

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias



Trabalho de Conclusão de Curso

Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de *Pinus
elliottii* para produção de lâminas de madeira

Leonardo Mendes Nogueira

Pelotas, 2010

LEONARDO MENDES NOGUEIRA

Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de
Pinus elliottii para produção de lâminas de madeira

Trabalho Acadêmico apresentado ao
Curso de Engenharia Industrial
Madeireira da Universidade Federal de
Pelotas, como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof^a. Dr. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2010

Banca examinadora:

Érika da Silva Ferreira (Centro de Engenharias – UFPel)

Gilson Porciúncula (Centro de Engenharias – UFPel)

Cristiane Pedrazzi (Centro de Engenharias – UFPel)

DEDICO

*Aos meus queridos e amados
Pais: Cláudio e Maria Alice, ao meu
Irmão: Othello. A todos meus familiares e amigos.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de poder estudar;

À minha mãe e meu pai que sempre me ajudam a enxergar mais longe;

À minha família, que me ajudou muito durante essa experiência;

À minha namorada que me incentivou e me apoiou sempre que precisei;

Aos meus colegas, pelo companheirismo, respeito e contribuição durante toda a graduação e, principalmente, durante a realização deste trabalho;

À minha orientadora e amiga, Prof^a. Dr. Érika Ferreira, por sempre acreditar e depositar confiança na minha capacidade, pelos conselhos, oportunidades e gestos que tornaram possível a minha formação acadêmica;

À Universidade Federal de Pelotas, pela realização do curso de Engenharia Industrial Madeireira;

Aos demais professores e funcionários do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas pelos conhecimentos transmitidos;

À empresa Palma Sola S.A., pela oportunidade de realização deste trabalho e principalmente pela sua generosidade e hospitalidade;

Aos demais amigos, que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a minha formação.

Resumo

NOGUEIRA, Leonardo Mendes. **Avaliação da viabilidade do descascamento de toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira.** 2010. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A indústria madeireira é caracterizada por alta geração de resíduos e baixos rendimentos. Isto reflete em conseqüências ambientais e econômicas para a cadeia produtiva que necessitam ser revistas e dimensionadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do descascamento de toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira. Os dados foram coletados em uma indústria de compensados laminados no município de Palma Sola – SC, sendo realizada uma amostragem total de 176 toras com casca e sem casca. Por meio da diferença entre o volume inicial da tora e os volumes da tora arredondada e do rolo resto, foi possível determinar o volume laminado e por conseqüência o rendimento em laminação e a percentagem de perdas médias. Verificou-se um rendimento médio em laminação superior no processo realizado com toras sem casca. As perdas por descascamento e arredondamento se mostraram superiores no processo de laminação de toras com casca. O volume de perdas pelo rolo residual apresentou uma tendência de ser maior no processamento de toras com casca, devido a maior incidência de quebra dos rolos resto. Além disso, constatou-se um maior desgaste da faca do torno laminador no processamento das toras com casca, aumentando o custo de produção. Portanto, com o presente trabalho foi comprovada a viabilidade de descascamento das toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira.

Palavras-chaves: Toras. *Pinus elliottii*. Descascamento. Rendimento em laminação.

Abstract

NOGUEIRA, Leonardo Mendes. **Assessment of the feasibility to stripping wood for *Pinus elliottii*, for to production veneer wood.** 2010. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade. Federal de Pelotas, Pelotas.

The timber industry is characterized by high waste and low incomes. This reflects on environmental and economic consequences for the productive chain that need to be review and scaled. The objective of this work was to evaluate the feasibility of the stripping the wood of the *Pinus elliottii* for production veneer wood. Data were collected in a laminated plywood industry (Santa Catarina), with sample of 176 logs with bark and without bark. There was a higher average income in lamination in the lamination of logs without bark. Losses due to rounding and stripping were higher in the lamination process of logs with bark. The volume of residual losses by roll tended to be higher in the processing of logs with bark, due to higher incidence of break rolls. Moreover, there was a greater wear of the knife in the lamination treatment of logs with bark increasing the cost of production. Therefore, this work demonstrates the feasibility of the stripping the wood of the *Pinus elliottii* for production veneer wood.

Keywords: Logs. *Pinus elliottii*. Debarking. Yield lamination.

Lista de Figuras

Figura 1 - Descascador do tipo “cilindro cortante”.....	18
Figura 2 - Descascador em anel.....	19
Figura 3 - Cidade de Palma Sola.....	29
Figura 4 - Tanque de vaporização.....	31
Figura 5 - Torno laminador e sistema de bobinamento.	32
Figura 6 - Ilustração representativa do processo de laminação por torneamento da tora e suas principais partes mensuráveis.	34
Figura 7 - Tora após o processo de arredondamento.	36

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Diâmetros superiores e inferiores médios e fator de forma das toras com e sem casca	39
Tabela 2 - Volumes médios nas diferentes etapas do processo de laminação	40
Tabela 3 - Perdas percentuais médias nas diferentes etapas do processo de laminação e rendimento	41
Tabela 4 - Perdas percentuais médias nas diferentes etapas da laminação e rendimento do processo para diferentes espécies disponíveis na literatura. ...	42

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO.....	14
2.1	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	Espécie Pinus elliottii Eng	15
3.2	Histórico da laminação	16
3.3	Preparação das toras para a laminação.....	17
3.3.1	Remoção da casca.....	17
3.3.2	Conversão das toras	19
3.3.3	Aquecimento das toras.....	20
3.4	Processos de produção de lâminas de madeira.....	20
3.4.1	Torno laminador	21
3.4.1.1	Componentes do torno laminador	22
3.4.2	Faqueadeira	24
3.5	Rendimento e resíduos na indústria de laminação.....	25
3.6	Painéis de madeira compensada	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Caracterização da área de estudo	28
4.2	Caracterização do processo de laminação.....	29
4.2.1	Extração e preparo da matéria prima	29
4.2.2	Armazenamento das toras	30
4.2.3	Aquecimento das toras.....	30
4.3	Torno laminador	31
4.4	Fator de conicidade	32
4.5	Cálculo de rendimento em laminação	33
4.5.1	Volume laminado.....	35
4.5.2	Porcentagem de perdas nas etapas do processo	36
4.5.3	Rendimento em laminação.....	38
4.6	Análise estatística	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	Diâmetros médios e fator de conicidade	39
5.2	Volumes Médios.....	40
5.3	Perdas percentuais médias e rendimento em laminação	41
6	CONCLUSÕES	46
7	RECOMENDAÇÕES	47

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	51

1 INTRODUÇÃO

De acordo com estudo setorial realizado pela ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (2008), a cobertura florestal brasileira é formada por aproximadamente 211 milhões de hectares de florestas nativas de produção e cerca de 6 milhões de hectares de florestas plantadas, o que representa um acréscimo de 4,2% frente à área plantada em 2006.

As florestas nativas de produção estão distribuídas principalmente nas regiões norte e centro-oeste do país ao longo de um arco a partir do Estado de Rondônia, passando por Mato Grosso até o Pará. Já as áreas de florestas plantadas estão concentradas principalmente nas regiões sudeste, sul e nordeste, sendo as espécies dos gêneros pinus e eucalipto as mais representativas, correspondendo a quase 93% do total. As maiores áreas de plantios de eucalipto estão localizadas nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Bahia. Com relação aos plantios de pinus, destacam-se os Estados do Paraná e Santa Catarina (ABIMCI, 2006).

No Brasil a utilização da madeira de *Pinus* spp encontra-se diversificada, gerando produtos sólidos como lâminas, painéis compensados, madeira serrada, bem como painéis reconstituídos (MDF, aglomerados e OSB), destinados principalmente aos setores da construção civil, de móveis e embalagens, atendendo aos mercados interno e externo (BORTOLETTO, 2006).

Entretanto, após o fim dos incentivos fiscais ao reflorestamento, encerrados em 1986/87, o plantio de florestas não acompanhou o ritmo de crescimento da produção industrial. Segundo previsões da SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (2000), a garantia de oferta de matéria-prima para dar suporte ao crescimento da indústria estaria ameaçada, pois a diminuição dos estoques de toras de *Pinus* spp para laminação e serraria já era uma realidade e far-se-á sentir ainda mais na segunda metade da década de 2000, como decorrência das reduzidas taxas de plantio nos anos 80 e 90.

Conforme Azevedo (2003), a situação atual dos estoques potenciais de madeira plantada, confrontados com a capacidade de consumo, configura a

exaustão de matéria-prima para o setor florestal a partir do ano 2004. Exemplo dessa situação são os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul que já estão importando matéria prima do Uruguai, Argentina e Chile.

Apesar disso, alguns fatores encarecem os custos de produção de produtos de madeiras nativas, como: a dificuldade de exploração, as grandes distâncias a serem vencidas com o transporte de toras, o isolamento dessas florestas, as fortes pressões dos grupos ambientalistas em relação à origem da madeira e a necessidade de certificação. Estes fatores acabam incentivando a tendência de utilização de madeiras de reflorestamento.

