

## Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha

### The valuation of the *Eucalyptus grandis* x *urophylla* hybrid wood through the production of small dimension sawnwood, pulpwood and fuelwood

Alexandre Monteiro de Carvalho  
Marcio Augusto Rabelo Nahuz

---

**RESUMO:** Um plantio do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* estabelecido próximo a Mogi Guaçu, SP, com idade de 7 anos e manejado para atender à indústria de celulose e papel, foi explorado de forma diferenciada, obtendo-se de parte da madeira, peças serradas de pequenas dimensões e mínimos defeitos, os chamados “clear blocks”. A madeira produzida foi classificada ainda no campo em três porções de uso (P-I: madeira serrada para “clear blocks”, P-II: celulose e P-III - lenha). Através de uma pesquisa de mercado foram identificadas as especificações e preços atualizados dos “clear blocks”, da celulose e da lenha. Os três produtos foram obtidos em escala piloto e seus rendimentos analisados conjuntamente. Nas análises de produção de celulose, o material comprovou seu alto rendimento, por volta de 53% (volume de madeira em cavacos para volume de polpa). Na confecção dos “clear blocks” o rendimento foi de aproximadamente 30% (volume de madeira em toras com casca para volume em “clears”). O material classificado como lenha foi aproximadamente 4% do volume de madeira em pé. A exploração de multi-produtos foi comparada à produção padrão de celulose em uma simulação de venda dos bens obtidos a preços médios consultados. Os resultados indicaram a diversificação de produtos como importante alternativa para períodos em que o preço da celulose estiver baixo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eucalipto, Madeira serrada, Clear block, Serraria, Uso múltiplo

**ABSTRACT :** A 7-year plantation of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* hybrid established in the vicinity of Mogi Guaçu, SP, and managed to supply raw material to the pulp and paper industry was harvested in a differentiated way to produce wood for multiple purposes. The wood was graded into three fractions for different uses (F-I: sawnwood for “clear blocks”; F-II: pulpwood and F-III: fuelwood). In addition to yield analysis and product quality, a research was conducted among producers. This research aimed to identify specifications and prices of “clear blocks”, small dimension sawnwood free of defects, produced for the export market. The study produced “clear blocks”, woodpulp or cellulose, and fuelwood in experimental form. The combined yields of these products were analyzed in comparison with the results obtained in a standard operation aimed solely at the production of pulpwood. The analysis of the pulp production material showed high quality and yield results (about 53%). The “clear blocks” production yielded about 30%. The multiple products production of was compared to the standard production of pulp in a simulated market operation. The results favour the diversification of products as an important alternative in situations where the pulp market price is low.

**KEYWORDS:** Eucalypt, Sawnwood, Clear block, Sawmill, Multiple use

## INTRODUÇÃO

Com a grande ascensão na década passada da indústria de celulose, as áreas de reflorestamento atingiram enormes proporções. Somente com o eucalipto, o Brasil possui cerca de 3.600.000 hectares reflorestados (ANFPC, 1993; Prado, 1995; SBS, 1990). Atualmente, as indústrias consumidoras de madeira para celulose estão fomentando discussões e iniciativas no sentido de valorizar ainda mais a madeira produzida.

Recentes estudos envolvem a busca de mercados diferenciados para a madeira produzida nas florestas plantadas; Shield (1995) comenta que na conversão da floresta, de geradora de fibra para supridora de madeira sólida, a tecnologia aplicável faculta a utilização de material de pequenas dimensões, oriundo de toras finas, para a manufatura de uma ampla gama de produtos, tais como: molduras; tábuas para assoalhos, tacos e mosaicos; painéis e componentes para móveis; lambris painéis para paredes; painéis laminados.

Trabalhar com diâmetros menores, em torno de 20 cm e ciclos de rápido crescimento, em torno de 10 anos, são desafios cuja superação deve ser perseguida por pesquisadores e produtores. Serrarias do sul do Brasil, trabalhando com espécies de *Pinus*, vêm conseguindo sucesso na confecção de peças de madeira serrada em dimensões reduzidas, como por exemplo 20, 30 ou 40 cm de comprimento, por 5 a 10 cm de largura e espessuras em torno de 3 cm. Este produto destina-se principalmente ao mercado de exportação e vem sendo chamado de “clear blocks”.

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 proces-

samento e do mercado da madeira de eucalipto (Costa, 1996).

Na Figura 1 (Abracave, 2000) visualiza-se o crescimento do consumo das florestas plantadas como fornecedoras de madeira sólida, em relação a uma tendência de diminuição do consumo de florestas nativas no Brasil, a partir do ano de 1997. Quanto ao volume total de madeira consumida, as espécies nativas ainda representam a maioria da matéria-prima, contudo as perspectivas a longo prazo são de uma inversão deste quadro.

Ramos (1993) comenta que, considerando as previsões de “déficit” da oferta de madeira de *Pinus*, a alternativa para atender à demanda crescente de madeira serrada para uso geral será a utilização das espécies do gênero *Eucalyptus* de baixa densidade e rápido crescimento.

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. O autor comenta que para a madeira de folhosas (eucalipto), as diferenças nas propriedades da madeira adulta e madeira juvenil são menores do que nas coníferas (*Pinus*), e que não são consideradas um problema significativo. Toras jovens de *Eucalyptus grandis*, com idade de 6 a 14 anos, têm apresentado conseqüências relativamente leves na madeira serrada, manifestadas principalmente em deformações e gretamentos devidos a colapso nas faces das peças contendo a medula.

Lima (1996) cita que a multiplicidade de produtos possíveis de serem obtidos a partir do eucalipto permite ao proprietário do plantio direcionar suas atividades para a produção de madeira serrada, laminados, aglomerados, madeira para energia, fabricação de celulose e papel e ainda, aproveitar os resíduos para a fabricação de chapas de fibras e geração de energia.

