

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA APROVEITÁVEL PARA  
CELULOSE EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* spp: Determinação  
de equações para o cálculo do volume de povoamentos de *Eucalyptus* spp\***

Carlos Alberto Ferreira \*\*  
Helladio do Amaral Mello \*\*\*  
Shiguenori Kajiya \*\*\*\*

O. D. C. 524.32/33:861.13:176.1 *Eucalyptus* spp

**SUMMARY**

This paper presents the results for the utilization of "combined variable equations" to the determination of cylindrical volumes of wood with bark in stands of ***Eucalyptus alba*** (urophylla) Reinw and ***Eucalyptus saligna*** Smith, in first regeneration and first regeneration of the cutover plantation.

The most important conclusions obtained were the following:

1 -The determination of the volume (of first regeneration), of ***Eucalyptus alba*** (urophylla), and ***Eucalyptus saligna***, can be made by solving the following equation:

$$Y = 7,7257 + 0,7937 X$$

IN WICH:

Y = is the cylindrical volume bark expressed in cubic meters per hectare.

X= is the combined variable, basal area per hectare multiplied by the average height of the five biggest trees of the sample.

2 - The stand volume of *Eucalyptus alba* (urophylla) and ***Eucalyptus saligna***, in first regeneration of cutover plantation, can be obtained by solving the following equation:

$$Y = 2,5484 + 0,7818 X$$

IN WICH:

Y = is the cylindrical volume with bark, expressed in cubic meters per hectare.

X = is the combined variable, basal area per hectare multiplied by the average height of the five biggest trees of the sample.

3 - The solutions for the expression of wood volume for pulp and paper mill are also presented. Special equations were developed for pulp and paper wood volume of ***Eucalyptus grandis***, ***Eucalyptus saligna*** and ***Eucalyptus urophylla*** plantations.

**I - INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

\* Extraído de trabalho apresentado pelo primeiro autor para a obtenção do título de Mestre, junto à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

\*\* Champion Papel e Celulose S/A

\*\*\* Departamento de Silvicultura da ESALQ - Univ. de São Paulo

\*\*\*\* Empreendimentos Florestal S/A - FLONIBRA

O problema da determinação do volume de povoamentos ou populações florestais preocupa os pesquisadores desde o século passado, quando as florestas artificiais gradativamente foram tomando assento e estas, como um todo, observadas como bens econômicos, passíveis de melhores técnicas de exploração, submetidas a sólidos preceitos biológicos, fisiológicos e econômicos.

No século vinte houve a implantação progressiva das tabelas de rendimento para as estimativas diretas de volume de madeira. Tabelas onde a idade e o índice de qualidade de local funcionam como variáveis independentes; segundo SPURR (1951) fundamentalmente se prestam para estimativas de rendimento e incremento, mas são pouco acuradas para as estimativas de volume médios de povoamentos com densidades populacionais inferiores à média.

A solução da problemática relativa ao volume de madeira, através de equações para volumes individuais, tabelas de rendimento e equações para volumes populacionais, são abordados em um grande número de trabalhos. Entretanto, limitaremos esta revisão bibliográfica ao estudo de soluções que permitem praticidade e economia, o mais possível, em consonância com as possibilidades técnicas, econômicas e humanas, da grande maioria das empresas florestais nacionais.

A análise de precisão e economia dos métodos propostos conduziram ao objetivo fundamental deste trabalho, a obtenção de uma metodologia de campo simples, rápida, econômica e precisa.

### **I.1 - O cálculo da área basal**

De maneira geral, o cálculo da área basal se executa de duas maneiras distintas, uma a partir da média aritmética dos diâmetros, e outra a partir da soma dos quadrados dos diâmetros.

Estudando teoricamente o uso, em trabalhos florestais, da área basal obtida a partir da média aritmética dos diâmetros, GOMES (1965) encontrou uma série de inconvenientes sob o ponto de vista da "teoria da medida". Este método de determinação de área basal conduz sempre a uma tendenciosidade proporcional à soma dos quadrados dos desvios dos diâmetros, e ainda, que a área existente calculada antes de um desbaste, é sempre inferior à soma das áreas retirada e remanescente. Tendo demonstrado também, com auxílio de um exemplo numérico, que em alguns casos, pode-se ter após um desbaste, uma área remanescente, superior à existente antes da sua execução. VEIGA (1970) assinalou discrepâncias devidas ao uso da média aritmética, tanto em populações teóricas, como em amostras geradas, e confirmadas em amostras reais, que contra-indicam sua utilização. Concluiu ser preferível a utilização do método comparado, que envolve cálculos de área seccional a partir da soma dos quadrados dos diâmetros das árvores do povoamento florestal.

