

Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp.*

Ghislaine Miranda Bonduelle¹, Setsuo Iwakiri¹, Daniel Chies¹, Daniel Martins¹

Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPR – Rua Lothario Meissner, 3.400. Curitiba – Pr
CEP:80.210-170 – Curitiba – Pr. Email: gislaine@floresta.ufpr*.br¹

Recebido em 20 de Abril de 2004

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de alguns fatores sobre o rendimento na laminação de *Pinus spp.* Os dados foram coletados em 33 indústrias de compensados no Paraná, com amostragem de no mínimo duas toras por torno existente na empresa. Na laminação de toras com casca, o rendimento médio foi de 48%. Após o arredondamento das toras, o rendimento aumentou para 73%. Análises das regressões lineares indicaram correlações positivas para diâmetro da tora x volume de lâminas e volume das toras x volume de lâminas e correlações negativas para conicidade x volume de lâminas e diâmetro da tora x conicidade.

Palavras-chaves: laminação, compensados, rendimentos

Factors that influence the lamination performance of *Pinus spp.*

Abstract

This research was developed with the objective of evaluate the influence of some factors on the yield in the lamination of *Pinus spp.* The data were collected in 33 veneer and plywood factories in the State of Paraná. In the log lamination with bark, the average was around 48%. After the rounding of logs, the average increased to 73%. The analysis of the linear regressions indicated positive correlation with the log diameter x veneer volume and log volume x veneer volume and negative correlations for conicity x veneer volume and log diameter x conicity.

Key words: Laminate, Plywood, *Pinus spp.*

Introdução

A produção de lâminas, em escala industrial, iniciou-se a partir do desenvolvimento do primeiro torno rotativo para produção de lâminas contínuas em 1818. A indústria laminadora teve um grande impulso a partir da instalação de primeiras fábricas de compensados, no início do século XX. No Brasil, as pri-

meiras 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. Passadas algumas décadas, com a redução no volu-

me 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.

As características tecnológicas da madeira adequada para laminação estão relacionadas, principalmente, com os seguintes fatores: densidade da madeira (baixa a média), características do fuste (diâmetro e forma), e grã direita a levemente inclinada (Tsoumis, 1991). Além destes fatores, Lutz (1978) ressalta, ainda, as condições operacionais do equipamento, tais como: velocidade de corte, ajuste da geometria da faca e barra de pressão, afiação da faca, entre outros. Atualmente, o grau de automação no que concerne ao controle estático e dinâmico dos tornos é também um importante elemento tecnológico para produção de lâminas de qualidade com alta produtividade.

Quanto aos aspectos relacionados à produtividade, Baldwin (1981) e Sellers (1985), destacam sobre a importância da qualidade da tora no que se refere a retilidade 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 na laminação. Segundo os autores, menor fator de conicidade, maior diâmetro da tora e menor rolo resto, são parâmetros básicos para maior rendimento da laminação. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o rendimento do processo de laminação de madeiras em indústrias no estado do Paraná, bem como analisar alguns fatores que influenciam no rendimento de transformação das toras em lâminas verdes.

Materiais e Métodos

Amostragem para coleta de dados

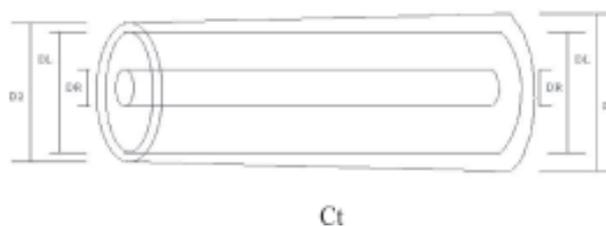
O estudo abrangeu pólos de indústrias laminadoras e de compensados localizadas no Estado do Paraná, envolvendo as regiões de Curitiba e sudoeste do estado.

Os dados foram coletados em trinta e três indústrias laminadoras e de compensados de *Pinus spp.*, as quais foram escolhidas aleatoriamente entre as

quase trezentos existentes no Estado. Foi adotado, como amostragem para coleta de dados, um mínimo de duas toras por torno desenrolador, tomando-se os devidos cuidados para não alterar o ritmo e a metodologia de trabalho do processo produtivo. Dessa forma, possibilitou-se uma determinação do rendimento real do processo de laminação, garantindo-se a confiabilidade nos dados.