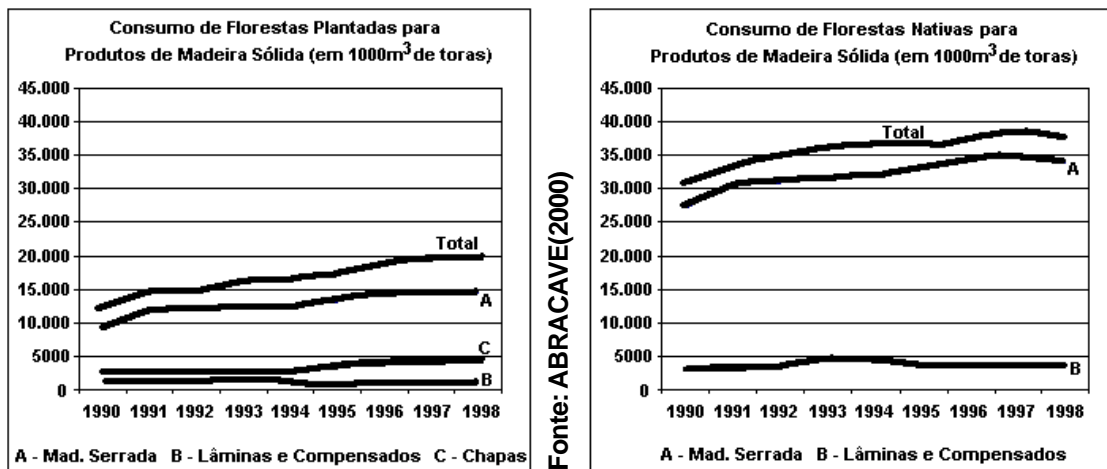


Figura 1. Consumo de florestas nativas e plantadas para produtos de madeira sólida no Brasil

(Consumption of native and planted forests for products of solid wood in Brazil)

## OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram:

- ✓ avaliar a obtenção de peças serradas de pequenas dimensões e mínimos defeitos (“clear blocks”) do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, como fonte de valorização da madeira produzida com finalidade inicial de atender exclusivamente à indústria de celulose;
- ✓ discutir e colocar em prática o conceito de *Uso Múltiplo* da madeira de eucalipto, analisando o mesmo plantio em três diferentes segmentos: madeira serrada, celulose e energia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Foi utilizada como população base para o estudo, uma parcela de 1 hectare de um híbrido entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla*, produzido a partir de estaquia (clonagem), com 7 anos de idade e implantado com espaçamento 3,5m x 1,7m.

A localização da parcela foi sorteada aleatoriamente dentro de um talhão comercial do Horto Santa Terezinha de propriedade da Champion Papel e Celulose, a aproximadamente 35km da cidade de Mogi Guaçu, SP.

A data do plantio foi 21/05/92, a área total do talhão é 48,99 hectares, sendo o solo,

Latossolo Vermelho Amarelo. A precipitação média anual da região é de 1.300mm e a temperatura varia de 16°C a 24°C, médias dos meses mais frios e mais quentes.

### Métodos

A metodologia empregada no estudo seguiu as etapas representadas em ordem cronológica e logística na Figura 2. As principais atividades, demarcadas na Figura 2 com números entre parênteses, são detalhadas a seguir:

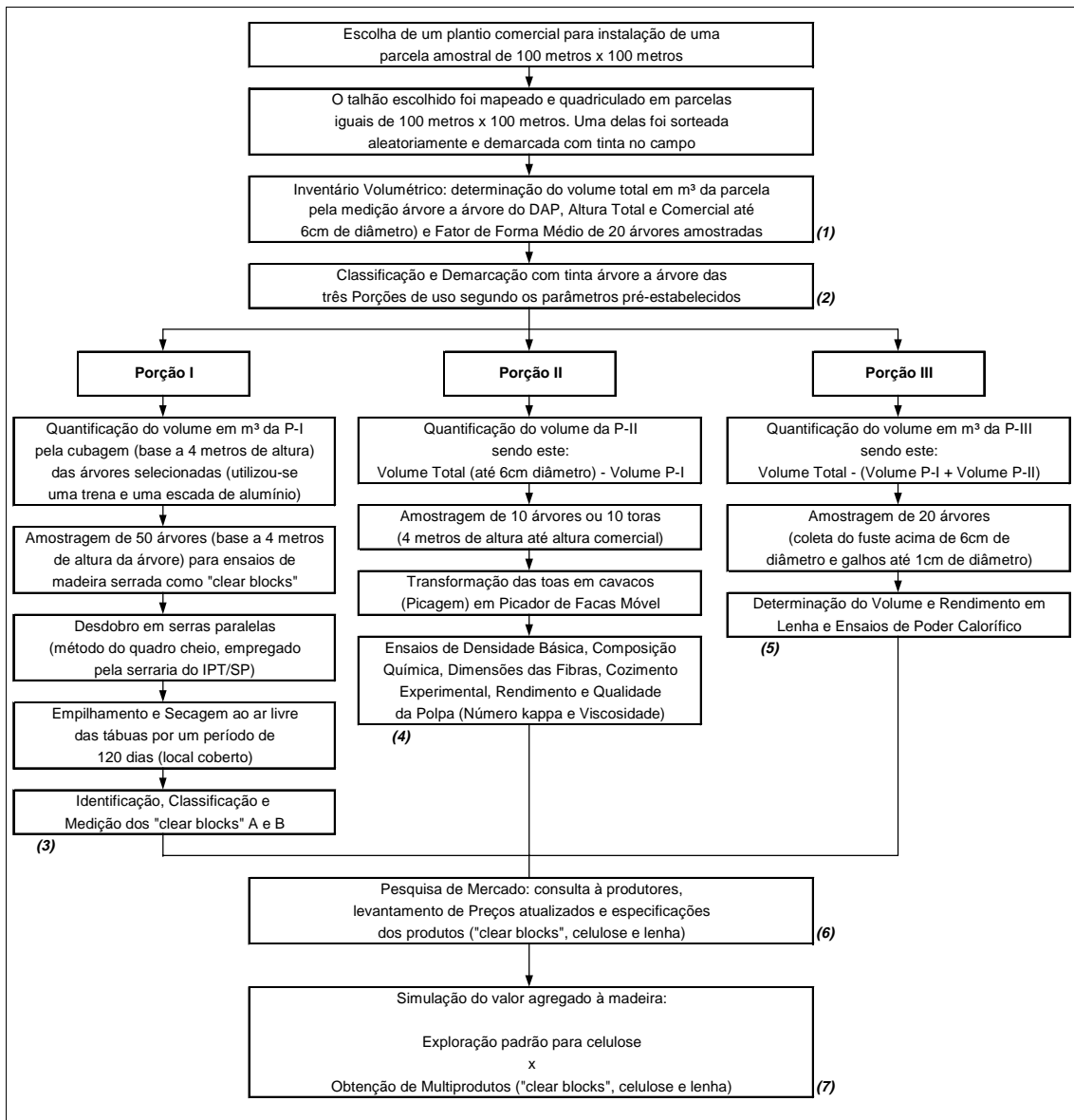


Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada ao longo do estudo

(Layout of the methodology used along the study)

### Inventário volumétrico

A partir da demarcação de uma parcela experimental de 10.000m<sup>2</sup>, as árvores nela contidas foram inventariadas para determinação do volume total em m<sup>3</sup> de madeira no campo. Em cada árvore foram medidos o DAP (diâmetro a 1,30 metros de altura), a Altura Total, a Altura Comercial (até 6cm de diâmetro do fuste) e de-

terminado o Fator de Forma de 20 árvores abatidas e cubadas pela método de Smalian. O volume total pode então ser calculado pela somatória do volume real em m<sup>3</sup> de cada árvore, sendo este dado por

$$V_R = \frac{\pi}{4} (DAP)^2 \cdot H_t \cdot F$$

onde:

VR = volume real de cada árvore (m<sup>3</sup>);

Ht = altura total da árvore;

F = fator de forma médio.

