra de lâmina circular de bancada e eixo simples. Com relação ao comprimento de cada sarrafo, este foi variável em função da eliminação das imperfeições.

Na produção dos painéis foram utilizadas duas metodologias quanto às emendas entre as peças (sarrafos) no sentido perpendicular ao comprimento, ou no topo de cada peça (sarrafo). Foram utilizadas emendas simples, ou “de topo”, onde as peças foram coladas a partir do contato direto entre as secções transversais dos sarrafos (Figura 10-A), e emendas do tipo “finger-joint” (Figura 10-B).

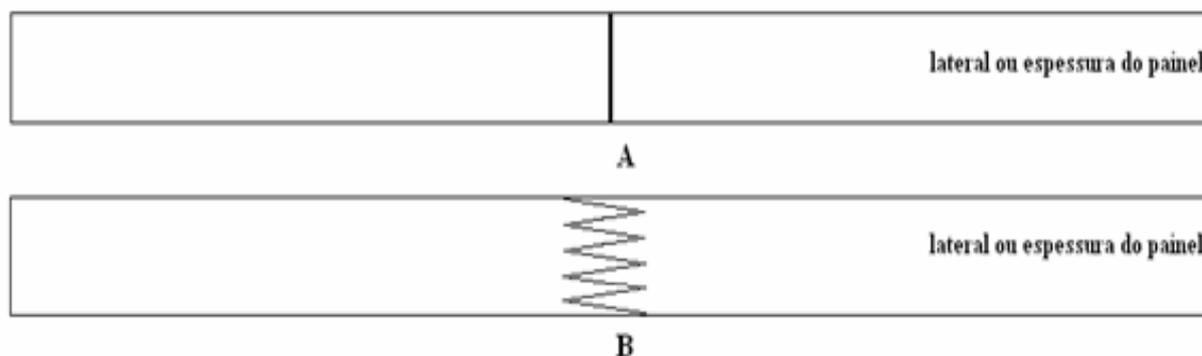


Figura 10. Tipo de emendas utilizadas.

Os “finger-joint” produzidos nos sarrafos foram confeccionados em tupia acoplada de joga de fresas em aço inoxidável conforme ilustra a Figura 11. Nas peças, os “fingers” produzidos apresentavam aproximadamente 30mm de profundidade, resultando em torno de 4,5 dentes em cada encaixe, conforme Figura 10-B.



Figura 11. Confeção das emendas do tipo “finger-joint”.

Nas emendas e nas laterais dos sarrafos foi aplicado adesivo à base de PVA, especial para colagem de madeira, comumente utilizado na indústria moveleira. O adesivo foi aplicado nas peças por pincelamento visando cobrir toda a superfície de uma das peças a ser colada. A gramatura estimada foi de aproximadamente 200g/m^2 . A colagem lateral dos sarrafos foi feita pelo contato direto das superfícies retas (sem “finger-joint”).

Após a aplicação do adesivo os sarrafos foram prensados através de “grampos” e “sargentos”, equipamentos que aplicavam pressão suficiente para a melhoria do contato entre as peças ao longo do período de colagem. Cada painel foi mantido prensado por, no mínimo, 48 horas.

Foram produzidos ao todo três painéis com emendas de topo e três painéis com emendas tipo “finger-joint” com as dimensões aproximadas de $2,20\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,02\text{m}$.

Foram ainda produzidos para avaliação, seis painéis duplos, onde duas camadas de sarrafos, dispostas a 90° uma da outra foram utilizadas. Nos painéis duplos foram utilizadas duas camadas de PCLs, sendo produzidos painéis duplos a partir de PCLs com emendas de topo e PCLs onde foram utilizados “finger-joint”, seguindo a mesma metodologia anterior. Os painéis duplos apresentaram dimensões finais de aproximadamente $0,5\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,04\text{m}$.

3.2.5 Avaliação dos painéis colados lateralmente

As propriedades de resistência dos PCLs produzidos foram determinadas através de ensaios de cisalhamento e tração, adaptados ao material, seguindo procedimentos normativos do documento ABNT NBR 7190:1997; e ensaios de flexão orientados pelo documento normativo ASTM D-1037 (norma americana).

Os ensaios descritos a seguir foram realizados no Laboratório de Ensaio Físico-mecânicos do DPF/IF/UFRuralRJ, em máquina de ensaios universal, do fabricante Contenco, com capacidade de 30 toneladas. O laboratório possui condições climatizadas de 65% de umidade relativa e 20°C de temperatura. Antes dos ensaios os corpos-de-prova foram climatizados por um período de dez dias.

- Tração:

Foram realizados ensaios de resistência à tração orientados pelos sub-itens B.19 – “Tração normal à linha de cola”, e B. 20 - “Resistência das emendas dentadas e biseladas”, do Anexo B - “Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas”, da ABNT NBR 7190:1997. Para cada ensaio foram produzidos 10 corpos-de-prova confeccionados através da distribuição aleatória entre os painéis e posicionamentos dentro dos painéis. A Figura 12 ilustra a disposição de retirada dos corpos-de-prova para os ensaios realizados que consideraram na avaliação as emendas perpendiculares e paralelas ao comprimento dos painéis, ou seja, as emendas de topo, as emendas “finger-joint” e as emendas laterais.

As dimensões dos corpos-de-prova foram as indicadas pelas normas, a não ser a espessura, que foi utilizada conforme a espessura dos painéis.

- Cisalhamento:

Para os ensaios de resistência ao cisalhamento foram utilizados os procedimentos descritos no sub-item B.18 – “Cisalhamento na lâmina de cola” do Anexo B da ABNT NBR 7190:1997. Foram confeccionados 10 corpos-de-prova para cada ensaio realizado sendo que também foram avaliadas quanto ao cisalhamento as emendas perpendiculares e paralelas ao comprimento dos painéis (Figura 12).

- Flexão:

Quanto à resistência à flexão, os painéis foram avaliados de duas formas, com corpos-de-prova confeccionados a partir de cortes perpendiculares e paralelos ao maior comprimento do PCL.

Nos ensaios de flexão foram adotados procedimentos descritos na ASTM D-1037 que estipula que os corpos-de-prova devem possuir comprimento de 24 vezes a espessura mais 50mm e largura de 76mm. Foram produzidos e ensaiados 10 corpos-de-prova para cada posicionamento (Figura 12).