Segundo Brand (2002), o fato das indústrias de base florestal terem baixo rendimento e gerarem grandes quantidades de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária, não é novidade. Porém, o aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento do consumo da matéria-prima madeira, em um momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma. Além disso, gera quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não têm utilização na indústria onde os mesmos foram gerados.

A forma mais adequada de gerar alternativas para solucionar estes e outros problemas decorre do conhecimento relacionado ao rendimento do processo produtivo nas indústrias e das perdas por resíduos existentes, além dos possíveis usos aos quais pode ser direcionado este material. Sendo assim, é fundamental a realização da análise do processo produtivo, caracterizado pela avaliação do rendimento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade do descascamento de toras de *Pinus elliottii* para produção de lâminas de madeira pelo processo de torneamento.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o volume de madeira laminada das toras com e sem casca;
- Determinar o rendimento médio em laminação das toras com e sem casca;
- Determinar a perda percentual média das toras com e sem casca;
- Determinar a perda percentual média em cada etapa do processo de laminação;
- Identificar problemas causados pela presença da casca no processo de laminação;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Espécie *Pinus elliottii* Eng

Segundo Becker (2008), atualmente os reflorestamentos vêm adquirindo grandes dimensões, principalmente na região sul do Brasil, com florestas de *Pinus*. O *Pinus elliottii* é uma conífera originária da América do Norte, principalmente de climas frios. Teve excelente adaptação ao clima brasileiro, apresentando um desenvolvimento extraordinário. Este material passou a ter grande utilização na indústria de celulose, na fabricação de móveis e de painéis de madeira reconstituída.

O principal uso de *Pinus elliottii* no Brasil é a produção de madeira para processamento mecânico e extração de resina. Até 1989 o Brasil era importador da resina de *Pinus*, hoje a situação é outra. O setor faturou US\$ 30 milhões no ano de 2005, entre mercado interno e exportação (BALLONI, 2010).

É uma árvore de rápido crescimento com preferência por clima e solo úmidos. Pode atingir cerca de trinta metros de altura. Apresenta casca sulcada e acinzentada em indivíduos jovens e marrom-avermelhada em indivíduos adultos (MAHMOUD, 2003).

Segundo IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1989), macroscopicamente, a madeira de *Pinus elliottii* apresenta cerne e alborno indistintos pela cor, branco-amarelado, brilho moderado; cheiro e gosto distintos e característicos (resina), agradável; densidade baixa; macia ao corte; grã direita; textura fina. Parênquima axial é invisível mesmo sob lente de 10x; raios visíveis apenas sob lente no topo, na face tangencial é invisível mesmo sob lente de 10x; camadas de crescimento distintas, transição brusca entre o lenho inicial e tardio; canais resiníferos visíveis sob lente, em disposição axial e radial.

De acordo com Gatto (2000), as propriedades físicas e mecânicas da madeira de uma determinada espécie podem variar devido aos tratamentos silviculturais, tipo de povoamento, origem (florestas plantadas ou nativas) e do sítio (estrutura do solo, fertilidade e profundidade).

3.2 Histórico da laminação

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).

A laminação não se constitui uma invenção moderna. Este processo produtivo de obtenção de lâminas de madeira iniciou-se no Antigo Egito, há cerca de 3000 anos a.C., e se destinava à confecção de peças de mobiliário pertencentes aos reis e príncipes (ALBUQUERQUE, 1996 apud IWAKIRI, 2005).

Os estudos dessas valiosas peças de madeira, relacionados às técnicas de produção das lâminas e aos tipos de adesivos empregados, ainda provocam especulações. Acredita-se que as lâminas eram obtidas a partir de serras manuais, e o alisamento da superfície destas através de material abrasivo, provavelmente a pedra-pome. Quanto aos adesivos empregados, é aceita a hipótese de que fossem à base de albumina. As civilizações Assírias, Babilônicas e Romanas, posteriores à Egípcia, também promoveram avanços no uso de laminados e, certamente, com grande influência desta última (RÉCIO, 2004).

A primeira máquina a produzir lâminas contínuas por faqueamento de toras em torno desfolhador surgiu em 1818. Entretanto, nos Estados Unidos, existe uma patente de torno laminador de 1840, concedida a Dresser, e na França outra concedida a Garand, em 1844. Neste processo as toras possuíam normalmente, 2m de comprimento e a velocidade de laminação situava-se na faixa de 4 a 5 m/min (MENDES, 2009).

De acordo com Albuquerque (1995) a base do surgimento da indústria de compensados foi o grande progresso na manufatura de lâminas de madeira, principalmente com o surgimento do torno desfolhador, que possibilitou uma produção econômica em massa de lâminas de madeira.

A indústria de laminação teve um grande impulso a partir da instalação de primeiras fábricas de compensados, no início do século XX. No Brasil, as primeiras laminadoras e fábricas de compensados foram instaladas na década de 30. Em princípio, as unidades industriais na região Sul utilizavam, em grande

escala, a madeira de *Araucaria angustifolia*, devido à abundância dessa espécie na época e também face às suas excelentes características para obtenção de lâminas e fabricação de compensados (BONDUELLE, 2006).

Passadas algumas décadas, com a redução no volume disponível desta espécie e por questões ambientais, já a partir da década de 80, a madeira de *Pinus* spp, proveniente de florestas plantadas, começou a ser utilizada em escala comercial tornando-se a principal matéria-prima para produção de lâminas e compensados na região Sul do país (BONDUELLE, 2006).

3.3 Preparação das toras para a laminação

Segundo Keinert Jr. e Iwakiri (2005) apud Batista (2007) as etapas de preparação da tora até a sua laminação são: descascamento, conversão e aquecimento, e dependem principalmente da propensão da madeira ao fendilhamento.

Para espécies de folhosas que são mais propensas ao fendilhamento de topo, recomenda-se realizar as operações na seguinte seqüência: descascamento, aquecimento das toras em comprimentos maiores e conversão em toras menores. Essa situação requer tanques de aquecimento maiores e equipamentos para manuseio de toras com maior capacidade, além de possibilidades de danos mecânicos a madeira durante o manuseio das toras já descascadas. Para espécies de coníferas, devido à menor propensão ao fendilhamento, pode se adotar a seguinte seqüência de operações: descascamento, conversão em toras menores e aquecimento. Desta forma, os tanques de aquecimento e equipamentos de manuseio de toras poderão ser de menor capacidade (IWAKIRI, 2005).

3.3.1 Remoção da casca

Segundo Batista (2007), a remoção da casca das toras tem por finalidade facilitar o aquecimento das toras, uma vez que a casca é isolante térmica. Por conter elevado teor de minerais (principalmente cristais de Cálcio e Magnésio) e impurezas aderidas como areia, pequenas pedras, a remoção da casca é

importante na manutenção da afiação do elemento de corte utilizado na laminação.

Segundo Iwakiri (2005), As toras podem ser descascadas com ferramentas manuais como machado, aplicação de água sob pressão, sistema de tambor rotativo (método de fricção), descascador em anel (método de cisalhamento de câmbio) e descascador do tipo "cilindro cortante". O descascador tipo "cilindro cortante" (Fig. 1), apresenta baixo custo inicial e de manutenção, fácil ajuste e boa adaptação a variações de diâmetros das toras. A remoção da casca é realizada através de cilindro rotatório com lâminas cortantes operando no sentido paralelo ao eixo longitudinal da tora. A capacidade de produção pode variar na faixa de 1,3 a 22 m³/hora.

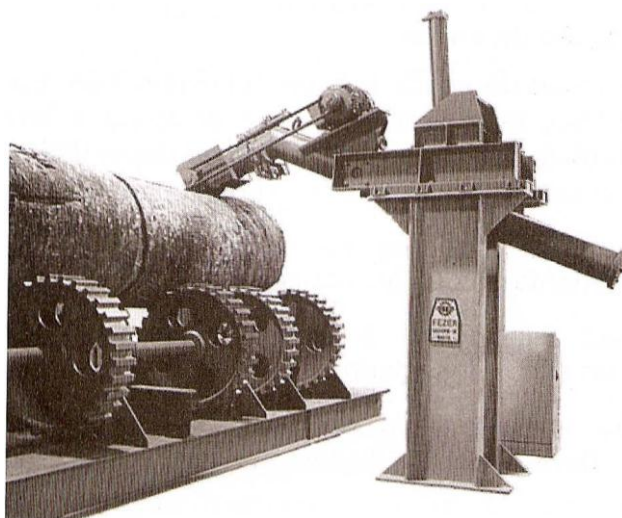


Figura 1 - Descascador do tipo "cilindro cortante".
Fonte: Iwakiri, (2005).