Procedimentos para coleta de dados

Os procedimentos de coleta de dados para determinação dos rendimentos e demais variáveis de estudo consistiram em medições (cubagem) das toras com casca, e após o arredondamento das mesmas, antes de serem laminadas. Após a laminação e o posterior seccionamento em guilhotinas, foram realizadas medições da espessura, largura e comprimento de todas as lâminas obtidas para cada tora, visando-se à determinação do volume e rendimento da tora em lâminas verdes. Para cada tora amostrada foram coletadas as seguintes medidas:



D1 (cm): diâmetro maior da tora com casca; D2 (cm): diâmetro menor da tora com casca; Ct (m): comprimento da tora; DL (cm): diâmetro da tora após arredondamento; Dr (cm): diâmetro do rolo resto.

Figura 1. Desenho esquemático das variáveis
Figure 1. Schematical drawing of the variables

Resultados e Discussão

Resultados médios das variáveis de estudo

Rendimento em laminação

Os dados referentes ao rendimento médio das sessenta e cinco toras com casca em lâminas verdes estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Rendimento (%) na laminação
Table 1: Yield (%) in the lamination process

Média	47.966
Desvio padrão	11.001
Variância da amostra	121.032
Mínimo	25.010
Máximo	72.800

O rendimento médio, obtido neste estudo, em torno de 48% está muito próximo dos resultados apresentados na literatura. Olandoski (2001), citando dados publicados pela FAO (1968), mostra um rendimento médio de laminação de 52,6%. Brand (2000), estudando o comportamento de espécies do gênero *Pinus*, quanto ao rendimento em laminação de toras sem casca em lâminas verdes, obteve valor médio de 46,5%. Nos estudos realizados com espécies do gênero *Eucalyptus*, Pio (1996), obteve rendimentos de 36 a 44%, e Interamnense (1998), apresentou rendimentos médios, com grande variação nos resultados, que situaram-se entre 17 a 50%, ambos para toras com casca. De acordo com Interamnense (1998), rendimentos em torno de 50% podem ser considerados satisfatórios.

Tendo em vista os diâmetros menores das toras provenientes de florestas plantadas, o rendimento médio de 48% pode ser considerado satisfatório, quando comparadas às toras de espécies tropicais com diâmetros superiores que irão gerar maior rendimento na laminação. Brand (2000), citando Miyazaki (1989), afirma que o resíduo proveniente de rolo resto representa 6,6% dos resíduos da indústria de compensados.

Conicidade das toras

Para os cálculos de conicidade de cada tora, utilizou-se o seguinte fator:

$$\text{Fator conicidade} = \frac{D2}{D1}$$

D1 (cm) = diâmetro maior e D2 (cm) = diâmetro menor

O resultado médio de fator de conicidade obtido para 65 toras amostradas foi de 0,90901 com desvio-padrão de 0,07114. O valor mínimo registrado foi de 0,670 e o máximo de 1,00. Medina (1986) citando Lutz, afirma que o fator de conicidade da tora afeta a qualidade das lâminas e, principalmente o rendimento da tora em lâminas verdes. O valor médio de 0,90901 obtido neste trabalho está muito próximo do valor ideal de 1,0, correspondente ao cilindro perfeito. Pode-se afirmar que este fator de conicidade certamente contribuiu para o bom rendimento encontrado na laminação, tendo em vista a menor perda em madeira no processo de arredondamento.

Diâmetro médio das toras

O diâmetro médio resultante das sessenta e cinco toras amostradas situa-se em torno de 29 cm, com valores mínimo e máximo de 17 e 49 cm, respectivamente. Considerando-se a presença de toras com diâmetro em torno de 17,0 cm no lote de toras amostradas, o rendimento médio de 48%, obtido no processo de laminação, pode ser considerado altamente satisfatório, uma vez que, quanto menor o diâmetro da tora, menor será a faixa de aproveitamento em laminação, até atingir o diâmetro do rolo resto.