### **I.2 - A área basal como parâmetro para a estimativa da densidade dos povoamentos florestais**

A densidade de um povoamento florestal diz respeito ao grau de utilização ou aproveitamento dos fatores de crescimento. Esses fatores são a soma dos componentes edáficos, biológicos e climáticos que atuam sobre o mesmo. Segundo GALVÃO et alii

(1969), existem várias maneiras de estimar-se a densidade dos povoamentos florestais: volume e número de árvores por hectare, proximidade ou porcentagem de área coberta pelas copas e área basal.

A área basal tem a vantagem de ser facilmente determinada, sendo, segundo HUSCH (1963), estreitamente relacionada com o volume, que em suma representa o parâmetro ideal para expressão da densidade, mas que tem em si a desvantagem de precisar ser estimado com o auxílio de mais de um parâmetro, por exemplo, o diâmetro e a altura; e ainda a idade e qualidade do local, que devem ser considerados como variáveis independentes.

Embora a área basal cresça rapidamente com o crescimento dos povoamentos jovens, seus níveis de crescimento decrescem com a idade, e esta se torna relativamente constante para povoamentos maduros, SPURR (1951). É bastante conhecido também, que na ampla gama de densidades de plantio, expressas em número de árvores por unidade de área, encontradas em populações bem manejadas, o crescimento em área basal tende a permanecer constante e em seu nível ótimo, independentemente da densidade do povoamento, SMITH (1962).

Portanto, o que se pode inferir é que para a determinação da densidade de povoamentos florestais, a área basal é até o momento o melhor índice conhecido, tem a vantagem de ser facilmente estimada, e ainda apresentar elevada correlação com o volume.

### **I.3 - A determinação da altura em povoamentos florestais**

As medições diretas de altura das árvores, como é perfeitamente conhecido, são precisas, mas extremamente demoradas e perigosas. Muitos aparelhos foram desenvolvidos para permitirem as medições indiretas, todos basicamente fundamentam-se em relações de triângulo. Entre estes, os mais utilizados nos trabalhos práticos e científicos são os seguintes: Dendrômetro de Weiss, Dendrômetro de Blume-Leiss, Dendrômetro de Haga, Relascópio de espelho de Bitterlich.

ERICKSON (1970) testou instrumentos de diferentes tipos, o Altímetro de Tiren, o Teledendrômetro Universal (U.D.T.), o Altímetro de Suunto e o Dendrômetro de Blume-Leiss. Os dois primeiros tipos testados utilizam tripés para poderem ser operados, enquanto os dois últimos são absolutamente manuais. Os erros observados expressos em termos de desvio padrão e em porcentagem foram os seguintes:

<b>Aparelho</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Porcentagem</b>
Altímetro de Tiren	2,1 dm	1,1%
U. D. T.	3,2 dm	1,7%
Altímetro de Suunto	3,9 dm	2,1%
Blume-Leiss I	3,1 dm	1,6%
Blume-Leiss II	9,1 dm	4,8%

O erro acentuado observado no Blume-Leiss II, segundo o autor, pode ser explicado pelo desenho do aparelho e a suspensão do pêndulo. Seus problemas são acentuados com a utilização em condições climáticas úmidas. Para trabalhos de elevada precisão, como para fins científicos, o autor recomenda a utilização de teodolitos, que têm o inconveniente da necessidade de cálculos demorados, que hoje podem ser resolvidos pela utilização de computadores.

Em nossas condições SIMÕES, et alii (1967) testando os hipsômetros de Blume-Leiss, Haga e Weiss, e a Prancheta Dendrométrica, tomando como termo de comparação às medições diretas obtidas por trena, chegaram às seguintes conclusões:

- o uso dos hipsômetros de Blume-Leiss e de Weiss, pode ser recomendado livremente;
- A Prancheta pode dar bons resultados se manuseada com bastante cuidado;
- O hipsômetro de Haga oferece resultados razoáveis podendo ser usado em casos em que não haja necessidade de muito rigor;
- Todos os aparelhos têm tendência de registrar resultados maiores que a altura real da árvore.

De uma forma geral, sendo tomados os devidos cuidados, os dendrômetros de Blume-Leiss e Weiss, constituem-se em aparelhos de precisão satisfatória. O Dendrômetro de Haga pode fornecer resultados apenas razoáveis, e a Prancheta Dendrométrica, para oferecer bons resultados, necessita ser operada com extremo cuidado. Para mensuração em que se exija precisão elevada deve-se optar pelo uso de teodolitos ou teledendrômetros.