O descascador em anel (Fig. 2) é ideal para toras de diâmetros menores e uniformes (espécies de reflorestamentos) e apresenta como vantagens maior produção e menor perda em fibras. Podem ser construídos nas formas fixas ou móveis, sendo este, podendo ser transportado e operado por tratores e caminhões. A capacidade de produção pode variar na faixa de 4 a 22 m³/hora. Na escolha do descascador os seguintes fatores devem ser considerados: custo do investimento e manutenção, espécies de madeira, volume a ser descascado, diâmetro máximo e mínimo das toras, facilidade de operação e manutenção (IWAKIRI, 2005).



Figura 2 - Descascador em anel.
Fonte: Catálogo Demuth, (2010).

3.3.2 Conversão das toras

As toras armazenadas em grandes comprimentos são seccionadas em toras menores de acordo com as dimensões das lâminas para produção de compensados. As toras para faqueadeiras são posteriormente desdobradas em blocos ou pranchões em função da direção de corte desejada para obtenção de "figuras" em lâminas decorativas. Os equipamentos utilizados para conversão das toras são: sistema de motosserra para seccionamento, serra fita e serra circular para o desdobro em pranchões (IWAKIRI, 2005).

A etapa de conversão das toras pode ocorrer após o descascamento ou o aquecimento. Isso é um fator dependente da propensão das toras ao fendilhamento dos topos. Espécies de coníferas, onde o fendilhamento é menor, podem ser convertidas no comprimento desejado para a laminação logo após o descascamento; são, portanto, enviadas em dimensões menores para o aquecimento, ocupando menos espaço nos aquecedores. Espécies propensas ao fendilhamento, principalmente as folhosas, devem ser aquecidas após o descascamento, e em seguida serem convertidas no comprimento desejável para a laminação (BATISTA, 2007).

Na conversão das toras devem ser considerados alguns fatores como: o corte deve ser executado a 90° em relação ao eixo longitudinal da tora para sua melhor fixação no torno; eliminar a tortuosidade da tora evitando número de rotações excessivas do torno para arredondamento; destopar os topos fendilhados evitando o deslizamento das garras e produção de lâminas

fendilhadas; e eliminar partes com defeitos (IWAKIRI, 2005).

3.3.3 Aquecimento das toras

O aquecimento tem a finalidade de aumentar a plasticidade da madeira, tornando-a mais flexível. Esse “amolecimento” é atribuído a mudanças físicas da lignina e das substâncias peptídicas, atenuando alguns defeitos inerentes da madeira, minimizando desta forma a ocorrência de fendas superficiais e reduzindo a aspereza da lâmina durante o processo de corte, prolongando também a durabilidade da faca, devido ao amolecimento dos nós e da resina, melhorando as condições de laminação (REMADE, 2004 apud DALAVALI, 2008).

O aquecimento melhora as condições de laminação, principalmente em madeiras duras e para a obtenção de lâminas espessas. Devido ao amolecimento de nós, a durabilidade da faca será mais prolongada. Outro aspecto importante é a uniformização da temperatura da madeira em diferentes estações do ano e sua contribuição na melhoria da qualidade da lâmina (IWAKIRI et al, 2005).

De modo geral é uma etapa recomendada para obtenção de lâminas de madeiras duras, a serem utilizadas na face do compensado. Quando a lisura e a firmeza da superfície da lâmina não são muito importantes, como nos compensados estruturais ou de embalagens, muitas vezes o aquecimento pode não ser necessário (SUCHSLAND & JANKOWSKY, 1978 apud BATISTA, 2007).

3.4 Processos de produção de lâminas de madeira

A produção de lâminas de madeira é feita de diferentes maneiras, de acordo com a aplicação destas no produto final. Atualmente os dois principais meios de obtenção de lâminas ocorrem a partir do uso de tornos laminadores ou faqueadeiras, verticais ou horizontais (BATISTA, 2007).

Segundo Iwakiri (2005), a laminação de madeiras pode ser realizada através do torno, faqueadeira e serra. O método de serra é o mais antigo e praticamente não é utilizado atualmente. O torno laminador é o equipamento mais utilizado para produção de lâminas para compensados, e a faqueadeira é empregada para produção de lâminas decorativas.

3.4.1 Torno laminador

O torno laminador é um equipamento utilizado na laminação de toras. A laminação é uma operação que consiste em obter um tapete contínuo de madeira, chamado de laminado, através da rotação da tora fixada por contra roletes e o conjunto faca / barra de pressão. As relações angulares e a distância entre a faca e a barra de pressão, formam os elementos geométricos que devem ser ajustados conforme as condições de processamento (PEREIRA & PERDIGÃO, 1996 apud DALAVALI, 2008).

Deve-se realçar que o torno laminador é uma máquina de precisão, com ajustes de 0,001 polegada ou 0,025 mm. Isso representa 1/4 ou 1/5 da espessura de uma folha comum de papel. Contudo, a regulagem correta do torno requer sensíveis instrumentos de medição. Qualquer modificação nas regulagens deve ser feita somente com alterações muito pequenas (SUCHSLAND & JANKOWSKY, 1978 apud BATISTA, 2007).

Mais de 90% das lâminas são produzidas pelo torno, através do processo de “desenrolamento” ou “desfolhamento” da tora. As toras são fixadas pelas garras nas duas extremidades da tora, as quais exercem o movimento de rotação contra do gume da faca para obtenção de lâminas contínuas, a partir de uma superfície curva. As garras são do tipo telescópico, ou seja, são compostas de uma parte externa utilizada no início da laminação quando a tora tem maior diâmetro e peso e, no final do processo, esta parte externa é retraída, e a rotação da tora passa a ser exercida pela parte interna. Os contra rolos são posicionados paralelamente ao eixo da tora para evitar a flambagem da mesma e conseqüentemente alteração na espessura das lâminas produzidas (IWAKIRI, 2005).

A velocidade de um torno varia de 50 a 300 rpm. A produtividade é medida pela saída das laminas produzidas, e varia de 30 a 350 m/min. Para um dado RPM, quanto menor o diâmetro da tora, menor a velocidade média de produção. Lâminas produzidas a baixas velocidades têm superfícies ásperas, espessura desuniforme e exige trocas mais rápidas das facas (TSOUMIS, 1991 apud BATISTA, 2007).

3.4.1.1 Componentes do torno laminador

Nesta seção foram especificados os principais componentes do torno laminador utilizado no processo de laminação realizado neste trabalho.

a. Faca

Tem a função de separar a lâmina da tora, sendo um dos componentes que representa maior custo de manutenção no processo de laminação. A faca deve apresentar alta rigidez e ser resistente à corrosão e ao desgaste. Podem ser fabricadas com diversos tipos de materiais e também se diferenciam pela forma de fixação no equipamento (IWAKIRI, 2005).

A faca (Fig. 3) deve ter aproximadamente 1,5 cm de espessura (REMADE, 1978 apud DALAVALI, 2008). A sua dureza deve estar na faixa de 56 à 62 na escala Rockwel. Uma faca de alta dureza apresenta maior dificuldade quanto à afiação, mas o período de duração de uso será bem maior (IWAKIRI, 2005).

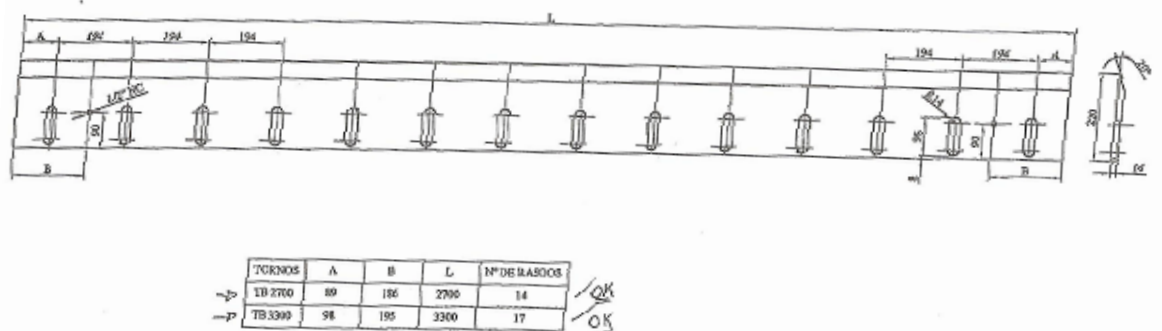


Figura 3. Faca do torno laminador.