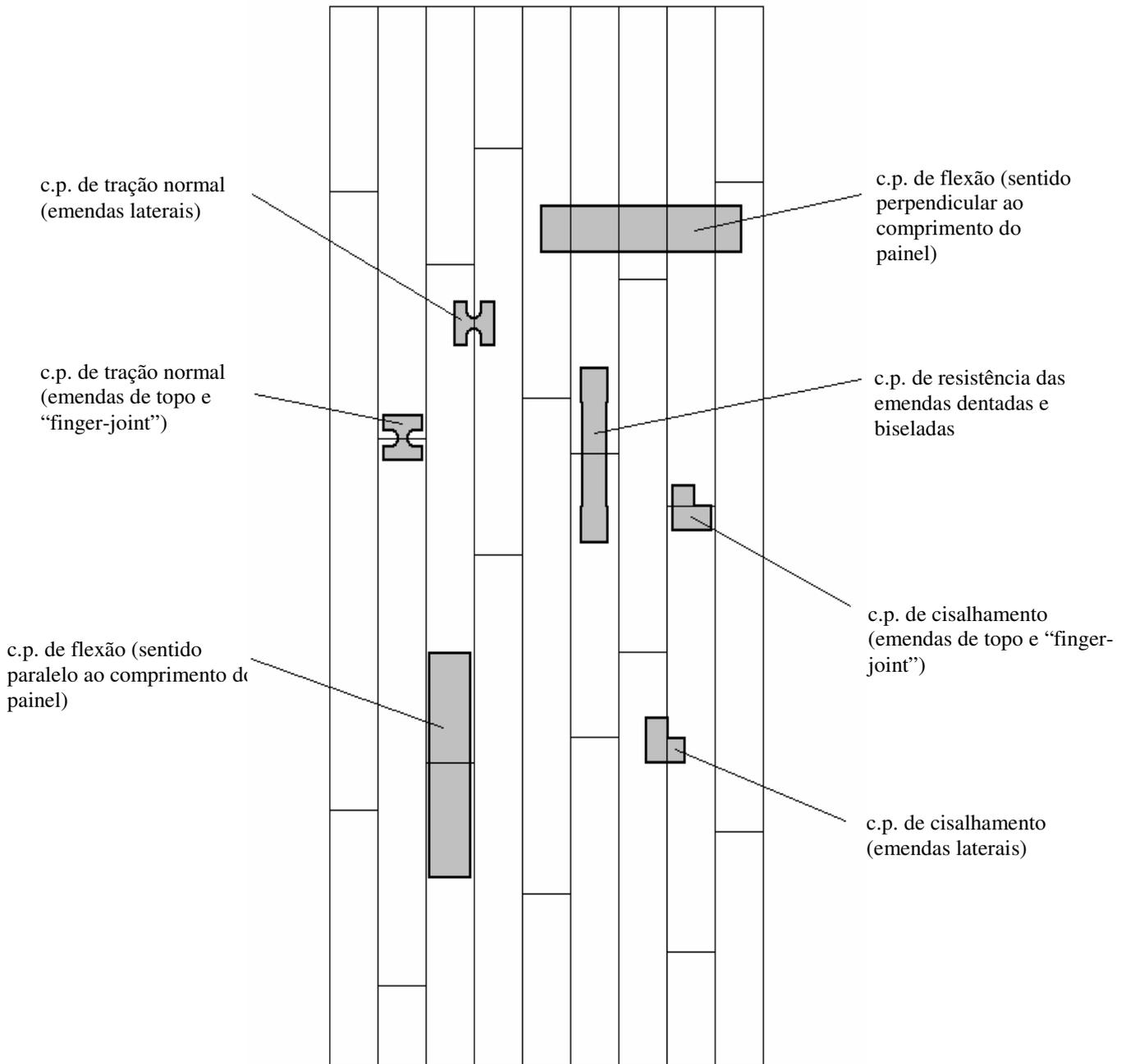


Figura 12. Esquema mostrando os posicionamentos dos diferentes corpos-de-prova confeccionados para avaliação dos PCLs.

Na Figura 13 foram inseridas imagens da demarcação e confecção dos corpos-de-prova nos painéis PCL.



Figura 13. Demarcação e confecção de corpos-de-prova para ensaios de resistência.

A confecção de corpos-de-prova dos painéis duplos obedeceu também a distribuição apresentada na Figura 12, considerando a camada superior para orientação da disposição dos c.p.'s. A interferência de uma segunda camada de painel, disposta em sentido cruzado, ou a 90° da camada anterior será comentada a diante na discussão dos resultados obtidos.

3.2.6 Tratamentos considerados e análises estatísticas

Nas avaliações de rendimento do processo de desdobro da madeira (conversão das toras em madeira serrada), determinação dos índices de defeitos nas tábuas e rendimento da conversão da madeira serrada em painéis PCL, foram realizadas análises de estatística descritiva, onde os dados foram avaliados segundo as médias, coeficientes de variação e desvios padrões encontrados. Para o rendimento em madeira serrada foram comparadas as médias entre as 30 toras utilizadas no trabalho através de teste de normalidade dos resultados, análise de variância (Teste F) conduzida ao nível de 5% de significância e testes de comparação de médias.

Para efeito de comparação e discussão dos resultados das propriedades e ensaios descritos no item anterior foi considerado um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial do tipo 2 x 2. Os fatores foram o tipo de emenda entre as extremidades dos sarrafos (“de topo” ou “finger-joint”) e o número de camadas do painel (“simples” ou “duplo”), Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos tratamentos para comparação de resultados entre painéis PCL:

Tratamentos	Tipo de Emenda (“de topo” ou “finger-joint”)	Nº de Camadas (“simples” ou “duplo”)
1	de topo	simples
2	finger-joint	simples
3	de topo	duplo
4	finger-joint	duplo

Para a comparação entre os tratamentos foram realizados também os testes de normalidade dos dados, análises de variância (Teste F) conduzidas ao nível de 5% de significância e testes de comparação estatística entre as médias. As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software livre ASSISTAT Versão 7.5 beta (2008).

3.2.7 Aplicação dos painéis - confecção do móvel (poltrona)

Como forma de avaliar e discutir a aplicação do PCL de eucalipto produzido ao longo do trabalho, aumentando assim a interatividade entre os resultados observados e um produto final, foi proposto ao longo das atividades a confecção de um móvel piloto gerado a partir de parte do material da pesquisa.

O projeto do móvel foi desenvolvido com a participação do discente de graduação Rafael Dias Mayer, que auxiliou também na construção do protótipo da poltrona. Com uma concepção simples, porém agregando valor devido ao design utilizado, o projeto do móvel procurou aliar a praticidade e a resistência do PCL de eucalipto, gerando um produto onde pudessem ser observados os principais conceitos abordados neste estudo, o da colagem de pequenas peças de madeira, o aproveitamento de madeira de rápido crescimento, a valorização da madeira de eucalipto e a resistência de um material colado à base de madeira.

A poltrona foi produzida com os PCLs duplos e emendas tipo “finger-joint”. O móvel foi confeccionado no Laboratório de Usinagem e Beneficiamento de Madeira (antiga marcenaria) do DPF/IF/UFRuralRJ. A Figura 14 ilustra o projeto e o processo de confecção da “poltrona de PCLs de eucalipto”.