#### **I.4 - A altura das árvores e sua relação com a qualidade de local**

A qualidade de local pode ser definida como a soma dos componentes edáficos, climáticos e biológicos, e suas interações, que definem sua capacidade de suportar e promover o crescimento das árvores, BONILLA (1971).

Segundo HUSCH (1963) define-se pela relação entre a altura da árvore e sua idade, e tem sido utilizado, por muitos anos., na avaliação de qualidade de local para povoamentos equiâneos, de composição pura ou aproximadamente pura. A altura das árvores dominantes e codominantes é utilizada freqüentemente como representativa da altura do povoamento, para trabalhos da mesma natureza. Segundo ainda o mesmo autor existem certas restrições ao problema da forma de escolha das árvores dominantes e codominantes, pois esta depende de decisões subjetivas, e além do mais podem atingir a posição de dominância por alterações ocorridas no povoamento, como por exemplo os desbastes.

#### **I.5 - Equações para a estimativa direta do volume de povoamentos florestais**

Trabalhando com amostras de **Pseudotsuga menziesii** representativas de uma ampla variação de idade, tamanho, classe de qualidade de local e forma, SPURR (1951) procurou correlacionar valores possíveis de serem obtidos através de fotografias aéreas com o volume dos povoamentos. Codificou seus dados de modo a poder efetuar uma análise de regressão múltipla, resolvendo a variável volume, em pés cúbicos, em função de área basal, altura das árvores dominantes e codominantes, idade e índice de qualidade local, como variáveis independentes. As duas primeiras variáveis foram escolhidas por entrarem em equações de volume de povoamentos, e as últimas por serem utilizadas em tabelas de rendimento.

A variável simples mais fortemente associada com o volume foi a área basal. A melhor combinação de duas variáveis no que diz respeito a sua associação com o volume foi o da área basal com a altura. A combinação de idade e qualidade de local, a base para as tabelas normais de rendimento demonstrou-se pouco precisa, com um erro de 20%. Embora isto certamente demonstre que a base estatística das tabelas de volume, para povoamentos, seja mais forte do que das tabelas de rendimento, deve ser salientado, que as análises

realizadas, são baseadas em regressão linear, não tendo o autor executado qualquer teste para curvilinearidade.

A solução de menor erro, englobando três variáveis independentes foi a área basal, altura e idade, combinadas entre si, mas a melhoria, com relação à solução para área basal e altura sozinhos foi muito pequena. Igualmente para as soluções englobando quatro variáveis, não se verificou um aumento sensível de precisão, sobre a melhor solução com três variáveis combinadas. Das dez soluções, a que mais promissora se mostrou, do ponto de vista de estimativa de volume, parece ser a baseada sobre altura e área basal apenas.

A fórmula para resolução do volume em termos de área basal, altura total e o produto da área basal pela altura, é denominada "Fórmula Australiana" por ter sido utilizada pela primeira vez na resolução do volume individual de árvore por STOATE, citado por SPURR (1951), naquele país.

O elevado coeficiente de correlação entre o volume e o produto da área basal pela altura, possibilitou uma simplificação da fórmula Australiana, na qual foram omitidas as variáveis associadas, separadamente, com a área basal e a altura, assim SPURR (1951) denominou esta equação de "equação de variável combinada".

A "equação de variável combinada" foi testada em áreas de regeneração por talhadia por CROMER et alii (1961), comparando-a com a "Equação Australiana", para determinação de volumes de povoamentos, concluindo que a inclusão das variáveis ligadas apenas à área basal e a altura, não levou a resultados significativos, assim sendo, estas logicamente poderiam ser desprezadas.

Em realidade, todas as equações testadas possibilitaram a fixação do volume com boa precisão, a diferença entre a mais precisa, com um desvio padrão da regressão, expresso com percentagem de 5,3%, e a menos precisa, "equação de variável combinada" de 6,1% foi de apenas 0,8% .