A metodologia detalhada do inventário foi descrita em Carvalho, 2000.

### **Classificação e demarcação em três porções de uso**

Após o cálculo do volume total da parcela foram identificadas, ainda no campo, três porções da madeira a serem destinadas a diferentes segmentos,: Porção I: matéria-prima para serraria, confecção de “clear blocks”; Porção II: madeira para celulose; Porção III: lenha para energia.

Os parâmetros para classificação da madeira foram os seguintes:

Porção I (“clear blocks”) - Madeira ou toras superiores. Parâmetros definidos segundo as condições da serraria do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, onde foram realizados os ensaios: diâmetro da base > 20cm; diâmetro do topo > 12cm, a 4 metros de altura; comprimento mínimo de 4 metros para as toras que atenderam às exigências de diâmetros; ausência de defeitos aparentes: toras que apresentaram galhos, nós em excesso e rachaduras aparentes após abate da árvore, foram desconsideradas nesta porção;

Porção II (celulose) - Madeira ou toras de porte médio. Dentro desta fração foi classificada toda a madeira que não atendeu às exigências da Porção I, e que apresentou diâmetro superior a 6 cm, limite inferior utilizado na manufatura de cavacos para produção de celulose pela maioria da indústrias do setor.

Como produto de referência para análise de rendimento e ensaios qualitativos foi utilizada a polpa de celulose não branqueada. Os parâmetros para demarcação das toras desta

porção foram: diâmetro mínimo de 6 cm; ausência de defeitos graves (exemplo a podridão ou madeira queimada);

Porção III (lenha) - Madeira ou toras de porte inferior: Os parâmetros para demarcação das toras desta porção foram: diâmetro inferior a 6 cm; outras dimensões e forma que desqualificaram a madeira para as Porções I e II.

### **Identificação, classificação e medição dos “Clear Blocks”**

Com a madeira classificada como Porção I processada na forma de tábuas, e após o período de secagem, foram retiradas algumas amostras e identificados os “clear blocks” A e B em todas elas.

A identificação e classificação em A e B foi feita segundo os seguintes parâmetros:

- Clear Block A:

Comprimento  $\geq$  15 cm;

Largura  $\geq$  5 cm;

Espessura (igual a espessura das tábuas) 2,7 cm;

0% de defeitos (sem nós, sem medula, sem empenamentos).

- Clear Block B:

Comprimento  $\geq$  15 cm;

Largura  $\geq$  5 cm;

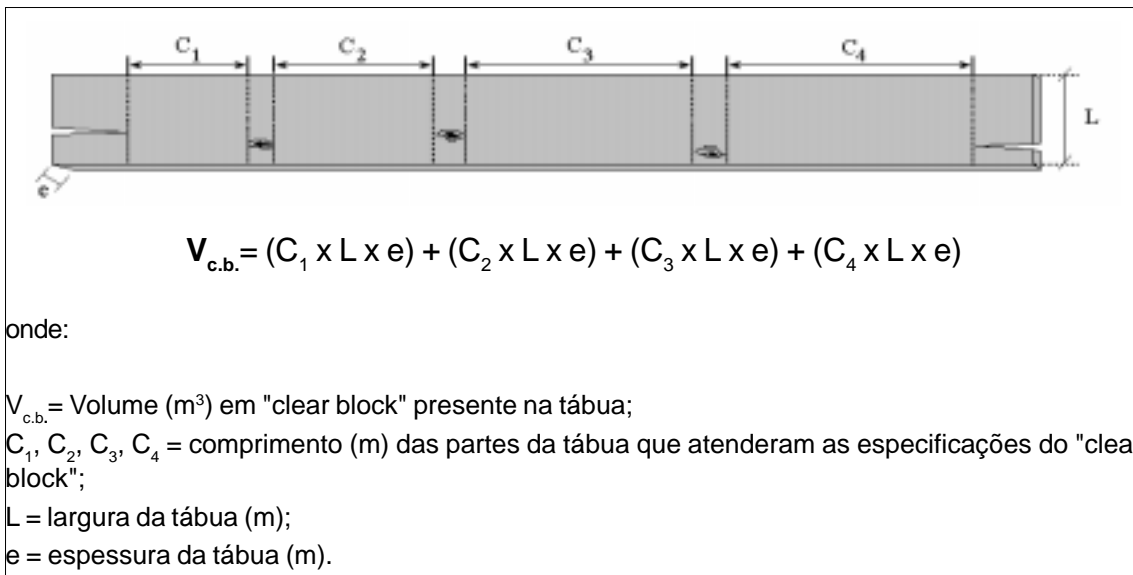
Espessura (igual a espessura das tábuas) 2,7 cm;

Permite nós vivos (ou firmes) e medula.

Tábua a tábua os “clear blocks” foram sendo marcados com giz de cera e medidos conforme a Figura 3 para determinação dos volumes em m<sup>3</sup>.

### **Ensaio da Porção II (celulose)**

Na avaliação da qualidade da madeira para produção de celulose foram realizados os seguintes ensaios:



**Figura 3.** Medição do volume em "clear block" em cada tábua  
 (Measurement of the volume in "clear block" in each board )

Densidade básica: a densidade foi obtida pelo método do máximo teor de umidade, descrito em Barrichelo (1975) e comumente utilizado quando se têm amostras da madeira na forma de cavacos;

Composição química: foram determinadas em laboratório as porcentagens de extrativos totais, lignina e holocelulose da madeira, segundo metodologias descritas nas normas da ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, n. M3/69 e M10/71 de 1974.;

Dimensões das fibras: Foram medidos comprimento, largura, espessura da parede e diâmetro do lúmen de 100 fibras e determinados os valores das relações entre estas dimensões, expressas pela Fração Parede (% da largura ocupada pela parede da fibra); Coeficiente de Flexibilidade (% da largura ocupada pelo lúmen da fibra); Índice de Enfeltramento (comprimento / largura da fibra) e Índice de Runkel (relação entre a espessura da parede e diâmetro do lúmen da fibra). A metodologia dos ensaios de dimensões da fibra seguiu as normas internas do SQCE - Setor de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP;

Cozimento experimental: Para determinação do rendimento da madeira em celulose, foram realizados cozimentos em autoclave rotativo de laboratório, fabricante - REGMED. Os cozimentos e ensaios na polpa de celulose produzida seguiram a metodologia utilizada no SQCE - Setor de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Foram utilizadas 4 diferentes formulações de licor (mistura de reagentes utilizada no cozimento da madeira para obtenção da polpa de celulose), variando quanto à concentração de Álcali Ativo, o que possibilitou a análise da adequação de cada tratamento à maior ou menor concentração utilizada.