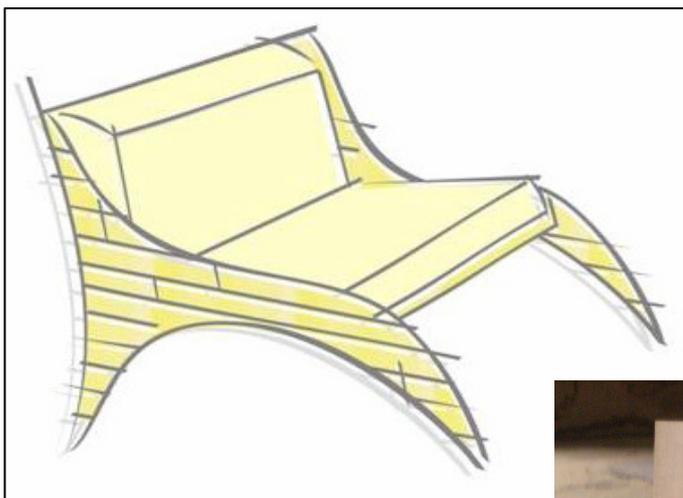


Figura 14. Projeto e confecção da poltrona a partir do PCL de eucalipto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento em Madeira Serrada

Na Tabela 2 foram inseridos os resultados obtidos no desdobro das toras em madeira serrada, considerando o volume inicial com casca e a conversão em volume de tábuas na condição verde e seca (rendimento em tábuas a partir do volume com casca).

Tabela 2. Resultados do desdobro das toras em madeira serrada (tábuas):

Tora nº	Volume C/C (m ³)	Volume em Madeira Serrada Verde (m ³)	Volume em Madeira Serrada Seca (m ³)	Rendimento na Condição Verde (%)	Rendimento na Condição Seca (%)
1	0,354	0,098	0,085	27,78	23,89
2	0,237	0,101	0,084	42,53	35,30
3	0,164	0,064	0,054	38,64	32,84
4	0,511	0,212	0,177	41,48	34,64
5	0,209	0,090	0,077	43,13	36,70
6	0,168	0,065	0,055	38,77	32,99
7	0,118	0,041	0,035	34,94	29,42
8	0,419	0,182	0,149	43,49	35,62
9	0,315	0,127	0,111	40,29	35,33
10	0,097	0,041	0,034	42,05	34,99
11	0,195	0,074	0,063	37,95	32,45
12	0,114	0,042	0,035	36,87	30,79
13	0,374	0,105	0,087	28,07	23,15
14	0,608	0,265	0,227	43,57	37,30
15	0,364	0,198	0,170	54,38	46,77
16	0,216	0,087	0,074	40,22	33,98
17	0,366	0,164	0,139	44,80	38,08
18	0,329	0,124	0,109	37,73	33,09
19	0,235	0,077	0,065	32,76	27,69
20	0,381	0,102	0,088	26,76	23,02
21	0,354	0,154	0,129	43,47	36,52
22	0,488	0,188	0,158	38,52	32,28
23	0,180	0,077	0,067	42,84	37,02
24	0,275	0,104	0,089	37,85	32,40
25	0,219	0,088	0,074	40,23	33,91
26	0,333	0,103	0,087	30,97	26,26
27	0,314	0,141	0,125	44,86	39,84
28	0,162	0,065	0,057	40,11	35,30
29	0,296	0,107	0,091	36,14	30,79
30	0,223	0,085	0,072	38,04	32,26
Média				38,98	33,15
Desvio padrão				5,76605	5,01994
C.V. (%)				14,79	15,14

As informações disponíveis na literatura sobre processamento em serraria de toras de baixo diâmetro são escassas, embora existam várias descrições de aumento do rendimento em madeira serrada a partir do aumento do diâmetro das toras utilizadas.

Rendimentos acima de 50% são relatados em trabalhos que utilizaram a madeira de eucalipto com diâmetros acima de 40 cm. Del Menezzi (1999) encontrou uma média de 51,2% estudando o desdobro de toras de *Eucalyptus grandis* de 21 anos de idade, e de 54,6% com toras de *Eucalyptus cloeziana* de 17 anos de idade.

Neste trabalho, apenas uma das toras apresentou valor de rendimento no desdobro próximo a 40% (tora nº 15), a maior parte delas mostrou resultados próximos a média de 33%. Boa parte do volume das tábuas foi perdida na operação de canteamento, ou refilo, realizada ainda na serraria. Ajustes mais freqüentes no equipamento utilizado nesta operação poderiam gerar rendimentos maiores.

O rendimento avaliado na condição seca foi 5,83% menor do que o avaliado na condição úmida. As tábuas foram medidas depois de realizado o desdobro e posteriormente, após a secagem em câmara de secagem artificial do DPF/IF/UFRuralRJ, apresentando uma umidade de equilíbrio em torno de 14%.

A retração volumétrica da madeira de eucalipto é alta. Scanavaca Júnior e Garcia (2004) constataram resultado médio de 19,75% para a retração volumétrica do *Eucalyptus urophylla*. Com maiores índices de retratibilidade no sentido tangencial, a dimensão mais afetada por este fator, ao longo da secagem das tábuas, é a largura das peças. A queda no rendimento em relação à condição verde confirmou dados anteriormente verificados.

Os valores de rendimento foram condizentes com o sistema produtivo adotado na serraria, onde foram realizados os desdobros e retiradas das porções laterais das tábuas. Apesar de terem sido tomados os cuidados necessários para uma boa qualidade no corte, os equipamentos disponíveis não permitiram maiores possibilidades para melhoria dos resultados da conversão das toras.

Processos de cortes simultâneos, com lâminas paralelas entre si, utilizados pelas serras alternativas de quadro (“serra francesa”), como os utilizados por Del Menezzi (1999) e Carvalho (2000) são mais indicados para a realização do desdobro de toras jovens de eucalipto. Neste processo as tensões de crescimento, comumente presentes em grandes níveis, da madeira de eucalipto são liberadas ao mesmo tempo, de forma simétrica em relação aos lados da tora, gerando menores índices de defeitos, principalmente empenamentos e rachaduras, e aumento o rendimento como um todo.