Alguns pesquisadores propõem a utilização de equações para a determinação de volumes individuais, sendo estes volumes com e sem casca, e a vários níveis de aproveitamento. VEIGA (1972) trabalhando com uma série de equações clássicas para a resolução desse problema, concluiu que a melhor formulação aritmética não formal foi para o caso de uma variável independente, diâmetro a altura do peito elevado ao quadrado, multiplicado pela altura total, e correspondente à equação de variável combinada. Trabalhos de HEINSDIJK (1972) apresenta uma tabela de volume válida tanto para os povoamentos em regime de alto-fuste, como talhadia, para **Eucalyptus saligna**, **Eucalyptus alba**, **Eucalyptus tereticornis**, **Eucalyptus rostrata**, **Eucalyptus grandis**, **Eucalyptus citriodora** e **Eucalyptus robusta**, baseada na equação:

$$\text{Log } V = b_0 + b_1 \log (\text{C.A.P.}) + b_2 \log H$$

onde C.A.P. significa a circunferência medida à altura do peito, e H a altura total da árvore.

Os parâmetros estimados e a conseqüente equação obtida, para o volume total com casca foi a seguinte:

$$\log V = 5,24057 + 1,866157 \log (\text{C.A.P.}) + 1,02437 \log H$$

Para a correção do fator casca, o autor em pauta obteve a seguinte equação:

$$p = 146,5341 - 1,4891 H + 0,0165 H^2$$

As equações desenvolvidas por estes autores, e de maneira geral as equações para determinação de volumes individuais, requerem a determinação do número de indivíduos por unidade de área, e a medição de todas as alturas de todas as árvores pertinentes às parcelas, se o nosso objetivo for a determinação do volume do povoamento florestal, ou do volume por unidade de área. Requerem, por outro lado, como alternativa, a determinação de relações hipsométricas, se não desejarmos efetuar medições de todas as alturas de todas as árvores, mas isto gera uma insegurança oriunda da extrapolação de uma relação hipsométrica para parcelas e locais diferentes, onde sempre se deverá testar a relação hipsométrica em uso.

## II - MATERIAL E MÉTODOS

### II.1 - Material

Para a elaboração das equações para as estimativas diretas de volume em **Eucalyptus** spp foram coleta das amostras, em populações definidas como talhões, das espécies **Eucalyptus saligna** e **Eucalyptus alba**, nos espaçamentos 2,80 x 1,60 e 3,00 x 2,00, nas idades de 6, 7, 12 e 13 anos, regeneradas por alto fuste. Maiores detalhes das populações amostradas são apresentados no QUADRO I, bem como o número de amostras coletadas para cada talhão.

A amostragem, em áreas de regeneração por talhadia, incluiu uma variação ampla no que concerne a idades, abrangendo as espécies **Eucalyptus alba** e **Eucalyptus saligna**, em idades de 3 até 8 anos, no espaçamento 2,80 x 1,60.

As características das populações amostradas, para áreas em regeneração por talhadia, são apresentadas no QUADRO II.

Para as determinações de diâmetros foi utilizada uma Suta, ou compasso florestal, com precisão de 0,5 cm. As alturas foram obtidas por meio de um Blume-Leiss, seguindo as especificações e recomendações normais do aparelho.

**QUADRO I - Características das populações de Eucalyptus alba e Eucalyptus saligna, em regime de alto-fuste, amostrados para a elaboração das equações de estimativa direta do volume de povoamentos.**

População ou Talhão	Espécie	Espaçamento em m	Idade em anos	Nº de amostras
1º - 1	<b>Eucalyptus alba</b>	3,00 x 2,00	7	4
2º - 2	<b>Eucalyptus alba</b>	3,00 x 2,00	7	4
3º - 28	<b>Eucalyptus saligna</b>	3,00 x 2,00	6	2
4º - 35	<b>Eucalyptus saligna</b>	3,00 x 2,00	6	2
5º - 36	<b>Eucalyptus alba</b>	3,00 x 2,00	6	2
6º - 37	<b>Eucalyptus alba</b>	3,00 x 2,00	7	2
7º - 42	<b>Eucalyptus saligna</b>	3,00 x 2,00	6	2
8º - 107-A	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	13	5
9º - 108	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	13	5
10º - 112	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	13	5
11º - 113	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	12	5
12º - 120	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	12	5
13º - 126	<b>Eucalyptus saligna</b>	2,80 x 1,60	12	5

**QUADRO II - Características das populações de *Eucalyptus alba* e *Eucalyptus saligna* em regime de talhadia, amostrados para a elaboração das equações de estimativa direta de volume de povoamentos.**