Foram utilizadas também 8 cápsulas de aço individuais, contendo as 4 formulações com 2 repetições. As condições de cozimento foram as seguintes:

% Álcali Ativo Na<sub>2</sub>O: 12%, 13%, 14%, 15% (2 repetições = 8 cápsulas por cozimento)

Sulfidez: 25%

Temperatura máxima: 170°C

Tempo de aquecimento: 90 min

Tempo à temperatura máxima: 60 min  
 Relação Licor / Madeira: 4:1

A celulose produzida em cada cozimento foi analisada quanto às variáveis: Rendimento bruto; Porcentagem de rejeitos; Rendimento depurado; Número Kappa e Viscosidade.

**Ensaio da Porção III (lenha)**

O volume de lenha produzido pelas árvores da parcela foi determinado pela extrapolação da média encontrada nas 20 árvores amostradas, ou seja, a média multiplicada pelo número total de árvores.

Nas árvores amostradas desta porção todo o material lenhoso acima do ponto de diâmetro do fuste igual a 6 cm foi retirado, incluindo galhos até 1 cm de diâmetro. O material foi picado e através do método do xilômetro foi quantificado o volume de lenha das amostras, Figura 4.

O rendimento foi calculado pelo volume total de lenha da parcela em função do volume total de madeira. Foram também determinados o Poder Calorífico Superior (PCS), o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o Poder Calorífico Útil em relação à massa e em relação ao volume

(PCUm e PCUv). Os ensaios de poder calorífico obedeceram à norma ABNT NBR 8633 de 1984.

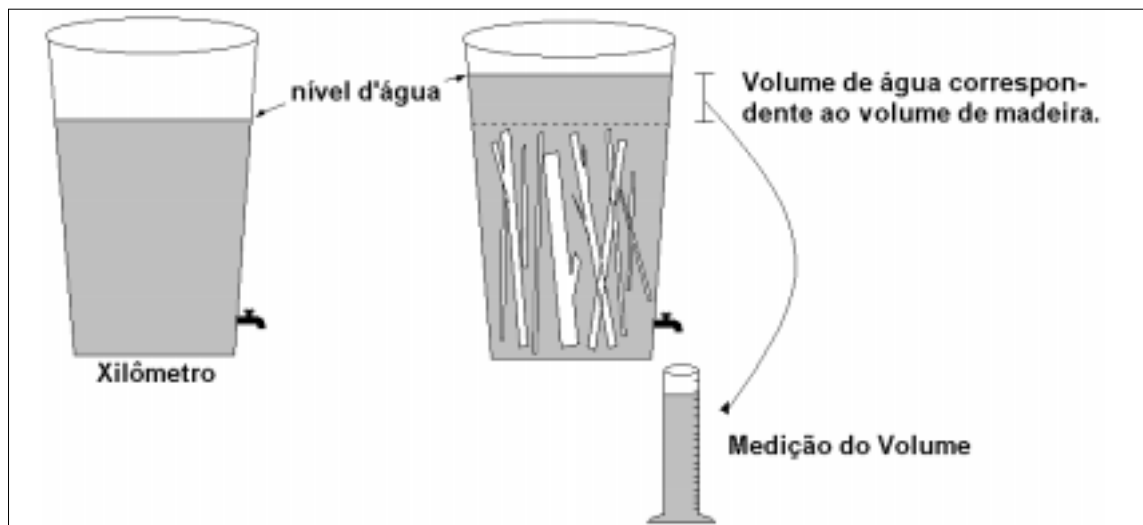
**Pesquisa de mercado**

Em paralelo à realização dos ensaios programados, foram levantadas informações junto ao mercado de produtores de madeira serrada de reflorestamento, indústrias da área de celulose e papel, fornecedores de lenha de eucalipto e associações de classe de cada um destes segmentos.

O foco desta pesquisa de mercado foram especificações quanto às dimensões e classes de qualidade dos produtos, preços praticados no mercado interno e de exportação e, também, os custos de produção envolvidos em cada processo.

Os contatos foram realizados através de visitas, participação em reuniões técnicas dos setores, telefonemas, fax e via Internet através de correio eletrônico e consultas a “home-pages”.

As informações tabuladas e organizadas contendo todas as empresas consultadas constam em Carvalho (2000).



**Figura 4.** Medição do volume de lenha pelo método do xilômetro  
 (Measurement of the firewood volume for the xilometer method )

### **Simulação do valor agregado à madeira na exploração padrão para celulose x obtenção de multiprodutos**

Foi realizada uma simulação de mercado para cálculo do valor agregado a 1 m<sup>3</sup> de madeira (em pé), na produção padrão de celulose versus a obtenção de multiprodutos. O valor agregado foi calculado em função dos rendimentos dos processos e preços de venda (menos o custo de produção). As informações que subsidiaram a simulação foram obtidas ao longo dos ensaios e na pesquisa de mercado.

Foram comparados os possíveis ganhos ao valor agregado à madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) produzida no campo até os 7 anos de idade, diversificando-se o uso final.

Neste exercício foram consideradas as seguintes situações:

- a) Produção padrão de celulose com resíduos (fuste acima de 6cm de diâmetro, galhada e folhagens) deixados no campo;
- b) Produção padrão de celulose com exploração de lenha para energia;
- c) Produção de celulose + “clear blocks” + lenha para energia.

A matéria-prima foi sempre a mesma, ou seja, o plantio de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 7 anos de idade.

Os preços de cada produto final variaram conforme descrito a seguir, sendo os valores observados e sustentados pela pesquisa de mercado:

- Preço da celulose: US\$ 400,00 a US\$ 700,00/tonelada

- Preço da madeira serrada em tábuas: US\$ 80,00 a US\$ 200,00/m<sup>3</sup>

- Preço do “clear block”:

Qualidade A: US\$ 180,00 a US\$ 380,00/m<sup>3</sup>

Qualidade B: US\$ 135,00 a US\$ 285,00/m<sup>3</sup>(25% inferior ao clear A)

- Preço da Lenha: US\$ 10,50/m<sup>3</sup> (preço médio)

As informações levantadas relativas ao custo de produção dos “clear blocks” não foram consistentes; por este motivo foram analisadas situações onde se considerou o custo de 5, 10, 20, 30 e 40% do custo de produção da celulose, visto que os gastos de produção da madeira serrada são bastante inferiores aos de obtenção da celulose.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### ***Inventário e classificação da madeira***

Na Tabela 1 encontram-se os valores em m<sup>3</sup> determinados segundo os parâmetros de classificação da madeira e informações de caracterização do plantio como DAP, altura, porcentagem de árvores mortas e bifurcadas e falhas.