4.2 Avaliação de Defeitos Após Secagem

Após a secagem da madeira serrada foram avaliados os defeitos cujos resultados são apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios dos defeitos avaliados na madeira serrada após a secagem:

Índice de Rachamento (%)	21,96
Rachaduras Superficiais (% de tábuas)	6,32
<i>Ausente</i>	82,18
<i>Poucas</i>	11,49
<i>Inúmeras</i>	
Encurvamento (mm/m)	3,92
Arqueamento (mm/m)	3,56
Encanoamento (mm)	1,62
Torcimento (% de tábuas)	99,43
<i>Ausente</i>	0,57
<i>Presente</i>	
Encurvamento complexo (% de tábuas)	100,00
<i>Ausente</i>	0,00
<i>Presente</i>	
Colapso (% de tábuas)	71,26
<i>Ausente</i>	19,54
<i>Leve</i>	8,05
<i>Moderado</i>	1,15
<i>Severo</i>	
Nós (nº/m)	0,02
<i>Soltos</i>	0,46
<i>Vivos</i>	

O valor médio de 21,96% de rachamento na condição seca indica grande porção da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith com aproveitamento comprometido. Para a confecção de peças menores, como ripas e sarrafos de pequena largura, ainda parte da porção rachada das tábuas é utilizada, porém para usos onde as tábuas não serão necessariamente reduzidas, é necessária a operação de destopo com perda significativa do volume de madeira.

Os empenamentos das tábuas podem ocorrer logo após o desdobro, novamente devido às tensões de crescimento liberadas neste momento, como também podem aparecer ou diminuir ao longo da secagem. A secagem ao ar livre é a de menor impacto nos defeitos de empenamentos nas tábuas, pois é feita de modo mais lento e de forma menos drástica. A secagem artificial, realizada em câmaras, ou estufas de secagem, acelera o processo de perda de umidade, aumentando a eficiência e reduzindo tempo desta etapa, porém, é esperado que maiores problema quanto a distorções nas peças e índices de rachaduras sejam encontrados.

O encurvamento não inviabiliza a utilização da madeira nas proporções obtidas no trabalho, média de 3,92 mm/m. Para a utilização em movelaria, por exemplo, tanto o aplainamento das peças como as pregações podem eliminar o encurvamento das tábuas, ripas ou sarrafos.

O arqueamento é um defeito considerado mais problemático, prejudicando, por exemplo, a confecção de painéis colados lateralmente. O arqueamento não se mostrou acentuado nas tábuas produzidas (3,56 mm/m).

O encanoamento corresponde a um defeito que pode ser eliminado no aplainamento, mas que reduz com isso a espessura das peças produzidas. Em função da largura das tábuas produzidas ser pequena o encanoamento observado se mostrou relativamente baixo, média de 1,62 mm na condição seca. Porém, todas as tábuas de eucalipto apresentaram tal defeito após a secagem.

Em apenas uma das tábuas foi verificado o torcimento, e o encurvamento complexo não foi encontrado em nenhuma das peças. Miranda (1998) descreve estes problemas como sendo mais severos, podendo muitas vezes levar ao descarte da tábua.

Problemas de colapso são também comuns na secagem artificial do eucalipto. Nas tábuas obtidas observou-se apenas 1,15% de colapso severo, com distorção grave de parte da madeira. A maioria das tábuas não apresentou colapso (71,26%) ou o defeito foi observado em nível leve (19,54%), não comprometendo a utilização da peça.

Quanto ao número de nós por metro linear de madeira serrada, os valores encontrados para a presença de nós soltos e vivos, 0,02 e 0,46 nós/m sucessivamente, foram abaixo dos valores descritos por Carvalho (2000) , que encontrou para a madeira de eucalipto jovem 0,70 nós vivos/m e 0,90 nós soltos/m. Tal fato deve-se certamente a menor idade da madeira utilizada pelo autor, que trabalhou com um plantio de sete anos, destinado inicialmente para a produção de matéria-prima para a indústria de celulose e papel.

4.3 Rendimento em Painéis Colados Lateralmente

Neste item são apresentados os resultados da conversão da madeira serrada (com defeitos) na obtenção dos PCLs produzidos a partir de peças “limpas”, isentas de defeitos, aplainadas e unidas através das diferentes emendas e colagem.

Apenas uma parte da madeira serrada foi transformada em painéis, sendo que foi programada a confecção de um número de PCLs suficientes para a realização dos ensaios previstos e a confecção do protótipo de móvel (poltrona de PCLs de eucalipto).

A Tabela 4 apresenta os valores de rendimento em PCLs simples e duplos, nos diferentes tratamentos quanto a confecção de emendas nas extremidades dos sarrafos ou peças. Para estes dados foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey, uma vez que na análise de variância (Tabela 12 do Anexo) foram encontradas diferenças significativas.

Tabela 4. Rendimento médio da conversão da madeira serrada em PCLs:

	Total de Painéis	Volume em Madeira Serrada Utilizado (m ³)	Volume Total em PCLs obtido (m ³)	Rendimento (%) *
Painel Simples com emendas de topo	3	0,122	0,07	57,38 a
Painel Simples com emendas “finger-joint”	3	0,142	0,07	49,29 b
Painel Duplo com emenda de topo	3	0,053	0,03	56,60 a
Painel Duplo com emendas “finger-joint”	3	0,062	0,03	48,39 b
Total	12	0,379	0,20	52,77

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Do total de 0,379m³ de madeira serrada bruta utilizada para a confecção dos PCLs, 52,77% em média, efetivamente se transformou em painel. A porção não utilizada foi descartada nas operações de retirada de defeitos, aplainamento, destopo, descarte de partes com rachadura, nós soltos e etc.

A perda de madeira nos painéis onde foram confeccionadas emendas do tipo “finger-joint” nas extremidades dos sarrafos foi significativamente maior, fato comprovado na análise estatística dos tratamentos. A operação de confecção dos “fingers” foi difícil para a madeira estudada, por vezes ocorreu a quebra da peça e uma parte desta teve de ser descartada, o que contribuiu para o menor rendimento destes tratamentos

A conversão da madeira serrada nos painéis PCL deve necessariamente significar a valorização do material ou produto final obtido, compensando o descarte de matéria-prima não utilizada devido às imperfeições.

4.4 Ensaios de Resistência nos Painéis

Nos sub-itens seguintes foram inseridos os resultados referentes aos ensaios de resistência realizados nos corpos-de-prova confeccionados a partir dos PCLs produzidos no estudo.

As tabelas a seguir apresentam juntamente aos resultados a avaliação dos testes de comparação de médias de Tukey, onde foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos nas análises de variância (Tabelas 13 a 19 do Anexo).

4.4.1 Cisalhamento

A Tabela 5 apresenta os dados dos ensaios de cisalhamento das linhas de colagem, onde a área cisalhante envolveu a interface entre as extremidades dos sarrafos (Figura 12). Neste sentido os corpos-de-prova apresentaram, na região solicitada, os dois tipos de emenda: “de topo” e com “finger-joint”.