Correlações entre as variáveis de estudo

Na Tabela 2, estão apresentados os coeficientes de correlação obtidos para as interações entre as variáveis de estudo.

Tabela 2. Correlação entre as variáveis de estudo
Table 2. Correlation between studied variables

	REND %	V LAM	DMEDIO	D 1	D 2	FATORC	VOLTORA
REND%	1.00	0.20	0.04	-0.02	0.14	0.27	-0.13
VLAM	0.20	1.00	0.89	0.87	0.90	-0.56	0.91
DMEDIO	0.04	0.89	1.00	0.99	0.98	-0.71	0.94
D1	-0.02	0.87	0.99	1.00	0.95	-0.79	0.94
D2	0.14	0.90	0.98	0.95	1.00	-0.58	0.90
FATORC	0.27	-0.56	-0.71	-0.79	-0.58	1.00	-0.70
VOLTORA	-0.13	0.91	0.94	0.94	0.90	-0.70	1.00

Rend % = Rendimento em lâminas verdes (%); V lam = Volume processado de lâminas verdes (m³);

D Médio = Diâmetro médio das toras processadas (cm); D 1 = Diâmetro maior das toras (cm); D 2 = Diâmetro menor das toras (cm); Fator C = Fator de conicidade (adimensional); Vol Tora = Volume total da tora com casca antes da laminação (m³)

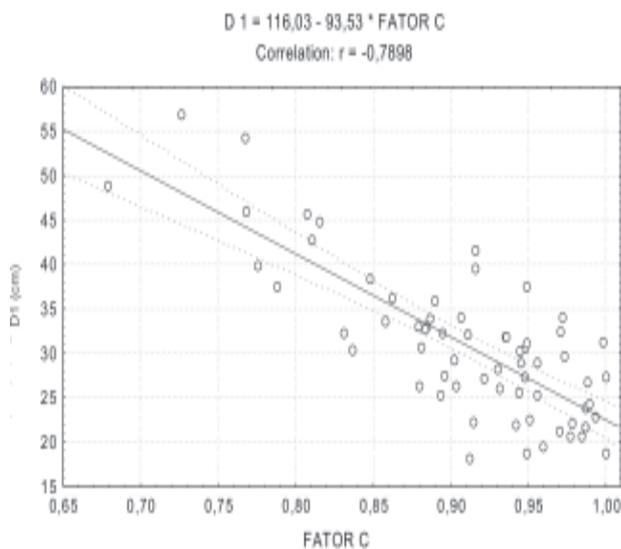


Figura 2. Correlação entre fator de conicidade e diâmetro maior das toras

Figure 2. Correlation between conicity factor and log diameter

A figura 2 demonstra que as correlações entre as variáveis: Diâmetro maior das toras e fator de conicidade são negativas, ou seja, quanto maior o diâmetro das toras menor o fator conicidade. Entretanto, o rendimento em laminação de toras com maiores diâmetros é maior em relação às toras com menor diâmetro, devido ao maior aproveitamento da faixa diâétrica da parte externa da tora até o rolo resto. Sabe-se, também, que a conicidade das toras influi significativamente no rendimento em lâminas verdes, ou seja, quanto mais cilíndrica a tora, maior o aproveitamento. Ressalta-se que o rendimento da tora em laminação está mais relacionado ao diâmetro da tora, uma vez que o diâmetro do rolo resto é em função do tipo de equipamento (torno).

A figura 3, mostra uma baixa correlação ($r = 0,27436$) entre o fator de conicidade e o rendimento em laminação. Este resultado pode se atribuído à alta dispersão dos dados, devido à variação significativa.