População ou Talhão	Espécie	Espaçamento em m	Idade em anos	Nº de amostras
1º - 2	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	3	2
2º - 5	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	3	2
3º - 6	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	4	2
4º - 7	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	3	2
5º - 10	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	4	2
6º - 11	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	8	2
7º - 12	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	4	2
8º - 13	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	4	2
9º - 18	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	5	2
10º - 20	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	5	2
11º - 23	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	5	2
12º - 26	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	7	2
13º - 30	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	7	2
14º - 31	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	6	2
15º - 34	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	6	2
16º - 39	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	6	2
17º - 40	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	8	2
18º - 44	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	8	2
19º - 45	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	8	2
20º - 58	<i>Eucalyptus saligna</i>	2,50 x 1,60	3	2
21º - 60	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	3	2
22º - 62	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	3	2
23º - 69	<i>Eucalyptus alba</i>	2,50 x 1,60	3	2

## II.2 - Métodos

As parcelas com área de 400 m<sup>2</sup> foram casualizadas no interior das populações, com a restrição de distarem pelo menos 25 m do carreador mais próximo, e sua sobrevivência mínima ser de 50 por cento.

Foram tomados todos os diâmetros das árvores do interior da parcela, e determinadas igualmente todas as alturas, de tal forma a possibilitar o cálculo do volume cilíndrico individual, de cada uma das árvores componentes da mesma.

Em seqüência foram identificadas no campo, as árvores dominantes e codominantes e as cinco maiores árvores, sendo as mesmas devidamente demarcadas.

## II.3 - Análise de custos

As metodologias propostas, e constatadas como viáveis para a finalidade deste trabalho, foram analisadas economicamente. Para tanto, apenas as operações de campo foram consideradas. A princípio já se poderia admitir como desnecessária esta análise, pois a variável única testada, ou seja, o tempo necessário para a mensuração das alturas, deveria decrescer em função da diminuição do número de árvores exigidas pela metodologia adotada, e aumentado pela dificuldade em sua escolha. No entanto, visou-se quantificar o custo operacional da metodologia, e este associado à precisão da mesma, pôde nos oferecer

melhores dados, necessários às decisões. A análise de custos se concentrou em áreas de primeira rotação.

### III - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### III.1 - Equações volumétricas para populações em regime de alto-fuste

Embora a amostragem se tenha concentrado em populações com idades próximas e superiores à idade econômica de corte recomendável para as condições do Estado de São Paulo (6-8 anos), ocorreu uma considerável variação nas características principais das amostras. Exemplificando, a área basal desde 12,77 até 25,05 m<sup>2</sup>/ha, e a altura média de 14,44 até 20,46 m.

A equação de variável combinada, área basal e altura média da parcela, mostrou precisão relativamente boa, com coeficiente de determinação de 0,9628, e erro padrão percentual 5,4%. Pode ser verificado pelos resultados e análises resumidas no QUADRO III, que todas as soluções propostas mostraram precisão bastante aceitável. Entretanto, as soluções de maior precisão foram em ordem decrescente, a equação de variável combinada área basal e altura média das cinco maiores árvores, com erro padrão percentual de 4,7% seguida da equação de variável combinada área basal e altura média das dominantes e codominantes, com erro padrão de 4,9%. A equação de variável combinada, área basal e altura média das plantas da parcela, possibilitou a solução do volume cilíndrico, com erro de 5,4%, sendo a menos precisa a solução envolvendo área basal e altura média das árvores dominantes com erro de 7,9%.

A possibilidade de uso da equação envolvendo área basal e altura média das dominantes e codominantes, já havia sido comprovada por SPURR (1951); para volume de **Pseudotsuga menziesii**, **Pinus palustris** e **Pinus taeda**; este trabalho comprova a possibilidade de estender esta solução para **Eucalyptus saligna** e **Eucalyptus alba**.

**QUADRO III - Equações obtidas para as variáveis combinadas, área basal e formas de expressão de altura média, para o cálculo do volume cilíndrico por hectare, a partir de dados obtidos de parcelas de populações de Eucalyptus alba e Eucalyptus saligna em regime de alto-fuste.**

Variáveis combinadas	a	b	r	R <sup>2</sup>	Erro Padrão %
Área basal e altura média da parcela - 1	2,7181	1,1849	0,9812	0,9628	5,4
Área basal e altura média das árvores dominantes e codominantes da parcela - 2	20,3570	0,8108	0,9845	0,9692	4,9
Área basal e altura média das cinco maiores árvores da parcela - 3	7,7257	0,7937	0,9855	0,9712	4,7
Área basal e altura média das árvores dominantes da parcela - 4	31,1374	0,7425	0,9582	0,9181	7,9

Embora seja a equação envolvendo altura média das árvores dominantes e codominantes, de precisão bastante elevada, seu problema principal reside na identificação das árvores, que é feita sempre subjetivamente BONILLA (1971) e SPURR (1951). O problema é mais acentuado para as árvores codominantes, SPURR (1951).