Tabela 5. Resistência ao cisalhamento nas emendas de topo e “finger-joint” (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	18,44 b
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	78,24 a
T3 (painel duplo com emendas de topo)	60,44 a
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	78,66 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os resultados de cisalhamento nesta condição se mostraram significativamente superiores nos tratamentos onde foram utilizadas as emendas “finger-joint” e também no painel duplo com emendas de topo.

Carvalho (2004) trabalhando com painéis laminados estruturais encontrou valores de cisalhamento na linha de cola na ordem de 6 MPa, ou próximos a 61 kgf/cm², próximos aos valores encontrados neste trabalho para os tratamentos 2, 3 e 4.

Os PCLs simples, com emendas de topo apresentaram valores de cisalhamento nesta condição bastante baixos, indicando que o aumento da superfície de contato de colagem proporcionada pelas emendas “finger-joint” foram determinantes para o aumento da resistência ao cisalhamento nas demais condições.

A Tabela 6 mostra os resultados de cisalhamento na linha de colagem lateral entre os sarrafos ou peças utilizadas na confecção dos PCLs (ver Figura 12).

Tabela 6. Resistência ao cisalhamento nas emendas laterais (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	42,28 b
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	33,80 b
T3 (painel duplo com emendas de topo)	73,03 a
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	87,21 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Para esta condição, ou posicionamento dos corpos-de-prova no painel, os painéis duplos mostraram resultados significativamente superiores aos painéis simples. Tal fato justifica-se pelo fato de que os PCLs formados por duas camadas de sarrafos, apresentavam uma parte do corpo-de-prova (50%) onde não era solicitada a linha de cola, mas sim a própria madeira.

As emendas tipo “de topo” ou “finger-joint” utilizadas nas extremidades dos sarrafos não interferiram nestes ensaios, quanto a esta variável os tratamentos não mostraram diferenças significativas, o que era esperado em virtude das emendas laterais serem todas sem “finger”.

Os valores encontrados para a resistência ao cisalhamento nesta condição foram superiores ao tratamento 1 da condição anterior, indicando que a colagem lateral das peças foi melhor do que a colagem entre os topos, o que pode ser explicado pelo processo de montagem e prensagem através dos grampos e “sargentos” utilizados ao longo da colagem.

A Figura 15 mostra detalhes da realização dos ensaios de cisalhamento dos corpos-de-prova na máquina de ensaios do Laboratório de Ensaios Físico-mecânicos do DPF/IF/UFRuralRJ.



Figura 15. Detalhes dos ensaios de cisalhamento.

4.4.2 Tração

Quanto à resistência à tração os PCLs foram avaliados a partir de dois diferentes ensaios, o da tração normal às lâminas de cola e quanto à resistência da emendas dentadas ou biseladas (ABNT NBR 7190:1997).

Quanto a tração normal, esta é uma solicitação pouco comum na aplicação do painel, porém entende-se que o ensaio também pode avaliar a qualidade da interação entre as partes constituintes e as interfaces formadas entre a colagem das extremidades e entre as junções laterais.

Da mesma forma que o ensaio de cisalhamento, a tração normal foi avaliada em duas situações quanto ao posicionamento da retirada dos corpos-de-prova. A Tabela 7 mostra os resultados da avaliação das junções das extremidades dos sarrafos, onde estavam presentes as emendas “de topo” ou tipo “finger-joint” (Figura 12).

Tabela 7. Resistência à tração normal nas emendas de topo e “finger-joint” (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	12,44 d
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	25,93 c
T3 (painel duplo com emendas de topo)	40,56 b
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	56,85 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os valores encontrados foram inferiores aos resultados de cisalhamento, visto que esta solicitação realmente evidencia uma menor resistência da junção entre as peças. Não foram encontrados dados na literatura para comparação destes resultados.

Todos os tratamentos obtiveram diferenças estatisticamente significativas. Nos painéis simples a presença dos “finger-joint” resultou em valores aproximadamente duas vezes superior ao tratamento onde foi utilizada somente a emenda “de topo”.

Para os painéis duplos também foi encontrada uma média superior nos tratamentos com emendas do tipo “finger-joint”. Os PCLs com duas camadas de sarrafos apresentaram valores superiores aos PCLs simples, as médias encontradas são próximas ao valor de referência de tração normal para a madeira de *Eucalyptus saligna* apresentado no Anexo E do documento ABNT NBR 7190:1997, que é de 4,0 MPa, aproximadamente 40,8 kgf/cm².

Na Tabela 8 são mostrados os resultados da situação de avaliação da tração normal à linha de cola da junção lateral entre os sarrafos ou peças que constituíram os painéis.

Tabela 8. Resistência à tração normal nas emendas laterais (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	37,60 b
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	34,60 b
T3 (painel duplo com emendas de topo)	51,51 a
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	48,99 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os valores encontrados para esta situação foram, em geral, superiores aos encontrados para a situação anterior, indicando novamente que a colagem lateral, embora tenha sido feito sem qualquer tipo de encaixe, “finger” ou “bisel”, obteve um resultado melhor do que a colagem entre as secções transversais ou extremidades dos sarrafos.

A Tabela 9 apresenta os resultados de resistência das emendas dentadas ou biseladas. Neste ensaio os corpos-de-prova foram avaliados segundo a tração no sentido paralelo às fibras, solicitando novamente as emendas e linhas de colagem entre as peças que compuseram os PCLs (Figura 12).

Tabela 9. Resistência das emendas dentadas ou biseladas (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	30,25 b
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	57,39 b
T3 (painel duplo com emendas de topo)	79,14 ab
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	107,67 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os valores encontrados foram estatisticamente diferentes entre os painéis simples e duplos, o que se explica pelo fato de que os painéis com dupla camada apresentavam uma das camadas onde foram solicitadas várias emendas laterais, em conjunto com as emendas “de topo” ou tipo “finger-joint”, já que na montagem deste painel foram dispostas peças a 90° umas das outras.

A Figura 16 ilustra a montagem do ensaio de resistência às emendas dentadas ou biseladas.



Figura 16. Detalhes dos corpos-de-prova nos ensaios de resistência das emendas (tração).

4.4.3 Flexão

Neste sub-item são apresentados os resultados dos ensaios de flexão da avaliação os painéis, este ensaios foram realizados segundo a orientação da norma americana ASTM D-1037, já que a aplicação do documento nacional ABNT NBR 7190:1997 não foi possível pelas dimensões estipuladas para os corpos-de-prova de flexão.

Para os ensaios de flexão foram confeccionados corpos-de-prova produzidos a partir do corte na sentido transversal ao maior comprimento do painel e no sentido longitudinal, acompanhando a disposição dos sarrafos ou peças emendadas (Figura 12)

Na Tabela 10 são apresentados os resultados dos ensaios realizados para a primeira situação descrita no parágrafo anterior.