O ângulo de afiação da faca deve estar na faixa de 18 a 27°, sendo que, um ângulo médio de 21° é considerado como sendo ajuste referencial para laminação de diferentes espécies. Esse ângulo de afiação deve manter-se

constante em todo o comprimento da faca. Com ângulos menores, a faca flexionará menos a madeira, resultando em lâminas com maior rigidez e resistência à tração perpendicular, entretanto estará mais propensa a quebras na presença de nós. O uso de ângulos maiores aumenta o impacto da faca com a madeira no momento de corte, além do maior flexionamento da madeira e propensão ao fendilhamento superficial das lâminas (IWAKIRI, 2005).

b. Barra de pressão

Deve ter necessariamente o mesmo comprimento da faca e estar posicionada paralelamente a ela. Tem a função de comprimir a madeira frente ao gume da faca, para minimizar o fendilhamento superficial da lâmina e auxiliar no controle da espessura e aspereza da superfície. São fabricadas geralmente em aço comum, aço inoxidável ou stellite. O ângulo de compressão deve variar na faixa de 12° a 16° e deve ser medido entre o plano do gume da faca e o eixo central da tora. De acordo com a Figura 4, pode-se observar que, sem a compressão adequada da barra de pressão sobre a madeira, ocorrem fendas superficiais bastante pronunciadas na lâmina (IWAKIRI, 2005).

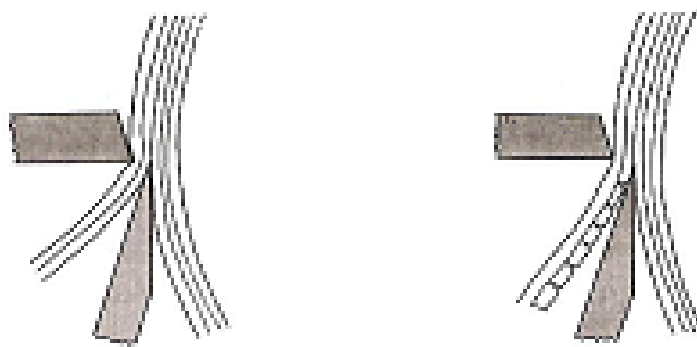


Figura 4. Efeito da barra de pressão na qualidade da lâmina.

Fonte: (Kollman, 1975 apud Iwakiri, 2005.)

c. Contra rolete

Também conhecido como rolo de tração da tora. São utilizados em pares e posicionados paralelamente à faca, ao contra rolo e ao eixo da tora, fazendo com que ela gire e acompanhando a diminuição de seu diâmetro, empurrando a madeira contra a faca, através de seu avanço. Exercem pressão sobre a tora para evitar sua flambagem, permitindo a laminação até o menor diâmetro possível, evitando a deformação da madeira, mantendo a espessura da lâmina uniforme e evitando trepidações. Devem ser fabricados em aço, para apresentar resistência à resina da madeira e ao desgaste (PEREIRA & PERDIGÃO, 1996 apud DALAVALI, 2008).

3.4.2 Faqueadeira

A produção de lâminas por “faqueamento” ou “fatiamento” responde por 5% do total de laminas produzidas (SELLERS JR., 1985). A lâmina faqueada é a obtida a partir de uma tora inteira, da metade ou de um quarto da tora. Esta é presa nos lados para que uma faca do mesmo comprimento seja aplicada sob pressão, produzindo assim fatias únicas. Essas lâminas possuem desenhos atraentes e por isso possuem maior valor comercial (MENDES, 2009).

A faqueadeira é um equipamento utilizado exclusivamente para produção de lâminas decorativas. A tora é desdobrada em blocos ou pranchões de vários formatos e o faqueamento é executado de forma descontínua, através de cortes planos. Devido ao processo de corte plano, as lâminas são menos propensas a fendilhamento superficial, quando comparado ao processo de desenrolamento em torno. A produção é menor em relação ao torno, devido ao movimento de corte ser descontínuo e de forma alternada. São obtidas lâminas finas com espessuras variando normalmente entre 0,6 a 1,5mm e são empregadas como material de revestimento. A obtenção de lâminas na sequência possibilita a produção de compensado seriado, o qual apresenta maior valor estético (IWAKIRI, 2005).

Segundo Batista (2007), existem três principais tipos de faqueadeiras utilizadas para produção de lâminas de madeira: as faqueadeiras horizontais,

verticais e rotativas.

3.5 Rendimento e resíduos na indústria de laminação

A indústria madeireira é caracterizada por alta geração de desperdícios, ou seja, as perdas não inerentes ao processo de produção. Os resíduos sólidos da madeira provenientes de floresta plantadas representam de 40 à 70% do volume da matéria-prima (madeiras processadas mecanicamente) empregada na indústria que, na maioria das vezes, não tem uma utilização final adequada, implicando em perdas significativas de volumes de madeira. Isto reflete em conseqüências ambientais e econômicas para a cadeia produtiva que necessitam ser revistas e dimensionadas (BONDUELLE et al, 2002).

Os desperdícios nas empresas industriais, em média, correspondem a 20% das vendas. A redução e/ou eliminação destes desperdícios está intimamente ligada a questão da qualidade que deve ser implantada em todos os processos produtivos que visem incremento da qualidade e da produtividade (CROSBY, 1991) .

Em 1991, o Brasil foi responsável por 4% da produção mundial de toras para serraria e laminação, correspondendo a um total de 37.968.000 m³. Desse material, 49,29% foi transformado em produto, sendo que o restante (50,71%) corresponde aos resíduos gerados pela industrialização, ou seja, um volume de 19.255.000 m³ (RÉCIO, 2004).

O rendimento médio do processo de laminação de madeiras do gênero *Pinus*, com base no volume das toras com casca encontrado por Bonduelle (2004) e Brand (2000), está em torno de aproximadamente 48%. De acordo com Interamnense (1998), rendimentos em torno de 50% podem ser considerados satisfatórios.

Segundo Sablowski (2004) os fatores encontrados que reduzem o rendimento no torno são a falta de padrão das espécies utilizadas, das dimensões totais (comprimento e diâmetro), forma das toras de entrada e a falta de tratamento (cozimento) antes da laminação.

Algumas dificuldades seriam encontradas para a utilização desses resíduos, pois boa parte deles tem sido usada para energia, o que de certa forma compete no preço do material. Outro problema é que as serrarias e laminadoras no Brasil são, geralmente, de médio a pequeno porte e encontram-se espalhadas por várias regiões, o que dificultaria a coleta e transporte dos resíduos (RÉCIO, 2004).

3.6 Painéis de madeira compensada

O processo de produção do compensado se inicia com a seleção de árvores na floresta, em termos de diâmetro e forma da tora. Elas são transformadas em toras, descascadas, aquecidas e laminadas ou faqueadas (de acordo com o tipo de compensado). Então, as lâminas são submetidas à secagem. Para a formação do compensado, as lâminas são coladas sobrepostas, formando ângulo de 90° entre as fibras das diferentes lâminas e pré-prensadas a frio. Esta pré-prensagem visa facilitar as operações de carregamento e melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas, antes da prensagem final, a quente. Os painéis seguem uma seqüência de operações de acabamento depois da prensagem a quente: acondicionamento, esquadreamento, calibração e lixamento, para posterior classificação e armazenamento (ABIMCI, 2003).

Segundo Iwakiri *et al.* (2005), a partir do momento que surgiu a possibilidade de colagem de diferentes elementos geométricos originados da madeira, usado juntamente com outros recursos e processos, houve também a possibilidade de infinitos usos a partir de seu material, viabilizando a sua utilização técnica e econômica.

A qualidade do painel compensado relaciona-se com a qualidade das lâminas utilizadas e com as variáveis envolvidas no processamento, principalmente a espécie de madeira, o adesivo (tipo, qualidade e formulação), e tempo de montagem do painel (JANKOSKY, 1980).

Os compensados são classificados basicamente em três tipos, de acordo com a sua utilização e tipo de resina utilizada: uso interior, produzido com a resina uréia-formaldeído, uso intermediário, produzidos com resina melamina-

formaldeído, e uso exterior, produzido com a resina fenol-formaldeído. São encontrados no mercado sete tipos principais de compensado: laminados, sarrafeados, decorativos, industrial, naval, resinado e plastificado (IWAKIRI et al., 2005).

A forma peculiar de construção do compensado confere maiores estabilidade dimensional e resistência mecânica do que a madeira sólida, que por ser heterogênea e anisotrópica, apresenta algumas limitações quanto à utilização. Isto ocorre em virtude da elevação da densidade do painel em relação à madeira maciça, resultando em produtos com melhor estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência nos sentidos longitudinal e transversal (IWAKIRI et al., 2005).

As principais características das lâminas utilizadas para a fabricação de compensados de qualidade devem ser uniformidade da espessura, rugosidade não maior que a de sua própria estrutura, não possuir fenda, ser plana e de cor e figura agradável (LUTZ 1978, apud BORTOLETTO e BELINI, 2002).

A fabricação de compensado no Brasil tem cerca de 80 anos. No início, utilizou-se como matéria-prima a madeira de Pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) de florestas nativas do Sul, principalmente do estado do Paraná. Na década de sessenta, a fabricação transferiu-se para a região amazônica e passou-se a empregar a madeira de folhosas oriunda de florestas nativas. Nos anos noventa, novas mudanças ocorreram, e as plantações de pinus no Sul do país tornaram-se uma fonte importante de matéria-prima para a indústria do compensado (PRATA, 2006).