De execução bem mais simples, e sem tantos problemas de identificação no campo, a solução envolvendo apenas a eleição das árvores dominantes, apresenta, no entanto, uma precisão relativamente mais baixa, este fato provavelmente se deva ao pequeno número de árvores, por vezes eleito em determinadas parcelas (2-3 em média).

A equação, que melhor resolução propiciou, foi sem dúvida a envolvendo área basal e altura média das cinco maiores árvores da parcela, o que seria uma variação da equação envolvendo altura média das dominantes e codominantes. Entenda-se por maiores árvores, as mais desenvolvidas em altura, geralmente estas são igualmente as mais desenvolvidas em diâmetro. Esta metodologia mostrou-se bastante simples, a eleição das cinco maiores árvores é uma operação rápida, possibilitando elevado rendimento operacional, erro padrão percentual de apenas 4,7%, e coeficiente de determinação 0,9712.

Dentre todos os aspectos analisados, a última equação abordada foi a que apresentou os melhores resultados, resta, no entanto, analisar os aspectos econômicos dos vários métodos testados. O QUADRO IV resume os resultados da análise de custos realizada, cuja metodologia procurou o mais possível ser fiel às condições de campo. Como se pode verificar, em termos de custo a resolução mais cara é a que envolve a altura média das árvores dominantes e codominantes, o que se pode compreender, devido ao fato da necessidade da eleição das mesmas. Esta metodologia mostrou tendência, de ser mais dispendiosa, para todas as dimensões de parcela.

#### **QUADRO IV - análise de custos envolvidos para a utilização dos métodos de inventário preconizados neste trabalho:**

Método de Inventário	Dispêndio em homens/dia por parcela, nas dimensões de:				Valor Médio
	10 x 10 m	10 x 20 m	20 x 20 m	20 x 30 m	
H.M.	0,23	0,24	0,31	0,35	0,28
H.D. e C. D.	0,24	0,25	0,34	0,35	0,29
H.D.	0,19	0,20	0,27	0,26	0,23
H.5M.	0,18	0,19	0,24	0,24	0,21

- H.M. - altura média da parcela
- H.D. e C.D. - altura média das árvores dominantes e codominantes.
- H.D. - altura média das árvores dominantes.
- H. 5 M - altura média das cinco maiores árvores.

Procurando, portanto, alcançar os objetivos deste trabalho, podemos concluir que de todas as metodologias de cálculo de volume testadas, a que melhor solução possibilitou, tanto do ponto de vista de precisão, quanto de custo operacional, foi a equação de variável combinada, área basal e altura média das cinco maiores árvores da parcela, e sua formulação é a seguinte:

$$Y = 7,7257 + 0,7937 X$$

Y = volume cilíndrico em m<sup>3</sup>/ha

X = variável combinada área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela.

### III.2 - Equações volumétricas para populações em regime de talhadia

Para populações em regime de talhadia, houve a preocupação de amostrar uma gama mais ampla de idades, a área basal das amostras variou desde 6,53 até 21,85 m<sup>2</sup>/ha. No tocante às alturas médias, a variação foi de 7,66 a 15,64 m, sendo que as idades variaram de 3 até 8 anos. Naturalmente os resultados e conclusões aqui apresentados, podem ser aplicados nesses intervalos sem qualquer restrição.

Como pode ser verificado pelo QUADRO V, as equações de variável combinada demonstraram a possibilidade de serem empregadas para a determinação do volume cilíndrico, mas variaram substancialmente com relação à sua precisão.

#### QUADRO V - Equações obtidas para as variáveis combinadas, área basal e formas de expressão de altura média, para o cálculo do volume cilíndrico por hectare a partir de dados obtidos de parcelas de populações de *Eucalyptus alba* e *Eucalyptus saligna* em regime de talhadia.