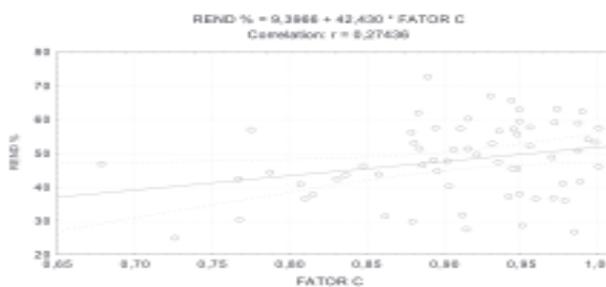


Figura 3. Correlação entre fator de conicidade e rendimento em lâminas verdes

Figure 3. Correlation between conicity factor and veneer yield

Aproveitamentos e perdas durante a laminação

O rendimento médio da laminação é de 48% do total de toras desenroladas. As perdas oriundas da etapa de arredondamento das toras correspondem, em média, a 35 % do volume das toras processadas, ou seja, uma quebra muito grande já na primeira etapa do processo. No caso deste estudo, as perdas no arredondamento se referem ao volume da casca e fator de conicidade das toras. É importante lembrar que estes resíduos são destinados principalmente à caldeira para a geração de energia térmica e cogeração dentro da própria indústria. As perdas relativas ao rolo resto, em torno de 13%, estão relacionadas principalmente com a qualidade das toras e tipo de equipamento para laminação. Normalmente, este material é destinado à produção de estrados para embalagens e sarrafos para fabricação de compensados sarrafeados. Neste estudo, foi constatado que o diâmetro do rolo resto, na maioria das indústrias é em torno de 10 cm.

Análise do rendimento em relação ao tamanho do torno

Com o intuito de verificar se existe diferença de rendimento em lâminas com relação ao tamanho dos tornos, as análises dos resultados de rendimentos foram separadas em função do comprimento das toras (lâminas): torno grande com rolo de 2,5m (produzem lâminas para capas) e torno pequeno com rolo de 1,4m (produzem lâminas para miolo), como apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Rendimento em função das dimensões do torno (teste de Tukey)

Table 3. Yield in function of the lathe dimensions (Tukey's test)

Torno	Amostras	Média	Grupos
Grande	27	46,0963	A
Pequeno	38	49,2942	A

Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade.

Verificou-se pela análise estatística, realizada através do Teste de Tukey a 95%, que o rendimento no processo de laminação não é influenciado pela capacidade do torno e comprimento da tora, conforme demonstrada na tabela 4. O rendimento é influenciado por outros fatores, como: qualidade da madeira, diâmetro de tora, fator de conicidade, ajuste do torno, afiação da faca, habilidade do operador de torno e outros.

Equações para estimativa do rendimento

Procurou-se comparar e correlacionar os valores reais de rendimento obtidos através dos valores de rendimento estimados através de equações, com a finalidade de analisar a viabilidade e a precisão do uso de equações para se estimar a produção de lâminas de madeira.

Equação 01*: $Vol_{estimado1} = \frac{Dt^2 \cdot Dr^2 \cdot Lt}{4}$

Equação 02: $Vol_{estimado2} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot Dt$

Dt (cm) = Diâmetro médio da tora; Dr (cm) = Diâmetro do rolo resto; Lt (m) = Comprimento da tora; $\hat{a}_0 = -0,1145$; $\hat{a}_1 = 0,00632$

* Fonte: Universidade Federal de Lavras: **Boletim Agropecuário** (2000)

Tabela 4. Análise estatística e teste de Tukey

Table 4. Statistics analysis and Tukey's test

	Volume real	Volume estimado 1	Volume estimado 2
Média	0,0710923 m³	0,0787709 m³	0,0710911 m³
Variância	0,00242571 m³	0,00366566 m³	0,00193059 m³
Desvio Padrão	0,0492515 m³	0,0605447 m³	0,0439385 m³
Mínimo	0,01 m³	0,012781 m³	-0,00486134 m³
Máximo	0,206 m³	0,295422 m³	0,196311 m³
Grupos	A	A	A

Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 4, pode-se observar que não houve diferença estatística entre os valores estimados de volume de lâminas pelas equações 01 e 02 e os valores reais amostrados. Esse resultado é de grande importância no sentido de viabilizar o uso de equações para o planejamento e controle da produção de lâminas.