Tabela 10. Resistência à flexão no sentido perpendicular ao comprimento do painel (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	44,88 c
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	57,40 c
T3 (painel duplo com emendas de topo)	490,96 b
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	702,84 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Para os painéis duplos os valores de resistência à flexão neste sentido foram dez ou mais vezes superiores aos valores encontrados para os painéis de apenas uma camada, fato que se explica novamente pelo tipo de montagem do PCL de dupla camada.

A presença das emendas do tipo “finger-joint” aumentou a resistência final do painel quando solicitado à flexão, embora pela análise estatística apenas entre os painéis duplos esta diferença tenha se mostrado significativa.

Na Tabela 11 são detalhadas as médias encontradas para os ensaios de resistência à flexão dos corpos-de-prova confeccionados no sentido longitudinal ou paralelo ao comprimento do painel.

Tabela 11. Resistência à flexão no sentido paralelo ao comprimento do painel (Fig.12):

	Resistência (kgf/cm ²) (média de 10 repetições)
T1 (painel simples com emendas de topo)	34,81 c
T2 (painel simples com emendas “finger-joint”)	313,20 b
T3 (painel duplo com emendas de topo)	531,12 a
T4 (painel duplo com emendas “finger-joint”)	643,89 a

* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Novamente, para esta situação, os valores encontrados para os PCLs com camada dupla foram bastante superiores do que para os de camada simples. Chamou a atenção a significativa melhoria da resistência à flexão dos painéis simples com emendas do tipo “finger-joint” (tratamento 2), em relação aos painéis com emendas “de topo” do tratamento 1, o que evidencia a melhoria da interação entre as peças e a colagem entre elas proporcionada pela confecção dos “fingers”.

Na Figura 17 são apresentados detalhes dos ensaios de flexão realizados.

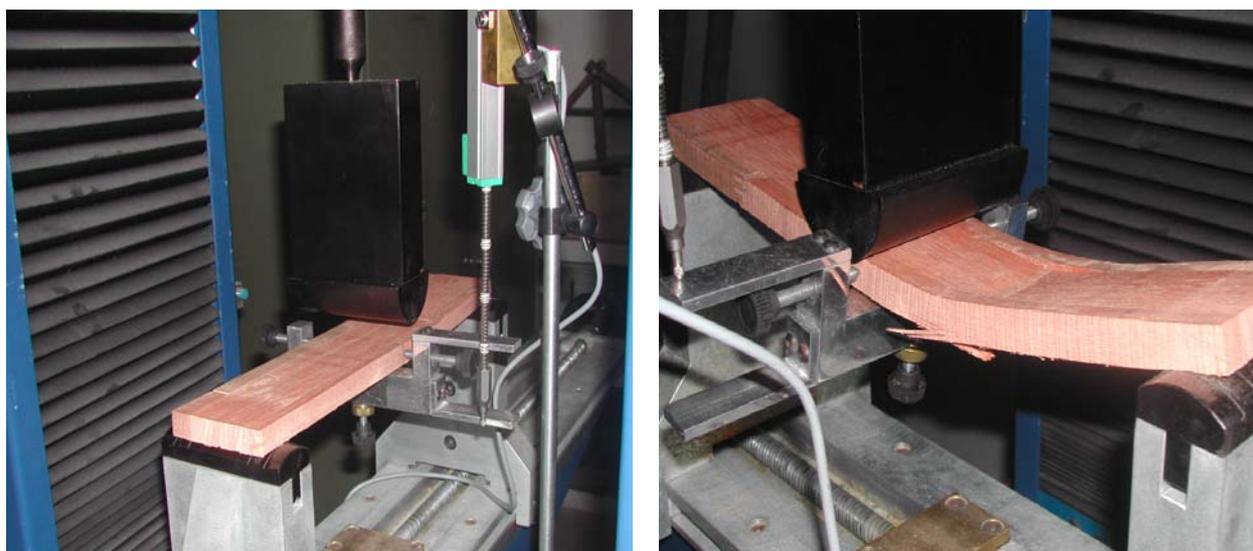


Figura 17. Detalhes dos ensaios de flexão.

4.5 Confeção do Móvel (Poltrona de PCLs de Eucalipto)

A Figura 18 apresenta detalhes do produto final obtido - protótipo de móvel de PCL de eucalipto, produzido a partir do material estudado.

Foram utilizados no protótipo os painéis que apresentaram os melhores resultados na avaliação qualitativa de resistência mecânica, ou seja, os PCLs com dupla camada de sarrafos. A poltrona confeccionada apresenta basicamente quatro partes constituintes, duas laterais, um encosto e um assento.

O projeto procurou evidenciar a utilização dos painéis colados lateralmente de eucalipto, proporcionando a visualização prática e interativa do potencial do material na confecção de um produto final - móvel. O painel possui características estruturais e o seu recorte gera inúmeras possibilidades de desenhos e designs.

Foram utilizadas na confecção do móvel as ferramentas serra tico-tico, plaina manual, lixadeira, furadeira e chave de fenda para fixação dos parafusos, caracterizando operações simples de confecção e montagem, possibilitadas pelas características do material PCL. No acabamento foi utilizado um verniz fosco para impermeabilização, que não alterou a coloração natural da madeira.

Nas ligações entre as partes constituintes foram utilizadas peças metálicas e parafusos, sem entretanto agredir a aparência de um móvel de madeira. No assento e encosto foram colocadas almofadas de espuma recobertas com couro sintético.

A poltrona foi exposta no saguão do Instituto de Floresta da UFRuralRJ.



Figura 18. Protótipo de móvel a partir do PCL de eucalipto, “poltrona de PCLs de eucalipto”.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho foram possíveis as seguintes conclusões:

- os PCLs de eucalipto avaliados sugerem que este tipo de painel tem potencial para produção industrial e para utilização na indústria moveleira;
- os rendimentos no desdobro de toras da madeira de *Eucalytus saligna* Smith poderiam ser melhorados com adaptações no equipamento, tais adaptações devem ser estudadas para que as espécies de eucalipto aumentem a sua participação no mercado da madeira serrada;
- a madeira estudada apresentou significativos índices de defeitos, principalmente rachaduras, confirmando o comportamento da espécie ao longo da secagem. Devem ser estudados programas de secagem específicos para as diferentes espécies de eucalipto, para que os índices de perda de madeira na conversão para produtos serrados seja cada vez mais proveitosa;
- devido aos índices de defeitos a conversão da madeira serrada em sarrafos “limpos” e, posteriormente, em PCLs apresentou uma elevada perda de material; esta perda deve ser compensada pela valorização qualitativa do produto PCL, que apresenta grande potencial de mercado, inclusive para exportação, já que o Brasil é um grande produtor da matéria-prima eucalipto;
- as emendas do tipo “finger-joint” utilizadas em parte dos tratamentos da produção dos painéis, agregaram significativas melhorias na qualidade da colagem e nas variáveis de resistência avaliadas;
- os painéis duplos, com duas camadas de sarrafos apresentaram resultados superiores aos de camada simples, indicando uma boa estratégia para melhoria da qualidade dos painéis colados lateralmente;
- os documentos normativos ABNT NBR 7190-1997 e ASTM D-1037 se mostraram eficientes na avaliação da resistência dos painéis produzidos e estudados neste estudo;
- foi bastante satisfatório o processo e o produto final obtido na confecção do protótipo de móvel - poltrona de PCLs de eucalipto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, M.S. Estado de la tecnologia em usos no tradicionales de la madera de eucalipto em el Mercosur y otros paises. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS SOBRE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADA PARA DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO , 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 1998.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Processamento mecânico da madeira na evolução humana. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 4, n.23, p.36-37. julho-agosto. 1995.