Durante muitos anos o compensado foi o painel de madeira mais importante produzido e consumido no Brasil. Um aspecto importante a ressaltar, é que este ramo de indústrias é bastante fragmentado, predominando empresas de pequeno porte com estruturação tipicamente familiar. Estima-se, atualmente, a existência de 320 empresas operando no setor.

Acredita-se que o próximo passo será o uso, também, de folhosas provenientes de plantações de eucalipto e outras espécies. Hoje, portanto, o país produz compensado de pinus, proveniente de florestas plantadas nas regiões Sul e Sudeste e compensado tropical de madeira proveniente de florestas nativas, nas regiões Norte e Centro-Oeste (MATTOS et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em uma fábrica de compensados onde foram observados diversos problemas ocasionados pela presença da casca no processo de laminação. O problema mais evidente observado durante a laminação de toras com casca foi o maior desgaste da faca do torno laminador, representando um alto custo de manutenção.

No entanto, não foi possível determinar o desgaste da faca nos dois processos de laminação, com e sem casca, pela falta de equipamentos adequados. Portanto, a outra forma encontrada de comprovar a viabilidade do descascamento das toras para o processo de laminação, foi a verificação da existência da interferência da casca no rendimento em laminação.

Nesta seção será demonstrada a metodologia e os materiais utilizados para a realização deste experimento.

4.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na fábrica de compensados laminados Palma Sola S/A, no município de Palma Sola (Latitude: $-26^{\circ} 20' 5''$ Longitude: $-53^{\circ} 16' 42''$), localizado na região Noroeste do Estado de Santa Catarina.

A cidade de Palma Sola apresenta uma área total de $313,8 \text{ km}^2$ e possui como principais características físicas: clima mesotérmico úmido, com verão quente e inverno rigoroso (temperatura média de $17,4^{\circ}\text{C}$) e altitude de 870m acima do nível do mar. Possui como principal cobertura vegetal, florestas e campos. As temperaturas no inverno são baixas, chegando a índices abaixo de zero e no verão, elevando-se a máximas de 35 à 38°C . As médias das precipitações pluviométricas por ano variam entre 1900 e 2500 mm.

Da área total do município de Palma Sola, apresentada na Figura 5, aproximadamente 60% são terrenos fortemente ondulados e 40% são suavemente ondulados. O município é delimitado por vários rios que formam a

bacia do Rio das Antas, Capetinga, Lageado Grande, Rio Tracutinga e Lageado Conceição.



Figura 5 – Localização da Cidade de Palma Sola.
Fonte: Mapa Interativo Governo de Santa Catarina, (2010).

4.2 Caracterização do processo de laminação

Nesta seção foram apresentados as principais etapas do processo de laminação utilizados no experimento, visando um maior rendimento no processo de laminação das toras de *Pinus elliottii*.

4.2.1 Extração e preparo da matéria prima

A floresta que abastece a fábrica de compensados localiza-se na região do município de Palma Sola (SC). A empresa possui 2.500 ha plantados com espécies exóticas de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus dunnii* e espécies nativas como a *Araucária angustifolia* e a *Llex paraguayensis* (erva mate). Nessas florestas é realizado Inventário Florestal contínuo com amostras permanentes, permitindo prever a disponibilidade de matéria prima para a indústria.

Além disso, a empresa utiliza florestas nativas da região, seguindo a Legislação Ambiental vigente para o Manejo e Desenvolvimento Sustentável, de onde extrai apenas árvores mortas.

As árvores da espécie de *Pinus elliottii* foram extraídas com diâmetro à altura do peito (DAP - à 1,30 m) médio de 30 cm, com aproximadamente 23 anos de idade. Para o experimento utilizou-se 176 toras, onde metade foi descascada manualmente e a outra metade foi mantida com casca. Nas florestas da empresa são realizados tratamentos silviculturais como desbaste seletivo e desrama, visando incrementar o diâmetro e evitar problemas causados pela presença de nós na madeira.

4.2.2 Armazenamento das toras

Após a extração, as toras foram encaminhadas ao pátio de armazenamento e separadas de acordo com o setor da floresta de extração. A empresa não possui um sistema de separação em classes diamétricas, visto que geralmente os talhões possuem grande homogeneidade dos diâmetros.

As toras foram posteriormente encaminhadas ao tanque de vaporização, iniciando-se o processo de aquecimento.

4.2.3 Aquecimento das toras

O aquecimento das toras além de determinar uma série de vantagens mencionadas na revisão de literatura, foi realizado com a finalidade de plasticizar a lignina, amolecendo a madeira e reduzindo os esforços de corte necessários ao processo de laminação.

Para o aquecimento das toras utilizou-se um tanque de vaporização (Fig. 6), com capacidade para 300 toras, que utiliza pressão de vapor constante. A temperatura de aquecimento no interior do tanque variou entre 90° a 105° C.

Em razão de sua baixa densidade (0,44 g/cm³) as toras são mantidas por um período de 12 horas, sendo, em seguida, encaminhadas ao torno laminador. Segundo os técnicos da Palma Sola, o interior das toras chega a temperaturas de 45° a 60° C durante o processo de aquecimento.



Figura 6 - Tanque de vaporização.

4.3 Torno laminador

Após a retirada do tanque de vaporização, as toras foram transportadas por um sistema de esteiras sendo dimensionadas em 2,4 m de comprimento e encaminhadas ao torno, iniciando-se o processo de laminação.

O equipamento utilizado caracterizou-se por um torno laminador de fusos hidráulicos e telescópicos, dos dois lados, modelo 3300 x 1.000, marca HB, ano 2004. O menor fuso com diâmetro de 75 mm e o maior de 160 mm. Possuindo versatilidade para laminação de toras com comprimento mínimo de 2,3 m e máximo de 3,0 m e diâmetros de até 1 m. O torno laminador trabalha com um motor elétrico de 125 cv e auxiliar de 18 cv na tensão de 380 volts. Além disso, permite laminar madeira com espessuras nominais entre 1,2 mm e 4,1mm.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidas lâminas com espessura nominal de 3,2mm, objetivando gerar lâminas empregadas na produção de compensados. À medida que formou-se o tapete de madeira pelo torno, bobinou-se a lâmina de madeira e posteriormente fez-se o transporte ao setor de guilhotinagem (Fig. 7).



Figura 7 - Torno laminador e sistema de bobinamento.

O rolo resto foi encaminhado a um torno de menores dimensões, com a função de obter lâminas para produção de miolo cola. A utilização do rolo resto é essencial para redução do custo de produção e aumento do rendimento na empresa.

4.4 Fator de conicidade

O fator de conicidade das toras foi calculado para cada amostra, uma vez em que esta característica pode ter influência sobre os resultados de rendimento em laminação (MEDINA, 1986 apud BONDUELLE et al, 2006). Para determinar o fator de conicidade das toras foi utilizada a seguinte equação:

$$F_c = \frac{D_m}{D_M}$$

D_m - Diâmetro menor (cm).

Equação 1

DM - Diâmetro maior (cm).

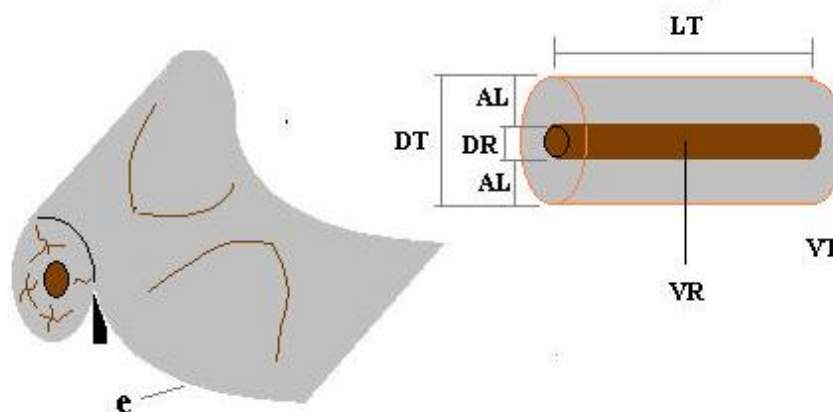
O fator conicidade (F_c) é um indicativo do grau de conicidade das toras e, como este fator corresponde à relação entre o diâmetro maior e o diâmetro menor, quanto mais próximo do valor um, mais cilíndrica será a tora.

Este fator foi determinado para ambos tratamentos, com e sem casca, com o intuito de evitar uma interferência no rendimento em laminação entre eles.