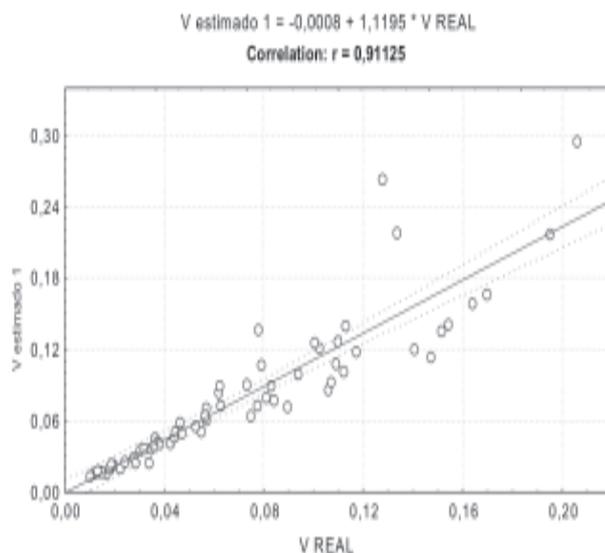


Figura 4. Volume Real x Volume estimado pela equação 1

Figure 4. Real volume x Estimated volume for equation 1

Os coeficientes de correlação de 0,91 e 0,89 obtidos respectivamente para as equações 1 e 2, foram extremamente satisfatórios, confirmando o potencial de emprego de equações com o uso de vari-

áveis: diâmetro da tora, diâmetro do rolo resto e comprimento da tora, para se estimar o volume de lâminas na produção

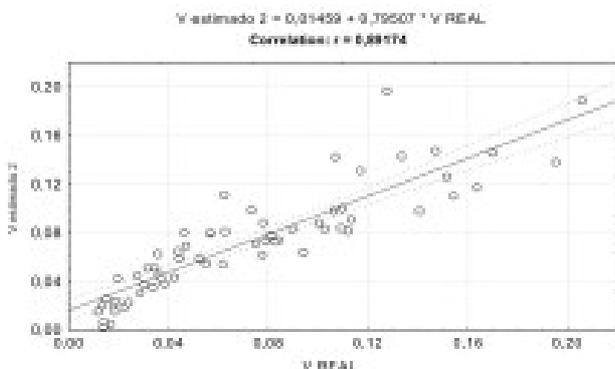


Figura 5. Volume Real x Volume estimado pela equação 2

Figure 5. Real volume x Estimated volume for equation 2

Conclusões

O rendimento médio do processo de laminação de madeira com base no volume das toras com casca foi de, aproximadamente, 48%;

A maior quebra no processo de laminação está na etapa de arredondamento das toras, correspondendo à 35 % do volume das toras;

Na análise das correlações entre as variáveis de estudo, o fator conicidade foi a que apresentou melhor correlação com o rendimento em porcentagem de lâminas verdes obtidas.

O tamanho do torno não influenciou no rendimento das toras em lâminas verdes.

As equações matemáticas testadas para estimar o volume de lâminas apresentaram alta correlação em relação ao volume real de lâminas obtidas, não havendo diferenças significativas entre si.

A equação 01
$$Vol_{estimado1} = \frac{Dt^2}{4} Dr^2 Lt$$

apresentou uma correlação ligeiramente superior em relação à equação 02. Entretanto, requer maior número de variáveis de entrada, principalmente o diâmetro do rolo resto

$$Vol_{estimado2} = 0 + 1 Dt$$

A equação 02 tem maior praticidade de aplicação, tendo em vista necessitar de apenas o diâmetro médio da tora como variável de entrada.

Referências Bibliográficas

BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981.326 p.
 BRAND, Martha Andréia. **Rendimento do Processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal**. Curitiba, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná.

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**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

LUTZ, J.F. **Wood Veneer Log Selection, Cutting and drying**. USDA technical bulletin 1577. 1978.

MEDINA, Juan Carlos. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm**. Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

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

PIO, N.S. **Avaliação das Madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na Produção de Painéis Compensados**. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. 101p.
 SELLERS, J.R., T. **Plywood Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p

TSOUMIS, G. Science and Technology of Wood – structure, properties, utilization. New York. Chapman & Hall, 1991. 494 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. **Boletim Agropecuário: Procedimento prático para cálculo de produção de lâminas de madeira por desenrolamento.** Lavras: número 36, setembro de 2000, 21p.