Os dados confirmaram a homogeneidade do híbrido implantado através de clonagem. O talhão apresentou baixa quantidade de árvores mortas e falhas, porém, a porcentagem de árvores bifurcadas (2,97%) foi um valor considerado alto.

O DAP médio de 14,9 cm e o incremento médio de 45,10m<sup>3</sup>/ha/ano indicaram um bom

desenvolvimento silvicultural para a idade do plantio, que foi inventariado a exatos 6 anos e 8 meses.

O volume de madeira classificado como Porção I, em função das características das instalações da serraria do IPT em São Paulo, indicou, já no inventário, um bom potencial de aproveitamento como madeira serrada. O volume de 36,17m<sup>3</sup>, ou 12% do total, pressupõe a viabilidade da exploração das toras superiores em mercados onde possa ser agregado um valor maior à madeira, como o da indústria de serraria.



**Tabela 1.** Resultados do inventário volumétrico da parcela

(Results of the inventory of the experimental area)

Total de árvores na parcela experimental de 1ha ..... 1617					
Total de fustes (árvores bifurcadas = 2 fustes) ..... 1660					
Bifurcadas: 48 árvores ou 2,97%      Mortas: 5 árvores ou 0,31%      Falhas: 21 falhas ou 1,30%					
Fator de forma (média de 10 árvores amostradas) ..... 0,435					
<i>DAP (cm)</i>	Médio	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	C.V.
	14,9	20,5	4,4	2,4642	16,59
<i>Altura Total (m)</i>	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	C.V.
	26,5	30,0	9,0	2,6210	9,91
<i>Altura Comercial (m)</i>	Média	Máxima	Mínima	Desvio Padrão	C.V.
	22,1	25,0	7,5	2,1842	9,91
Volume Total de Madeira ..... 300,72m <sup>3</sup> ou 100%					
IMA (m <sup>3</sup> /ha/ano) ..... 45,10					
Volume da Porção I ..... 36,17m <sup>3</sup> ou 12,03%					
Nº de árvores com madeira p/ Porção I ..... 413 árvores ou 25,54%					
Volume da Porção II ..... 253,26m <sup>3</sup> ou 84,21%					
Nº de árvores com madeira p/ Porção II ..... 1617 árvores ou 100%					
Volume da Porção III ..... 11,29m <sup>3</sup> ou 3,75%					
Nº de árvores com madeira p/ Porção III ..... 1617 árvores ou 100%					

O volume de madeira destinado à indústria de celulose foi predominante, sendo 253,26m<sup>3</sup>/ha ou 84% do total.

O volume de lenha obtido, 11,29m<sup>3</sup> ou 4% do total, mostrou-se significativo em relação ao total. Esta porcentagem, se extrapolada para um plantio maior ou para todo um sistema de produção e exploração de madeira, gera um volume de matéria-prima capaz de gerar uma importante receita como fonte de energia para o processo industrial ou como renda adicional pela venda da lenha para outros segmentos de mercado.

### Porção I

#### Rendimento em “Clear Blocks”

Os valores de rendimento em “clear blocks” apresentados na Tabela 2 foram calculados a partir do volume inicial das toras. A variação dos

valores de rendimento entre as toras foi maior quando analisados os Clears A e B separadamente; quando somados os valores para determinação do rendimento Clears A + B, a variação diminuiu, mostrando que a presença de defeitos leves (como nós vivos ou firmes) pode ser significativa quando as peças forem avaliadas qualitativamente, ou seja classificadas como A ou B de acordo a qualidade.

Os valores de rendimento apresentados na Tabela 3 foram calculados a partir do volume das tábuas após o desdobro na condição seca, ou seja, representa o rendimento da transformação de tábuas em “clears”.

A porcentagem de Clears A obtida, 59,77% foi bem superior à porcentagem de Clears B, 15,32%. A classificação total das tábuas em Clears A+B foi de 75,09%, o que significou um descarte, ou não utilização para este fim, de 24,91% do volume das tábuas.

**Tabela 2.** Rendimento (%) em “clear blocks” tipo A, tipo B e total (A+B)

(Revenue(%) in “clear blocks” type A, type B and total(A+B))

	<b>CLEARSA</b>	<b>CLEARSB</b>	<b>CLEARSA+B</b>
<b>(50 Toras)</b>	<b>Rend. (%)</b>	<b>Rend. (%)</b>	<b>Rend. (%)</b>
Média	23,84	6,14	29,98
Desvio Padrão	5,96	5,90	4,14
C.V.(%)	25,02	96,02	13,82

**Porção II**

Na Tabela 4 encontram-se os resultados dos ensaios realizados na Porção da madeira destinada à celulose.

A densidade básica foi bastante próxima do esperado de um híbrido entre o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus urophylla*, sendo que o primeiro possui média em torno de 0,490g/cm<sup>3</sup>, inferior ao *E. urophylla*. Geralmente, o que se objetiva deste cruzamento é um bom crescimento no campo, característica do *E. grandis*, uma ligeira elevação na densidade da madeira, uma melhoria no rendimento e propriedades físicas da celulose produzida, trazidas pelo *E. urophylla*.

Os resultados da composição química da madeira confirmaram valores encontrados em trabalhos anteriores com as espécies parentais. Shimoyama (1990) não encontrou diferenças significativas entre a composição química da madeira do *E.grandis* e do *E.urophylla*.

As duas espécies que originaram o material híbrido estudado possuem características distintas quanto às dimensões de suas fibras; em trabalhos anteriores observou-se que, na maioria dos casos, o *E.urophylla* possui uma fibra com maior espessura de parede, que fornece maior volume e resistência ao

**Tabela 3.** Volume (m<sup>3</sup>) e rendimento (%) em “clear blocks” em relação ao volume das tábuas produzidas no desdobro após secagem(Volume (m<sup>3</sup>) and revenue (%) in “clear blocks” in relationship to the volume of the boards after drying)

<b>Volume total das tábuas produzidas pelas toras amostradas ..... 2,2002 m<sup>3</sup></b>	
<b>Clear Blocks A</b>	
<b>Volume Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rend. Médio (%)</b>
1,3151	59,77%
<b>Clear Blocks B</b>	
<b>Volume Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rend. Médio (%)</b>
1,3151	59,77%
<b>Clear Blocks A+B</b>	
<b>Volume Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rend. Médio (%)</b>
1,3151	59,77%

**Tabela 4.** Resultados dos ensaios da Porção II (madeira para celulose) (Results of Porção II's tests (wood for cellulose))

<b>Densidade Básica g/cm<sup>3</sup> (média de 6 repetições)</b>	<b>0,505</b>			
<b>Composição Química (média de 6 repetições)</b>				
Extrativos Totais (%)	3,67			
Lignina (%)	22,40			
Holocelulose (%)	73,93			
<b>Dimensões das Fibras (média de 100 fibras)</b>				
Comprimento (mm)	1,08			
Largura (µm)	17,14			
Diâmetro do Lúmen (µm)	8,76			
Espessura da Parede (µm)	4,19			
Fração da Parede - FP	48,87			
Coeficiente de Flexibilidade - CF	51,13			
Índice de Enfeltramento - IE	62,87			
Índice de Runkel - IR	0,956			
<b>Cozimento (média de 2 repetições)</b>				
<b>Álcali Ativo (%A.A.)</b>	<b>12%</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>15%</b>
Rendimento Bruto (%)	54,65	52,68	52,86	53,08
Rejeitos (%)	0,249	0,008	0,014	0,012
Rendimento Depurado (%)	54,41	52,67	52,85	53,07
Kappa	18,20	18,00	16,10	14,50
Viscosidade	79,90	48,31	52,40	33,33

papel (Shimoyama, 1990). Esta é uma das características desejada no cruzamento da espécie com o *E. grandis*.