4.5 Cálculo de rendimento em laminação

O rendimento em laminação foi determinado adotando-se uma adaptação do procedimento inicialmente empregado por Gaiotto (1993); Pereyra (1994); Pio (1996); apud Almeida (2002). Segundo tal procedimento, foram realizadas medições do comprimento das toras e do seu diâmetro em quatro etapas: com e sem casca, logo após o arredondamento e, após o processo de laminação, obtendo-se o rolo resto. Devido aos objetivos do presente trabalho, foi proposto o cálculo do rendimento em laminação utilizando o volume de arredondamento somado ao volume de descascamento.

Baseando-se na análise da Figura 8, foi possível determinar o volume laminado e por consequência o rendimento em laminação e a percentagem de perdas médias.



* **AL** – altura diametral laminável; **VT** – volume da tora; **DR** – diâmetro do rolo resto; **DT** – diâmetro da tora; **VR** – volume do rolo resto; **LT** – comprimento da tora; **e** – espessura da lâmina.

Figura 8- Ilustração representativa do processo de laminação por torneamento da tora e suas principais partes mensuráveis.

Fonte: (IWAKIRI, 2005).

Após o processo de aquecimento as toras foram direcionadas por meio de uma carregadeira, a um sistema de esteiras onde foram seccionadas e dimensionadas com 2,4m de comprimento e encaminhadas ao torno laminador.

As toras tiveram os diâmetros das duas extremidades (superior e inferior) mensuradas, sendo também verificadas as espessuras de casca, apenas para as amostras referentes aos tratamentos com casca.

O processo de laminação foi realizado de forma descontínua, visto que foram necessárias interrupções estratégicas do torno, tornando possível a realização de cada mensuração de diâmetro de arredondamento e diâmetro do rolo resto.

Portanto, neste trabalho o processo de laminação foi dividido em duas principais etapas de perdas: as por descascamento e arredondamento e as por rolo resto.

As perdas por descascamento e arredondamento correspondem basicamente as perdas em volume pela casca e as perdas em volume por conicidade e defeitos de forma da tora. As perdas relativas ao rolo resto estão relacionadas principalmente com a qualidade das toras e condições de

funcionamento do equipamento para laminação, além do tipo de equipamento utilizado (Bonduelle, 2004).

4.5.1 Volume laminado

Para o cálculo do volume laminado de uma tora (VL), foram utilizadas as seguintes equações:

$$VL = Va - VR$$

Equação 2

, onde:

VL - volume laminável (m^3);

Va - volume da tora arredondada (m^3);

VR - volume do rolo resto (m^3);

Considerando:

$$Va = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times LT$$

Equação 3

, onde:

D - Diâmetro da tora arredondada(m);

LT - Comprimento da tora (m);



Figura 9 - Tora após o processo de arredondamento.

$$VR = \frac{\pi}{4} \times DR \times LT$$

Equação 4

,onde:

DR- Diâmetro do rolo resto (m);

LT- Comprimento da tora (m);

4.5.2 Percentagem de perdas nas etapas do processo

Por meio da diferença entre os volumes calculados para as toras com e sem casca, do arredondamento e do rolo resto, foi possível calcular as perdas em volumes (m³), ocorridas em cada etapa do processo de laminação. Para o cálculo das percentagens de perdas considerou-se o volume inicial das toras como 100%. Para tanto, as seguintes equações foram utilizadas:

- a) Volume de Perdas por arredondamento/descascamento (VPa):

$$VPa = Vi - Va$$

Equação 5

VPa – Volume de perdas por arredondamento e descascamento (m^3);

Vi – Volume inicial da tora (m^3);

Va – Volume da tora arredondada (m^3);

- b) Volume de Perdas por Rolo resto ($VPrr$):

$$VPrr = VR$$

Equação 6

$VPrr$ – Volume de perdas pelo rolo resto (m^3);

VR – Volume do rolo resto (m^3);

- c) Perdas percentuais por arredondamento/descascamento (PPa):

$$PPa (\%) = \frac{[(Vi - Va) \times 100]}{Vi}$$

Equação 7

PPa – Perdas percentuais por arredondamento e descascamento (%);

Vi – Volume inicial da tora (m^3);

Va – Volume da tora arredondada (m^3);

- d) Perdas percentuais pelo rolo resto ($PPrr$):

$$PPrr (\%) = \frac{[(Va - VL) \times 100]}{Vi}$$

Equação 8

$PPrr$ – Perdas percentuais pelo rolo resto (%);

Vi – Volume inicial da tora (m^3);

Va– Volume da tora arredondada (m³);

VL - Volume laminável (m³);

4.5.3 Rendimento em laminação

Por fim, o rendimento em laminação (*RL*) foi determinado por meio da diferença entre o somatório das perdas percentuais ocorridas em cada etapa do processo e 100%, valor referente ao volume inicial das toras, conforme a seguinte equação:

$$RL(\%) = 100 - (PPa + PPrr)$$

Equação 9

RL– Rendimento em laminação (%);

PPa– Perdas percentuais por arredondamento e descascamento (%);

PPrr– Perdas percentuais pelo rolo resto (%);

4.6 Análise estatística

O experimento se caracterizou como sendo um delineamento inteiramente casualizado com 88 repetições, onde foram avaliadas as toras com e sem casca perfazendo um total de 2 tratamentos e 176 amostras.

Para analisar a normalidade dos dados aplicou-se o teste Kolmogorov-Smirnov e para verificação da homogeneidade das variâncias aplicou-se o teste de Hartley.

Após a obtenção das variáveis analisadas (volumes, rendimentos e perdas), os dados referentes a cada tratamento avaliado foram submetidos à análise de variância.

Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o teste Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre os valores médios dos tratamentos.

O programa estatístico utilizado para o processamento das variáveis respostas foi o *Statgraphics* versão 4.1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diâmetros médios e fator de conicidade

Os diâmetros médios das toras com e sem casca, destinadas a laminação, são apresentados na tab. 1. Os volumes das toras com e sem casca foram calculados a partir dos valores de diâmetro e do comprimento (2,4m) de cada tora.

Tabela 1 - Diâmetros superiores e inferiores médios e fator de conicidade das toras com e sem casca

	DM (cm)	Dm (cm)	DMed (cm)	Fc
Com casca	29.5	28.5	30.4	0,94 ^a
Sem casca	27.4	26.6	28.3	0,93 ^a

***DM**: Diâmetros maiores; **Dm**: Diâmetros menores; **DMed**: Diâmetros médios; **Fc**: Fator de conicidade;

** Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Foram mensurados os diâmetros superiores e inferiores de cada tora, nos tratamentos com e sem casca. A relação entre os diâmetros maior e menor permitiu o cálculo do fator de conicidade de cada tora, cujos valores médios podem ser observados na tab.1.

Medina (1986) apud Lutz (1978), afirma que o fator de conicidade da tora afeta a qualidade das lâminas e principalmente o rendimento da tora em lâminas verdes. Ambos os valores médios para fator de conicidade, apresentados na tab.1, estão muito próximos do valor ideal de 1.0, correspondente ao cilindro perfeito.

Portanto, pode-se afirmar que o fator de conicidade encontrado, certamente contribuiu para um bom rendimento obtido na laminação nos dois tratamentos, tendo em vista a menor perda em madeira no processo de arredondamento. Além disso, não foi encontrada diferença estatística entre os valores médios dos tratamentos avaliados, a 95% de probabilidade. Desta forma o

fator de conicidade é igual nas duas situações (com e sem casca), indicando uma baixa interferência desta variável nos resultados de rendimento.

5.2 Volumes Médios

Os valores médios para os volumes observados nos tratamentos avaliados com e sem casca são apresentados na tab. 2.

Tabela 2 - Volumes médios nas diferentes etapas do processo de laminação

	Sem casca (m³)	CV (%)	Com Casca (m³)	CV (%)
VI	0,1432	18,19	0,1662	30,2
VPAD	0,0319	45,36	0,0444	47,02
VPRR	0,0247	1,30	0,0255	3,48
VPT	0,0567	25,53	0,0699	29,99
VL	0,0865	25,83	0,0964	14,99

***VI**: Volume inicial das toras; **VPAD**: Volume de perdas por arredondamento/descascamento; **VPRR**: Volume de perdas pelo rolo resto; **VPT**: Volume de perdas totais **VL**: Volume laminado; **CV**: Coeficiente de variação;

É importante ressaltar o comportamento dos volumes referentes a perdas por operações de arredondamento, descascamento e rolo resto, pois no tratamento com casca fica evidente que os valores médios para estas variáveis respostas estão superiores em relação ao tratamento sem casca.

Outro fator interessante se deve ao volume inicial das toras com casca ser superior ao tratamento sem casca, característica da amostragem realizada, onde as toras com os maiores diâmetros médios se encontravam no tratamento com casca.

5.3 Perdas percentuais médias e rendimento em laminação

A tab. 3 apresenta a magnitude das perdas expressas em percentagem, bem como o rendimento do processo de laminação.