ALBUQUERQUE, C.E.C., MENDES, L.M. Da madeira dos sarcófagos a moderna indústria. **Revista da Madeira**. 45 : 26-28, 1999.

ALEXIOU, P.N. Accelerating the kiln drying of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. In: IUFRO **Wood Drying Symposium**. Seattle, 1989. p. 116-25.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia. Designation D-1037 – 96a, Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. 1999.

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

ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, ano 16, n.95, p.78-80, 2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL. Aproveitamento dos resíduos de serraria. Vol 9. 1957. p 97-98.

ASSIS, T.F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para a obtenção de produtos sólidos da madeira. In: WORKSHOP: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, Viçosa, 1999. **Anais**. Viçosa: UFV / DEF / SIF / IEF, 1999. p.61-72.

ASSISTAT. Assistência estatística, versão 7.5 beta. 2008. Disponível em <http://assistat.com>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial 2004**. Curitiba, 2005. 50 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeira**: NBR 7190. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

BAENA, E.S. A utilização de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill jovens na confecção de sarrafos. Piracicaba 1982. 74p. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

C.T. DONOVAN ASSOCIATES INC. **Opportunities and Constraints associated with using wood waste for fuel in connecticut** . Connecticut: Office of Policy and Management, Energy Division, 1990.

CAIXETA, R.P.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S. Classificação de *Eucalyptus* relacionados com a qualidade da madeira após secagem natural. **Scientia Forestalis**, n.61, p. 49-58, 2002.

CAMPBELL, G.S. & HARTLEY, J. Drying and dried wood. In: HILLIS, W.E. & BROWN. AG. – ***Eucalyptus* for wood production**. Academic Press, 1984. p. 322-7.

CARVALHO, A.M. **Valorização da Madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. 2000. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CAVALCANTE, A.A. **Ocorrência do colapso na secagem da Madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 1991. 76f. Dissertação de mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP.

CHAFE, S.C. Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Part II: The influence of wood extractives. **Wood Science and Technology**, 21(1):27-41. 1987.

CHAFE, S.C. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans*. **Wood Science and Technology**, 20(3):253-62. 1986.

CONRAD, M.P.C., SMITH, G.D., FERLUND, G. (2003) Fracture of solid wood: A review of structure and properties at different length scales, **Wood and Fiber Science**, 4:570-584. 2003.

COSTA, E.M. A Madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, Curitiba, 1996. **Anais**, Curitiba: ABPM/SBS, 1996. p.75-90.

DEL MENEZZI, C.H.S. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F.Muell**. 1999. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da Madeira: Retratibilidade** Danta Maria, CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

ECKER, V.; CUNHA A.B.; MODESTI, L.G. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de painéis sarrafeados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2003. p. 313-314.

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

ELLWOOD, E.L. & ECKLUND, B.A. The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. I: Effect of degrees of replacement. **Forest Products Journal**, Madison, 13(7):291-6. 1963.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FERREIRA, S.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.10-21, 2004.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1984. 111p.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. **Eucalypts for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. 434p.

JANKOWSKY, I.P. & CAVALCANTE, A.A. Collapse prevention in the drying of eucalipt wood. In: III IUFRO **International Wood Drying Conference**. Viena, 1992. p. 357-61.

JANKOWSKY, I.P. Equipamento e processos para secagem de madeira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF – ESALQ-USP, 1995.

KININMONTH, J.A. **Permeability and fine structure of certain hardwoods and effect on drying**. III: Problems in drying heartwood. Forest Research Institute, 1973. p. 26-31.

KOCH, P. Wood versus nonwood materials in U.S. residential construction: some energy-related global implications. **Forest Products Journal**, v.42, n.5, p.31-42, May 1992.

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

LOPES, A.G. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população**. 2000. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologia de Madeiras)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

LUZ, H.F.; MELZER, J.F.; COUTINHO, C.J.; FERREIRA, M.C. Manejo de florestas de eucalipto para usos múltiplos. In: 7º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba, 1993 - **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.3, p.283-290.

MALAN, F.S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p.1-19.

MALAN, F.S. The wood properties and sawn board quality of the *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* hybrid. **South African forestry journal**, n.188, p.29-35, 2000EY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672p.

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

MCMILLEN, J.M. **Stressing wood during drying**. Forest Product Laboratory (USDA), 1958.

MELLADO, E.C.E.R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden na geração de produtos de maior valor agregado**. 1993. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MENEZES, L.F. Desdobro, secagem e beneficiamento da madeira de eucalipto – a experiência da Flosul. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1., ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte, **Anais...Viçosa: SIF**. 1998. 132p.

MIRANDA, M.J.A.C. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith no rendimento em madeira serrada, nas condições verde e seca. Piracicaba, 1998. 188p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. Biomass Handbook. Editors KITANI, O. & HALL, C.W. New York: **Gordon and Breach Science Publishers**. USA, 1989. p. 160-170.

NAHUZ, M.A.R. Aspectos de tecnologia e produção no uso múltiplo das florestas. Reunião do Projeto FLORAM, 25 a 27 de outubro, Belo Horizonte. 1995. 10p.

NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES. Forest Today. Woodchips. Disponível: [www.nafi.com.au/faq/woodchips](http://www.nafi.com.au/faq/woodchips.html). html. Capturado em outubro de 1999.

NEUMAN, R.J. Kiln drying young *Eucalyptus globules* boards from green. In: IUFRO Wood Drying Symposium. Seattle, 1989. p. 107-15.

NEUMANN, R.J. Hacia un secado de Madera mas eficiente. In: IUFRO XIX World Congresso Division 5 Proceedings. Montreal, 1990. p. 191-203.

OBINO, C.R. Usos da madeira de eucalipto. In: SIMPÓSIO IPEF, 6, São Pedro, 1996. **Anais**. Piracicaba: IPEF, 1996. v. 4, p.27-29.