A fração parede de 48,87 indica um significativo aumento, se comparada a valores obtidos para o *E. grandis* puro.

Quanto às variáveis de rendimento e qualidade da polpa de celulose, o material alcançou valores bastante satisfatórios, caracterizando uma madeira adaptada à indústria de celulose. Nas 4 diferentes concentrações de Álcali Ativo foram obtidos rendimentos depurados próximos a 53%, o que evidencia o grande potencial deste material genético para a obtenção de celulose em escala comercial.

Os valores de porcentagem de rejeitos foram baixos, nenhum acima de 0,3% e os ensaios de número kappa e viscosidade foram condizentes com as concentrações de álcali ativo utilizadas, ou seja, quanto maior a concentração do licor, menor a lignina residual (menor kappa) e menor a viscosidade, o que indica a degradação das fibras (menor viscosidade indica maior degradação).

### Porção III

As análises de poder calorífico das amostras referentes à Porção III, evidenciadas na Tabela 5, confirmaram a capacidade de geração de energia através do material residual da explo-

ração do plantio de eucalipto. Em um estudo realizado pela equipe da Eucatex (1996) valores próximos aos encontrados no presente trabalho indicaram a lucratividade do uso da lenha de eucalipto em caldeiras de biomassa, substituindo em parte a utilização do óleo combustível na geração de energia para o processo produtivo.

### **Agrupamento das porcentagens do volume de madeira de cada porção**

Para visualização dos resultados em conjunto e quantificação do volume de madeira estimado pelas amostragens e ensaios foi elaborada a Figura 5, onde a partir do volume inicial de madeira no campo calculado no inventário, são demonstradas as porcentagens de madeira obtidas para cada porção e os rendimentos dos processos.

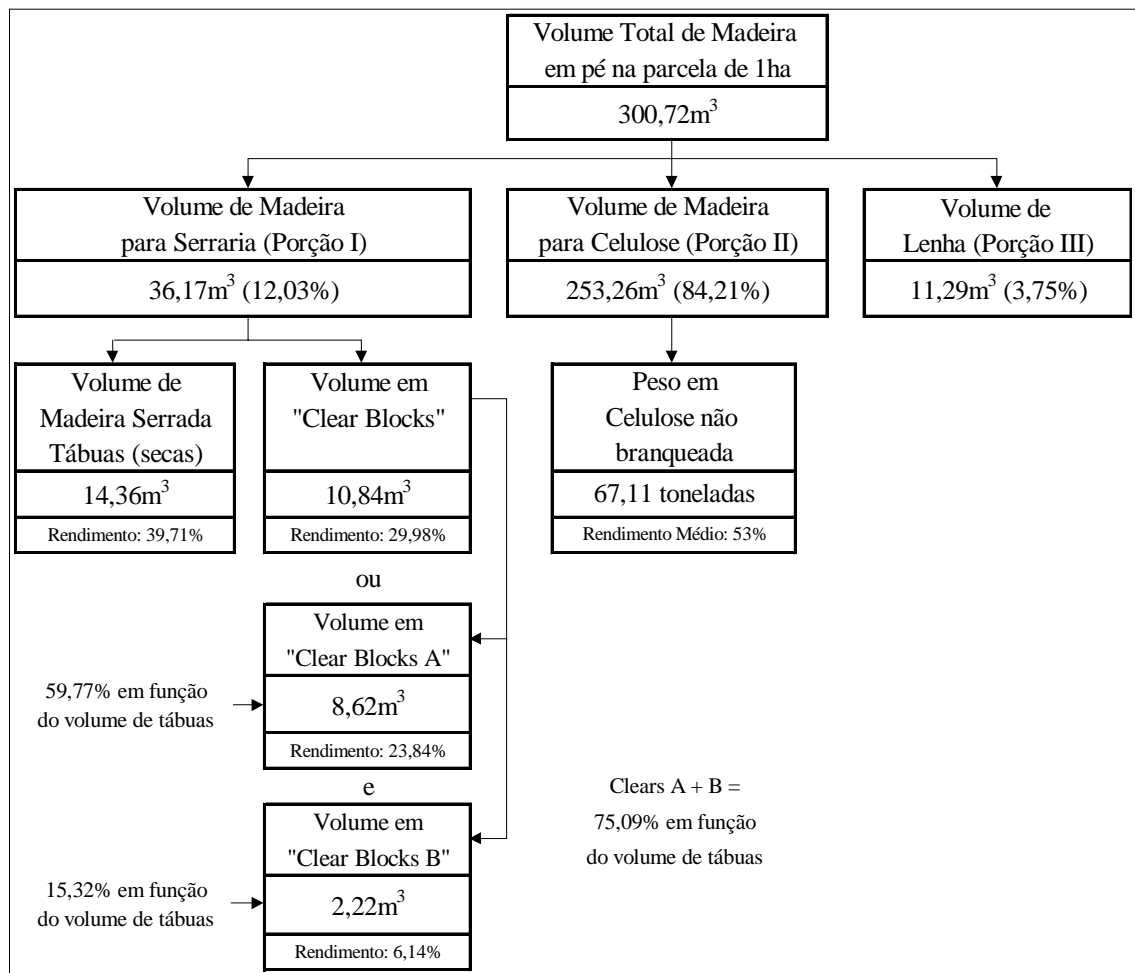
Simulação do valor agregado à madeira na exploração padrão para celulose x obtenção de multiprodutos

Na Tabela 6 encontram-se os valores fixados, resultantes dos ensaios e da pesquisa de mercado e utilizados na simulação apresentada nas Tabelas 7 a 10.

Nas Tabelas 7 a 10 variou-se o preço de mercado da celulose (400,00 a 700,00 US\$/tonelada), representando quatro situações distintas para análise da viabilidade ou não da geração de multi-produtos.