Variáveis combinadas	â	b	r	R <sup>2</sup>	Erro Padrão Percentual
Área basal e altura média da parcela - (5)	-19,6938	1,5031	0,9681	0,9373	11,1
Área basal e altura média das árvores dominantes e codominantes da parcela - (6)	6,7167	0,8454	0,9905	0,9811	6,1
Área basal e altura média das cinco maiores árvores da parcela - (7)	2,5484	0,7818	0,9940	0,9881	4,8
Área basal e altura média das árvores dominantes da parcela - (8)	3,8055	0,8016	0,9830	0,9663	8,1

A resolução que maior precisão apresentou foi a envolvendo as cinco maiores árvores da parcela, com apenas 4,8% de erro padrão percentual. Lembramos que para o caso de populações em regime de alto-fuste, esta resolução também se mostrou a mais precisa. Podemos salientar ainda a resolução envolvendo a altura média das árvores dominantes e codominantes, cuja precisão expressa em erro padrão percentual atingiu 6,1%. A resolução incluindo altura média das dominantes foi bem menos precisa, só sendo suplantada nesse aspecto, pela envolvendo a altura média das árvores da parcela, cujo erro atingiu 11,1%.

O elevado erro observado para a metodologia envolvendo a altura média das árvores da parcela, mostrou um aspecto surpreendente, tendo em vista que no caso de alto-fuste, seu erro padrão percentual não excedeu 5,4%.

Neste trabalho foi observado que todos os valores da área basal multiplicada por altura média, mostram-se inferior ao volume cilíndrico. Provavelmente a razão para esta subestimativa seja considerar-se, com pesos iguais para a composição do volume, tanto as árvores de diâmetros inferiores quanto às de diâmetros superiores. Na realidade as árvores de maiores diâmetros apresentam geralmente maiores alturas médias, e concorrem em maior grau para composição do volume. Merece ainda ser ressaltado, que a metodologia aqui abordada, é freqüentemente utilizada em lugar de equações volumétricas e de

equações de estimativa direta de volume, mas sem qualquer correção, o que evidentemente condiciona resultados que subestimam, em percentagem muito elevada, o volume real.

As nossas afirmativas são reforçadas pelos resultados obtidos para povoamentos em regime de alto-fuste, onde também se observa o problema, de subestimativa de volume. Neste caso, porém, a equação de regressão possibilitou um ajuste mais preciso.

Tendo em mente o objetivo deste trabalho, podemos concluir, que a metodologia mais apropriada, em função de sua precisão observada, e seu baixo custo, comprovado para áreas em regime de alto-fuste, mas evidentemente de maior significado para áreas de talhadia, é a equação de variável combinada incluindo a altura média das cinco maiores árvores da parcela e área basal por hectare. Sua expressão matemática é a seguinte:

$$Y = 2,5484 + 0,7818X$$

Y = volume cilíndrico em m<sup>3</sup>/ha

X = variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela.

### III.3 - Utilização prática das metodologias propostas

A fim de se testar as metodologias propostas neste trabalho, foram aproveitados talhões que entrariam em programação normal de corte, para suprimento de matéria prima para celulose e papel.

Para o conhecimento da produção real de madeira, foi controlada a entrada na fábrica, onde a mesma é medida nos próprios caminhões. O fato de tomarmos esta medida para as comparações, não quer dizer que a admitamos como o valor verdadeiro, pois evidentemente está também sujeita a erros. No entanto, em realidade foi este o melhor termo de comparação disponível.

Os resultados obtidos, apresentados no QUADRO VI, demonstram que em duas das três populações estudadas a amostragem foi insuficiente, acarretando erros maiores que dez por cento. Entretanto, os erros cometidos, comparando-se as estimativas, com as produções obtidas, foram, em todos os casos, inferior a dez por cento. O maior erro foi constatado para talhões em regime de talhadia e para a metodologia envolvendo o uso de árvores dominantes e codominantes. Como já era esperado, os menores erros foram observados para o método das cinco maiores árvores.

#### QUADRO VI - Utilização de algumas das metodologias propostas, consistindo a produção obtida, em madeira efetivamente colocada no pátio da fábrica, dimensionada em estéreos de madeira sem casca.

População	Regeneração	Metodologia	Produção estimada	Produção obtida	Erro Percentual
T. 30 - 31 e 32					
H.M. Guaçu	Talhadia	H.D. e C.D.	5021,57 ± 636,61	4,603,49	+ 9,0%
T. 8 F.C.	Alto-fuste	H 5M	6099,36 ± 555,96	6.005,76	+ 1,5%
T. 37 H.G.I.	Alto-fuste	H 5M	3179,24 ± 406,03	3.144,01	+ 1,1%

H.D. e C.D. - Equação de variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das árvores dominantes e codominantes.

H. 5M - Equação de variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela.

O objetivo deste trabalho, tornado claro nas primeiras páginas, foi a elaboração de uma metodologia prática, econômica e suficientemente precisa, que possibilitasse uma grande gama de aplicações práticas. Evidentemente, se atentássemos para as correções de volume, visando uma ou outra finalidade para a madeira, limitaríamos a utilização do método. Dessa forma, as correções volumétricas deverão ser estudadas para cada caso particular de aplicação, permanecendo, portanto, o problema em aberto, para futuras pesquisas.