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

OLIVEIRA, J.T.S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: WORKSHOP: TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, Viçosa, 1999. **Anais**. Viçosa: UFV / DEF / SIF / IEF, 1999. p.39-52.

PATZAK, W. Energia da madeira e de resíduos: estágio atual da pesquisa e da prática na Alemanha ocidental. In: **SEMINÁRIO FLORESTA: POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO**, 1977. p. 73-83.

PONCE, R.H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectives. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP, 1995.

REMADE. Eucalipto, pesquisa amplia usos (Edição especial). **Revista da Madeira**, agosto, 2003. 138p.

ROCHA, M.P. Desdobro Primário da Madeira. FUPEF – **Série Didática no 02/99**. Curitiba, 1999. 61 p.

SANTOS, J.A. Tecnologia de transformação de eucalipto para madeira maciça. In: III CONGRESSO FLORESTAL NACIONAL, Figueira da Foz, Portugal, 1994. **Anais**. p.232-243.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J.N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Viçosa, n.65, p.120-129, 2004.

SHIMOYAMA, V.R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J.R.M.; MUÑIZ, G.I.B.; LIMA, J.T.; BONDUELLE, A.F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.479-487, 2005.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse University Press, 1972. 218p.

SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Environmental implications of the use of wood-based products**. www1.fpl.fs.fed.us/swst/enviro.html (set.,1997).

SOUZA, M.R. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais – IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. **Workshop Sul-Americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**. Curitiba, 1997. p. 49-70.

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

TUSET, A.; DURAN, F. **Manual de Madeiras Comerciales, Equipos y Proceso de Utilizacions**. Uruguai, Editorial Hemisfério Sul, 1979.

VALE, R.S.; MACEDO, R.C.G.; VENTURIN, N.; MORI, F.A.; MORAIS, A.R. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, p.285-297, 2002.

VALENÇA, A.C.V.; PAMPLONA, L.M.P.; SOUTO, S.W. Os novos desafios para a indústria moveleira no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.15, p.83-96, 2002.

VERMAAS, H.F. Drying Eucalypts for quality: material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. **Anais**.16p.

ZOBEL, B. Wood quality from fast grow plantations. **Tappi journal**, v.64, n.1, 1981.

ANEXO

Tabela 12. Análise de variância dos resultados de rendimento da conversão da madeira serrada em PCLs:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tipo de Painei	3	201.41317	67.13772	12.2779 **
Resíduo	8	43.74533	5.46817	
Total	11	245.15850		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Tabela 13. Análise de variância dos resultados da resistência ao cisalhamento nas emendas de topo e “finger-joint”:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	4498.64100	4498.64100	18.4757 **
(F2) Nº Camadas	1	15217.80100	15217.80100	62.4988 **
Int. F1xF2	1	4322.24100	4322.24100	17.7513 **
Tratamentos	3	24038.68300	8012.89433	32.9086 **
Resíduo	36	8765.61600	243.48933	
Total	39	32804.29900		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

Tabela 14. Análise de variância dos resultados da resistência ao cisalhamento nas emendas laterais:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	17707.26400	17707.26400	104.1045 **
(F2) Nº Camadas	1	81.22500	81.22500	0.4775 ns
Int. F1xF2	1	1283.68900	1283.68900	7.5471 **
Tratamentos	3	19072.17800	6357.39267	37.3764 **
Resíduo	36	6123.28600	170.09128	
Total	39	25195.46400		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 15. Análise de variância dos resultados de resistência à tração normal nas emendas de topo e “finger-joint”:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	8714.30400	8714.30400	156.8140 **
(F2) N ^o Camadas	1	2217.12100	2217.12100	39.8971 **
Int. F1xF2	1	19.60000	19.60000	0.3527 ns
Tratamentos	3	10951.02500	3650.34167	65.6880 **
Resíduo	36	2000.55400	55.57094	
Total	39	12951.57900		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

Tabela 16. Análise de variância dos resultados de resistência à tração normal nas emendas laterais:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	2002.22500	2002.22500	33.5897 **
(F2) N ^o Camadas	1	76.17600	76.17600	1.2779 ns
Int. F1xF2	1	0.57600	0.57600	0.0097 ns
Tratamentos	3	2078.97700	692.99233	11.6258 **
Resíduo	36	2145.89800	59.60828	
Total	39	4224.87500		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

Tabela 17. Análise de variância dos resultados de resistência das emendas dentadas ou biseladas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	24586.72225	24586.72225	14.7469 **
(F2) N ^o Camadas	1	7747.87225	7747.87225	4.6471 *
Int. F1xF2	1	4.83025	4.83025	0.0029 ns
Tratamentos	3	32339.42475	10779.80825	6.4656 **
Resíduo	36	60020.81900	1667.24497	
Total	39	92360.24375		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

Tabela 18. Análise de variância dos resultados de resistência à flexão no sentido perpendicular ao comprimento do painel:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	2978539.77600	2978539.77600	189.8285 **
(F2) N ^o Camadas	1	125888.40000	125888.40000	8.0231 **
Int. F1xF2	1	99361.02400	99361.02400	6.3325 *
Tratamentos	3	3203789.20000	1067929.73333	68.0614 **
Resíduo	36	564864.86400	15690.69067	
Total	39	3768654.06400		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

Tabela 19. Análise de variância dos resultados de resistência à flexão no sentido paralelo ao comprimento do painel:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
(F1) Tipo de emenda	1	1709822.50000	1709822.50000	86.9972 **
(F2) N ^o Camadas	1	382515.36400	382515.36400	19.4627 **
Int. F1xF2	1	68574.96100	68574.96100	3.4891 ns
Tratamentos	3	2160912.82500	720304.27500	36.6497 **
Resíduo	36	707535.89400	19653.77483	
Total	39	2868448.71900		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

Curva de Secagem

C:\Documents and Settings\latorraca\Meus documentos\kelysson sec.cur

Nº da Curva: **1**

Umidade Final (%): **0** Madeira: **[dropdown]**

Duração Prevista (h): **80** Grupo: **1**

Observações: **Eucalyptus saligna**

Fase 2.11

Var. Pontos (%): **0**

Tempo (h): **0**

Umidade Mad. (%): **0**

Fases	S E C A G E M											UNF	CND	RSF	
	AQC	1.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9				2.10
TBS (°C)	40	40	40	40	40	44	46	51	57	61	65	0	65	65	0
TBU (°C)	39	38	37	36	36	39	40	45	49	50	57		58	62	
UR (%)												0			0
DF1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Banho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
Tempo (h)	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	10	10	0
E / OU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
Umid. Mín. (%)	0	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	0	0	0	0
DF2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 19. Parâmetros do programa utilizado na secagem das tábuas.

* * *