Tabela 3 - Perdas percentuais médias nas diferentes etapas do processo de laminação e rendimento

	Sem casca (%)	CV (%)	Com Casca (%)	CV (%)
PPA	22,05 ^a	39,71	26,43 ^b	32,06
PPRR	17,75 ^a	16,38	16,13 ^a	19,03
PP	39,8 ^a	21,47	42,56 ^b	20,23
RL	60,2 ^a	14,2	57,44 ^b	14,99

***PPA**: Perdas percentuais por arredondamento/descascamento; **PPRR**: Perdas percentuais pelo rolo resto; **PP**: Percentagem de perdas totais; **RL**: Rendimento em laminação; **CV**: Coeficiente de variação;

** Médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Verificou-se que a maior perda percentual no processo de laminação da madeira em ambos os tratamentos, com e sem casca, foi referente à etapa de arredondamento e descascamento. A perda percentual média com o arredondamento e descascamento mostrou-se maior no tratamento de laminação das toras com casca.

As perdas médias na fase de arredondamento e descascamento das toras em ambos os tratamentos são compatíveis com os valores da tab. 4, a qual apresenta os resultados de perda e rendimento no processo de laminação de diversas espécies disponíveis na literatura.

Tabela 4 - Perdas percentuais médias nas diferentes etapas da laminação e rendimento do processo para diferentes espécies disponíveis na literatura.

AUTORES	ESPÉCIES	PERDAS(%)				TOTAL	RENDIMENTO (%)
		DESC.	ARRED.	ARRED. + DESC.	ROLO RESTO		
Keinert Júnior (1993)	<i>E. robusta</i>	14,11	24,54	38,65	12,77	51,42	48,58
	<i>E. saligna</i>	5	19,8	24,8	25	49,8	50,2
apud Almeida (2002)	<i>E. vitaminalis</i>	11,22	24,5	35,72	14,3	50,02	49,98
	<i>E. dunnii</i>	8,6	23,65	32,25	24,75	57	43
	<i>E. grandis</i>	5,2	20,74	25,94	16,26	42,2	57,8
Gaiotto (1993) apud Almeida (2002)	<i>E. urophylla</i>	23,25	21,58	44,83	18,62	63,45	36,55
Pereyra (1994) apud Almeida (2002)	<i>E. dunnii</i>	10,61	21,77	32,38	32,93	65,31	34,69
Pio (1996)	<i>E. scabra</i>	10,63	26,78	37,41	26,12	63,53	36,47
	<i>E. robusta</i>	10,58	22,48	33,06	22,85	55,91	44,09
Interamnense (1998) apud Almeida (2002)	<i>E. cloesiana</i>	17,86	18,03	35,89	13,68	49,57	50,43
	<i>E. maculata</i>	18,43	22,78	41,21	13,93	55,14	44,86
Brand (2000) apud Bonduelle (2004)	<i>P. elliotii</i>	-	-	-	-	-	46,5
Almeida (2002)	<i>E. grandis</i>	12,11	22,35	34,46	13,81	48,27	51,73
	<i>E. urophylla</i>	12,57	19,7	34,46	10,92	45,38	54,62
Bortoletto (2002)	<i>S-chizolobium parayba (guapuruvu)</i>	-	-	-	-	39,02	60,98
Bonduelle (2002)	<i>P. elliotii</i>	-	-	-	-	49,76	50,24
Bonduelle (2004)	<i>P. elliotii</i>	-	-	35	13	48	52
Guimarães Júnior (2008)	<i>H. brasiliensis</i>	-	-	38,86	9,72	48,58	51,42
	Médias	12,34	12,34	36,93	11,36	46,50	48,01

*DESC.: Perdas percentuais por descascamento; ARRED.: Perdas percentuais por arredondamento; ARRED. + DESC.: Perdas percentuais por arredondamento e descascamento; ROLO RESTO: Perdas percentuais pelo rolo resto;

Comparando as perdas no arredondamento e descascamento das toras dos dois tratamentos analisados, encontrou-se uma tendência de que as maiores perdas por arredondamento ocorram no tratamento de laminação das toras com casca, devido à ausência desta no outro tratamento avaliado.

Os baixos valores observados para o percentual de perdas por arredondamento encontrados neste trabalho devem-se as boas condições de laminação e as ótimas características das toras laminadas.

A perda percentual média com o rolo resto foi superior no tratamento de laminação das toras sem casca. Uma provável justificativa para esse fato está relacionada com os diâmetros médios das toras e com os diâmetros dos rolos resto. Como os diâmetros médios foram maiores no tratamento de laminação de toras com casca e os diâmetros dos rolos resto apresentaram valores muito próximos em ambos os tratamentos, a diferença entre as médias diametrais apresentadas na tab. 1 favoreceram numericamente o tratamento de laminação com casca. A mesma interferência da diferença diametral foi encontrada por Almeida (2002) e Gaiotto (1993) apud Almeida (2002).

Portanto, existe uma tendência do volume de perdas pelo rolo resto do tratamento com casca ser maior que o volume de perdas pelo rolo resto do tratamento sem casca.

Por outro lado, a perda média com o rolo resto gerada a partir dos dois tratamentos, se mostrou superior a maioria das espécies apresentadas na tab. 4. Segundo Almeida (2002) a perda média com o rolo resto pode estar relacionada a uma combinação de fatores com o preparo das toras para a laminação, como: o equipamento, a matéria prima, um programa de aquecimento adequado, as boas condições do torno laminador, especialmente das garras e de uma faca nova e bem afiada.

Além disso, certas características da madeira como massa específica básica não elevada, que traduz um menor esforço no momento do corte evitando a patinação das garras fixadas nos topos, bem como a reduzida tendência ao desenvolvimento de rachaduras nas toras durante a laminação, a qual permite que a laminação prossiga até próximo do limite do equipamento. Esse limite é dado pelo diâmetro das garras menores do torno de 8,5cm que, por medida de segurança, permite uma laminação das toras até o diâmetro final de 11,4cm.

No tratamento de laminação de toras com casca existiu uma grande quantidade de impurezas presentes na casca, as quais acabam causando uma série de danos ao fio da faca, prejudicando o desempenho do torno laminador. Esses danos acarretam um maior atrito da tora à faca, gerando uma trepidação e facilitando a quebra das extremidades dos rolos restos. Quando no início do processo, as toras apresentam uma alta rotação e quando se quebram lançam pedaços de madeira, podendo atingir e até ferir algum funcionário da empresa. Portanto a presença da casca além de aumentar o risco de acidentes de trabalho ainda cria uma tendência de aumentar o volume de perdas pelo rolo resto.

Além disso, a presença da casca aumenta o custo de manutenção do torno laminador. Verificou-se que os danos causados ao fio da faca no tratamento de laminação de toras com casca tendem a ser muito superiores. Durante a realização do estudo, notou-se que a faca era trocada duas vezes ao dia na laminação de toras com casca, enquanto que no tratamento sem casca, apenas uma. Haja vista que, segundo Iwakiri (2005) a faca é um dos componentes que representa maior custo de manutenção no processo de laminação, esse fator aumenta a possibilidade da viabilidade de compra de um descascador.

Embora tendo obtido valores elevados para as perdas em volume médias por rolo resto, no caso desta empresa o rolo resto é destinado a um novo processo de laminação onde produz lâminas para miolo de cola dos compensados, etapa que não foi avaliada por este trabalho.

No rendimento médio do processo de laminação observou-se uma diferença estatisticamente significativa (ANOVA - apêndice H). Como pode ser observado na tab. 3, o rendimento médio em laminação foi superior para o tratamento de laminação de toras sem casca, que apresentou menores perdas com arredondamento e descascamento.

Existe uma tendência da diferença entre o rendimento nos dois tratamentos ser ainda maior, pois há uma ligeira diferença entre os diâmetros médios das toras apresentados na tab. 1. Possivelmente, essa discrepância causou uma interferência na análise dos rendimentos entre os dois tratamentos, favorecendo as toras laminadas com casca. De acordo com Bonduelle (2004), quanto menor o diâmetro da tora, menor será a faixa de aproveitamento em

laminação até atingir o diâmetro do rolo resto, portanto, menor o rendimento em laminação.

Comparando aos rendimentos de laminação obtidos por diversos autores, trabalhando com diferentes espécies, cujos valores encontram-se na tab. 4, pode-se afirmar que os rendimentos encontrados neste estudo foram superiores. Tendo em vista os diâmetros menores das toras provenientes de florestas plantadas, ambos rendimentos médios, podem ser considerados excelentes quando comparadas às toras de espécies tropicais com diâmetros superiores que possivelmente irão gerar maior rendimento na laminação.

Quanto aos aspectos relacionados à produtividade, Baldwin (1981) e Sellers (1985) apud César et al. (2008), destacam a importância da qualidade da tora, no que se refere à retilinidade e fator de conicidade do fuste, diâmetro da tora, ausência de fendas de topo e aquecimento da madeira, como fatores primordiais para obtenção de lâminas de qualidade e maior rendimento da laminação, ou seja, menor fator de conicidade, maior diâmetro da tora e menor rolo resto, são parâmetros básicos para maior rendimento da laminação.