**Tabela 5.** Resultados da determinação do poder calorífico no material da Porção III  
(Results of the determination of the calorific capacity in Fraction III's material)

Repetição	Poder	Poder	Poder	Poder
	Calorífico Superior (kcal / kg)	Calorífico Inferior (kcal / kg)	Calorífico Útil (massa) (kcal / kg)	Útil (volume) (Mcal / m <sup>3</sup> sólido)
1	4370,01	4025,01	3572,50	1832,69
2	4461,38	4116,38	3655,01	1875,02
3	4439,87	4094,87	3635,59	1865,06
<b>Média</b>	<b>4423,75</b>	<b>4078,75</b>	<b>3621,03</b>	<b>1857,59</b>



**Figura 5.** Percentagens em m<sup>3</sup> calculadas pelos resultados dos ensaios para cada produto obtido em escala experimental. (Percentages in m<sup>3</sup> calculated by the results of the tests for each product obtained in experimental scale)

**Tabela 6.** Valores fixados nos cálculos da simulação de mercado (dados provenientes dos ensaios e da pesquisa de mercado) (Fixed values in the calculations of the market simulation (values obtained in the tests and in the market research))

Rendimento em celulose não branqueada (ensaios):	54,00%
Rendimento em celulose branqueada: (considerando 2,5% de perda no branqueamento)	51,50%
Densidade Básica (ensaios):	500 kg/m <sup>3</sup>
Rendimento em madeira para serraria, % da Porção I (ensaios):	12,03%
Rendimento em madeira serrada como tábuas (ensaios):	39,71%
Rendimento na obtenção de "clear blocks" A (ensaios):	23,84%
Rendimento na obtenção de "clear blocks" B (ensaios):	6,14%
Custo Médio de produção por tonelada de celulose branqueada: (base ano de 1999 - fonte: RISI)	US\$ 398,00
Custo Médio de produção de celulose por m <sup>3</sup> (em toras) de madeira processado:	US\$102,49/m <sup>3</sup>
Equivalente em celulose de 1m <sup>3</sup> de madeira:	0,2575 t
m <sup>3</sup> de madeira por tonelada de celulose:	3,88 m <sup>3</sup> /t

A principal variável comparada foi o valor agregado líquido referente a 1m<sup>3</sup> de madeira no campo, ou seja, o Lucro Líquido gerado pela exploração de 1m<sup>3</sup> da madeira no campo em cada situação.

Nas Tabelas 7 a 10, o conjunto de valores delimitados com linhas em seu redor demonstrou as situações em que a diversificação dos

produtos finais não conseguiu agregar valores, ou valorizar a madeira produzida, em relação à exploração padrão. Este conjunto de valores aumentou conforme aumentou o preço de venda da celulose.

Na Tabela 7, o valor negativo para o lucro líquido na fabricação única de celulose e celulose + lenha, deve-se ao fato de que o custo de

**Tabela 7.** Simulações de mercado considerando o preço da celulose em US\$ 400,00/t

(Market simulations considering the price of the cellulose in US\$ 400,00/t)

<b>Preço Celulose US\$/t fixado em:</b>	400	400	400	400	400	400
<b>Preço Lenha US\$/m<sup>3</sup> fixado em:</b>	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
<b>Preço Madeira Serrada US\$/m<sup>3</sup> (tábuas) variando em:</b>	80	100	120	140	160	180
<b>Preço Clear A US\$/m<sup>3</sup> variando em:</b>	150	200	250	300	350	400
<b>Preço Clear B US\$/m<sup>3</sup> variando em: (25% abaixo do Clear A)</b>	113	150	188	225	263	300
<b>Valor Agregado Líquido referente a 1m<sup>3</sup> de madeira em pé ou Lucro Líquido em US\$/m<sup>3</sup></b>						
Produção única de celulose sem exploração de lenha (ao custo de US\$ 398,00/t)						-3,3
Produção de celulose e lenha (ao custo de US\$ 398,00/t e lenha ao custo 0)						-3,0
Produção de celulose + "clear blocks" + lenha sendo o custo de produção dos "clear blocks" igual a:						
5% o custo da produção de celulose	5,3	7,1	8,8	10,5	12,2	13,9
10% o custo da produção de celulose	4,7	6,4	8,1	9,9	11,6	13,3
20% o custo da produção de celulose	3,5	5,2	6,9	8,6	10,3	12,0
30% o custo da produção de celulose	2,3	4,0	5,7	7,4	9,1	10,8
40% o custo da produção de celulose	1,0	2,7	4,4	6,2	7,9	9,6

**Tabela 8.** Simulações de mercado considerando o preço da celulose em US\$ 500,00/t

(Market simulations considering the price of the cellulose in US\$ 500,00/t)

<b>Preço Celulose US\$/t fixado em:</b>	500	500	500	500	500	500
<b>Preço Lenha US\$/m<sup>3</sup> fixado em:</b>	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
<b>Preço Madeira Serrada US\$/m<sup>3</sup> (tábuas) variando em:</b>	80	100	120	140	160	180
<b>Preço Clear A US\$/m<sup>3</sup> variando em:</b>	150	200	250	300	350	400
<b>Preço Clear B US\$/m<sup>3</sup> variando em: (25% abaixo do Clear A)</b>	113	150	188	225	263	300
<b>Valor Agregado Líquido referente a 1m<sup>3</sup> de madeira em pé ou Lucro Líquido em US\$/m<sup>3</sup></b>						
Produção única de celulose sem exploração de lenha (ao custo de US\$ 398,00/t)						21,4
Produção de celulose e lenha (ao custo de US\$ 398,00/t e lenha ao custo 0)						21,8
Produção de celulose + "clear blocks" + lenha sendo o custo de produção dos "clear blocks" igual a:						
5% o custo da produção de celulose	27,0	28,7	30,4	32,2	33,9	35,6
10% o custo da produção de celulose	26,4	28,1	29,8	31,5	33,3	35,0
20% o custo da produção de celulose	25,2	26,9	28,9	30,3	32,0	33,7
30% o custo da produção de celulose	23,9	25,7	27,4	29,1	30,8	32,5
40% o custo da produção de celulose	22,7	24,4	26,1	27,8	29,6	31,3

**Tabela 9.** Simulações de mercado considerando o preço da celulose em US\$ 600,00/t

(Market simulations considering the price of the cellulose in US\$ 600,00/t)

<b>Preço Celulose US\$/t fixado em:</b>	600	600	600	600	600	600
<b>Preço Lenha US\$/m<sup>3</sup> fixado em:</b>	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
<b>Preço Madeira Serrada US\$/m<sup>3</sup> (tábuas) variando em:</b>	80	100	120	140	160	180
<b>Preço Clear A US\$/m<sup>3</sup> variando em:</b>	150	200	250	300	350	400
<b>Preço Clear B US\$/m<sup>3</sup> variando em: (25% abaixo do Clear A)</b>	113	150	188	225	263	300
<b>Valor Agregado Líquido referente a 1m<sup>3</sup> de madeira em pé ou Lucro Líquido em US\$/m<sup>3</sup></b>						
Produção única de celulose sem exploração de lenha (ao custo de US\$ 398,00/t)	46,2					
Produção de celulose e lenha (ao custo de US\$ 398,00/t e lenha ao custo 0)	46,6					
Produção de celulose + "clear blocks" + lenha sendo o custo de produção dos "clear blocks" igual a:						
5% o custo da produção de celulose	48,7	50,4	52,1	53,8	55,6	57,3
10% o custo da produção de celulose	48,1	49,8	51,5	53,2	54,9	56,7
20% o custo da produção de celulose	46,9	48,6	50,3	52,0	53,7	55,4
30% o custo da produção de celulose	45,6	47,3	49,1	50,8	52,5	54,2
40% o custo da produção de celulose	44,4	46,1	47,8	49,5	51,2	53,0

**Tabela 10.** Simulações de mercado considerando o preço da celulose em US\$ 700,00/t

(Market simulations considering the price of the cellulose in US\$ 700,00/t)

<b>Preço Celulose US\$/t fixado em:</b>	700	700	700	700	700	700
<b>Preço Lenha US\$/m<sup>3</sup> fixado em:</b>	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
<b>Preço Madeira Serrada US\$/m<sup>3</sup> (tábuas) variando em:</b>	80	100	120	140	160	180
<b>Preço Clear A US\$/m<sup>3</sup> variando em:</b>	150	200	250	300	350	400
<b>Preço Clear B US\$/m<sup>3</sup> variando em: (25% abaixo do Clear A)</b>	113	150	188	225	263	300
<b>Valor Agregado Líquido referente a 1m<sup>3</sup> de madeira em pé ou Lucro Líquido em US\$/m<sup>3</sup></b>						
Produção única de celulose sem exploração de lenha (ao custo de US\$ 398,00/t)	71,0					
Produção de celulose e lenha (ao custo de US\$ 398,00/t e lenha ao custo 0)	71,4					
Produção de celulose + "clear blocks" + lenha sendo o custo de produção dos "clear blocks" igual a:						
5% o custo da produção de celulose	70,4	72,1	73,8	75,5	77,2	79,0
10% o custo da produção de celulose	69,8	71,5	73,2	74,9	76,6	78,3
20% o custo da produção de celulose	68,6	70,3	72,0	73,7	75,4	77,1
30% o custo da produção de celulose	67,3	69,0	70,7	72,5	74,2	75,9
40% o custo da produção de celulose	66,1	67,8	69,5	71,2	72,9	74,6

US\$ 398,00/t refere-se à produção com madeira em toras, e o lucro líquido calculado nas tabelas refere-se à madeira em pé.

Na Tabela 10, com o preço da celulose a US\$ 700,00/t, várias situações demonstraram valores superiores na produção padrão de celu-

lose, porém, desde o ano de 1995 não se observam preços neste patamar e, desde 1996 não se observam preços acima de US\$ 600,00/t (World Pulp Review – RISI, Resource Information System, Inc., 1999).

## CONCLUSÕES

- ✓ Evidenciou-se que o híbrido utilizado passou por intenso processo para melhoria das características mais importantes para a produção de celulose. Existe um grande potencial para seleção e melhoramento de genótipos favoráveis à produção de madeira serrada e derivados como os “clear blocks”;
- ✓ A obtenção de peças de madeira serrada de pequenas dimensões, “clear blocks”, a partir de povoamentos jovens implantados para atender à indústria de celulose, mostrou-se promissora. Para o *Pinus*, este mercado está concretizado e, considerando-se as especificações e exigências do produto, o eucalipto pode suprir parte desta demanda que tende a crescer;
- ✓ Os “clear blocks” representam um material onde é possível a aceitação de árvores de eucalipto de até 10 anos. Com dimensões reduzidas, os defeitos que tradicionalmente ocorrem em tábuas de eucalipto são minorados;
- ✓ A simulação de mercado indicou que a madeira do plantio foi valorizada com a diversificação do uso final. Somente em momentos de alta no valor da celulose o uso múltiplo pode não representar ganhos. Este fato destaca a importância de estudos mais detalhados, envolvendo a área econômica e outros indicadores (como investimentos), não considerados neste estudo;
- ✓ A produção de energia a partir do resíduo da exploração (até 6cm de diâmetro) demonstrou ser perfeitamente viável. A introdução dos galhos, além da parte final do fuste das árvores, não diminuiu o bom potencial de combustão da madeira demonstrado nos ensaios de poder calorífico.

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO é Mestre em Ciências e Tecnologia de Madeiras pela ESALQ/USP, Doutorando em Engenharia de Materiais pela EESC/USP. Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro - LAMEM - USP - São Carlos/SP - 13566-590. E-mail: almcarva@sc.usp.br

MARCIO AUGUSTO RABELO NAHUZ é PhD, Pesquisador do Instituto de Pesquisas

Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/SP - Av. Prof. Almeida Prado, 532 – Cidade Universitária - São Paulo, SP - 05508-901 – E-mail: mnahuz@ipt.br

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro ao trabalho; à Champion Papel e Celulose S.A., pelo fornecimento do material e apoio logístico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACAVE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS RENOVÁVEIS. **Consumo de florestas nativas e plantadas como produtos de madeira sólida no Brasil, 2000**. <http://www.abracave.com.br>
- ANFPC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE. **Relatório estatístico 1993**. São Paulo, 1993. 54p.
- BARRICHELO, L.E.G. Métodos de determinação da densidade básica da madeira em cavacos. **Boletim Informativo IPEF**, v.3, n.9, p.12-14, 1975.
- 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**. Piracicaba, 2000. 129p. Tese (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo).
- 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.

- EUCATEX. **Estudo interno com utilização de biomassa em substituição ao óleo combustível para geração de energia.** Salto, 1996. (não publicado)
- LIMA, D.G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto.** Viçosa, 1996. 80p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- PRADO, A.C. **Diagnóstico e avaliação do setor florestal brasileiro: exploração florestal madeireira.** Brasília: FUNATURA/IBAMA/ITTO, 1995. 114p.
- RAMOS, A.A. Perspectivas qualitativas e econômicas da produção florestal em sucessivas rotações. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais.** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. p.177-189.
- SHIELD, E.D. Plantation grown eucalypts: utilisation for lumber and rotary veneers-primary conversion. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, Piracicaba, 1995. **Anais.** Piracicaba: IPEF / IPT / IUFRO / LCF-ESALQ-USP, 1995. p.133-139.
- SHIMOYAMA, V.R.S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba, 1990. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **A sociedade brasileira e seu patrimônio florestal.** São Paulo, 1990. 20p.
- ZOBEL, B. Wood quality from fast-grown plantations. **Tappi journal**, v.64, n.1, 1981.