6 CONCLUSÕES

Com base na avaliação dos rendimentos e perdas dos tratamentos avaliados, pode-se inferir as seguintes conclusões:

- O rendimento médio do processo de laminação das toras de *Pinus elliotti* foi maior para o tratamento de laminação de toras sem casca. Entretanto, ambos rendimentos são considerados excelentes e superiores à maioria dos valores encontrados na literatura para esta espécie;
- As maiores perdas nos processos de laminação estão na etapa de descascamento e arredondamento das toras. Essas perdas estão diretamente relacionadas com a conicidade das toras em geral e também com a tortuosidade e a forma elíptica presente nas toras.
- O volume de perdas por rolo resto mostrou-se superior no processo de laminação de toras com casca, devido à maior incidência de quebras de rolos resto;
- A frequência de quebra dos rolos resto é maior no tratamento de laminação de toras com casca, o que acarreta um aumento no risco de acidentes de trabalho;

7 RECOMENDAÇÕES

- Uma seleção sistematizada de matrizes com características satisfatórias (baixa conicidade), bem como o correto acompanhamento da implantação e condução dos povoamentos;
- O descascamento das toras anteriormente ao processo de aquecimento, facilitando o amolecimento da madeira e evitando diversos fatores que acabam por aumentar o volume de perdas no processo de laminação;
- Uma manutenção regular no torno laminador e seus componentes, para maior aproveitamento da matéria prima e melhor qualidade das lâminas de madeira;
- A implantação de equipamentos de segurança no torno laminador, evitando-se o lançamento de pedaços de madeira que podem causar acidente de trabalho;
- A utilização de equipamentos de segurança individual pelos operadores do torno laminador e seus auxiliares;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABINCI. **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2006**. Curitiba, 2006. 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo Setorial 2008**. Curitiba, 2008. 52p.

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

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Laminação: da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.5, n.29, p.38-40, 1996.

AZEVEDO, T. R. Cadeias produtivas e um prognóstico do setor florestal no Brasil. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2, 2003, Belo Horizonte. **Anais do...** Viçosa: SIF, 2003. p.1-11.

BATISTA, D.C. **Laminação de madeiras**. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Produção e utilização de compensados do curso de Engenharia Florestal, Curitiba: UFPR, 2007. 42p.

BECKER, T. **Caracterização física e mecânica do *Pinus elliottii* de reflorestamento em Santa Catarina**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11, São Carlos, 2008.

BONDUELLE, G. M., CHIES, D., MARTINS, D. G. O processo de fabricação de painéis compensados no estado do Paraná analisado através dos rendimentos e dos resíduos gerados. In: Seminário Em Tecnologia Da Madeira E Produtos Florestais Não-Madeiráveis, 1, Curitiba, set., 2002.

BONDUELLE, G. M. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp*. **Revista Floresta e Ambiente**, Curitiba, v.12, n.2, p. 35-41, nov./ dez. 2006.

BORTOLETTO JR, G., BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Revista Cerne**. Lavras, Brasil. v.9 n.1 p.16-28. 2002.

BORTOLETTO JR, G. **Produção de lâminas, compensado e Laminated Veneer Lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii***. 2006. 97p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BRAND, M. A. **Rendimento do Processo produtivo e energético da matériaprima de uma indústria de base florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2000.

BRAND, M. A. MUÑIS, G. I. B. de. SILVA, D. A. da. KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista floresta**, Curitiba, V. 32, n. 2. p. 47 - 59, jul. 2002.

Cidade de Palma Sola. Disponível em: <<http://mapainterativo.ciasc.gov.br>>. Acesso em 03 de nov. 2010.

CROSBY, P. **Qualidade é investimento**. 3 ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1984.

DALAVALI, C. **Princípios de regulação do torno laminador sem fusos e avaliação dos parâmetros de qualidade das lâminas**. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2008.

DESCASCADOR EM ANEL. Disponível em: <<http://www.demuth.com.br>>. Acesso em, 02 nov. 2010.

GATTO, D. A.; CECHIN, E.; SANTINI, E. J; HASELEIN, C. R. Características Estruturais da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm aos 30 anos de Idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 135-144, 2000.

INTERAMNENSE, M. T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F.Muell), *Eucalyptus maculata* (Hook) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para a produção de painéis compensados**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 291p. (Relatório N° 27 078).

IWAKIRI, S. (EDITOR) **Painéis de madeira reconstituída**. 247p. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S., KEINERT JR., S., MENDES, L. M. Painéis de madeira compensada. In: IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: **Fupez**. 2005. 254p.

JANKOWSKY, I. P. **Variação da resistência à flexão estática do compensado de *pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem**. IPEF, Circular técnica n. 124. 1980. 7 p.

MAHMOUD, A. G. E.; VIRILLO, C. B.; RIBEIRO, D. B.; ALCANTARA, S. F. **Invasão de "*Pinus elliottii*" em um fragmento de Cerrado em Itirapina – SP.** Disponível em: <<http://www.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorios/bt791r2a2003.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

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

MENDES, L. M. Produção de lâminas decorativas produzidas por faqueamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.121, p.56-58, 2009.

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

RÉCIO, W. L. **Análise Das Perdas E Geração De Resíduos Numa Indústria De Painéis De Madeira Compensada: Estudo De Caso.** 2004. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Faculdade Marechal Rondon, São Samuel, SP, 2004.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Contribuição do grupo de trabalho “madeira e florestas” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC.** São Paulo, 2000. 33p.

SABLOWSKI, A. R. M. **Análise de eficiência de produção em uma indústria de laminados e compensados.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 3. Manaus, AM, 2004.

SELLERS JR., T. **Plywood and adhesive Technology.** New York: Marcel Decker, 1985. 661p.

APÊNDICE

Apêndice A – Sumário estatístico para percentagem de perdas por rolo resto.

<i>Tratamento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coefficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
com casca	88	16,1324	3,07052	19,0332%	5,50688	22,2075
sem casca	88	17,7504	2,90747	16,3798%	9,23996	25,302
Total	176	16,9414	3,08995	18,239%	5,50688	25,302

Apêndice D – Sumário estatístico para percentagem de perdas por arredondamento.

<i>Tratamento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coefficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
com casca	88	26,4316	8,4755	32,0657%	6,96578	53,6691
sem casca	88	22,0502	8,75681	39,7131%	3,89344	49,4837
Total	176	24,2409	8,86906	36,5872%	3,89344	53,6691

Apêndice B – Sumário estatístico para percentagem de perdas.

<i>Tratamento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coefficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
com casca	88	42,907	8,48956	19,786%	18,0283	72,994
sem casca	88	40,1205	8,4497	21,0608%	21,8841	67,067
Total	176	41,5138	8,56021	20,6202%	18,0283	72,994

Apêndice C – Sumário estatístico para rendimento em laminação.

<i>Tratamento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Coefficiente de Variação</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
com casca	88	57,4359	8,61094	14,9923%	27,0649	82,9984
sem casca	88	60,1995	8,54346	14,1919%	33,0263	78,6361
Total	176	58,8177	8,66425	14,7307%	27,0649	82,9984

Apêndice E – Sumário estatístico para fator de conicidade e cos(FC).

<i>Tratamento</i>	<i>N</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
com casca	88	0,94 (0,99)	4,34048% (0,001)	0,785 (0,99)	0,996 (0,99)
sem casca	88	0,93 (0,99)	4,06571% (0,001)	0,766 (0,99)	1,0 (0,99)
Total	176	0,94 (0,99)	4,20072% (0,001)	0,766 (0,99)	1,0 (0,99)

Apêndice F – Análise de variância para percentagem de perdas por rolo resto e tratamento.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma dos Quadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre Grupos	115,175	1	115,175	12,88	0,0004
Dentro dos Grupos	1555,69	174	8,94074		
Total	1670,86	175			

Apêndice G – Análise de variância para percentagem de perdas por arredondamento e tratamento.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	844,671	1	844,671	11,37	0,0009
Dentro de grupos	12920,9	174	74,2579		
Total	13765,6	175			

Apêndice G – Análise de variância para percentagem de perdas e tratamento.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	341,632	1	341,632	4,76	0,0304
Dentro de grupos	12481,9	174	71,735		
Total	12823,5	175			

Apêndice H – Análise de variância para rendimento em laminação e tratamento.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	336,036	1	336,036	4,57	0,0340
Dentro de grupos	12801,1	174	73,5695		
Total	13137,1	175			

Apêndice I – Análise de variância para fator conicidade e tratamento.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>G.L.</i>	<i>Quadrado Médio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	7,43282E-11	1	7,43282E-11	0,62	0,4308
Dentro de grupos	2,0738E-8	174	1,19184E-10		
Total	2,08123E-8	175			