Entretanto, para a finalidade produção de celulose e papel, apresentamos em seqüência um estudo da correção volumétrica, inclusive a adaptação das equações de variável combinada para essa finalidade.

#### **III.4 - A determinação do volume aproveitável para indústrias de celulose e papel**

Para o estudo da correção do volume cilíndrico para níveis de aproveitamento pelas indústrias de celulose e papel, foram abatidas 240 árvores das três espécies mais amplamente utilizadas em nosso meio, casualizadas por ampla gama de variação de diâmetros e alturas, aproveitou-se também a disponibilidade, de material ampliando o estudo para o **Eucalyptus propinqua**.

Calculou-se o volume cilíndrico, o volume real com casca, e o volume real sem casca de todas as árvores, respeitando-se o limite mínimo de aproveitamento diametral (6 cm). Amostras foram geradas, constituindo-se de 10 árvores sorteadas, que foram consideradas como representativas de cem indivíduos pertinentes à população, portanto, a unidade amostral gerada foi equivalente ao volume de mil árvores. As amostras assim obtidas de volume cilíndrico, volume real sem casca, e volume real com casca foram analisadas visando-se à obtenção de regressões, que permitem o cálculo dos volumes reais a partir do volume cilíndrico.

Os resultados obtidos para o cálculo das regressões necessárias para a obtenção do volume real com casca, a partir do volume cilíndrico, são apresentados no Quadro VII. Os resultados obtidos para o volume real sem casca são apresentados no Quadro VIII.

#### **QUADRO VII - Equações obtidas para o cálculo do volume real com casca, a partir do volume cilíndrico, para os níveis de aproveitamento das indústrias de celulose e papel.**

Espécie	Estimativa dos coeficientes		Intervalo de aplicação m <sup>3</sup> /ha	r <sup>2</sup>	r
	â	b			
<b>E. grandis</b>	1,12	0,432	120 a 1.377	0,981	0,991
<b>E. saligna</b>	1,47	0,455	120 a 1.203	0,973	0,990
<b>E. urophylla</b>	2,00	0,449	98 a 2.187	0,987	0,992
<b>E. propinqua</b>	19,32	0,399	112 a 944	0,973	0,990

**QUADRO VIII - Equações obtidas para o cálculo do volume real sem casca, a partir do volume cilíndrico, para os níveis de aproveitamento das indústrias de celulose e papel.**

Espécie	Estimativa dos coeficientes		Intervalo de aplicação m <sup>3</sup> /ha	r <sup>2</sup>	r
	â	b			
<b>E. grandis</b>	1,27	0,365	120 a 1.377	0,977	0,988
<b>E. saligna</b>	1,38	0,386	120 a 1.203	0,970	0,985
<b>E. urophylla</b>	5,71	0,386	98 a 2.187	0,988	0,994
<b>E. propinqua</b>	10,48	0,329	122 a 944	0,960	0,980

**III.5 - Adaptação das equações de variável combinada para determinação do volume real**

Para as determinações dos volumes reais com e sem casca, a partir das equações de variável combinada, obtida para as populações em regime de alto-fuste e talhadia, estas foram adaptadas matematicamente com o uso das equações para cálculo de volumes reais a partir do volume cilíndrico.

Embora as equações desenvolvidas pudessem ter sido testadas para sabermos quais poderiam ser agrupadas e expressas por uma única, não executamos esses testes de homogeneidade, optamos por continuar usando para cada espécie uma equação, embora as estimativas dos parâmetros a e b para as equações desenvolvidas para **Eucalyptus grandis**, **Eucalyptus saligna** e **Eucalyptus urophylla**, possuam valores muito próximos.

**QUADRO IX - Equações de variável combinada, para expressão do volume real com casca, para os regimes de alto fuste e talhadia para as principais espécies cultivadas no Sudeste do Brasil.**

Espécie	Regime de regeneração	Estimativa para os coeficientes	
		â	b
<b>E. grandis</b>	Alto fuste	4,4575	0,3429
	Talhadia	2,2209	0,3377
<b>E. saligna</b>	Alto fuste	4,9851	0,3611
	Talhadia	2,6295	0,3557
<b>E. urophylla</b> (alba)	Alto fuste	5,4688	0,3564
	Talhadia	3,1442	0,3510

**QUADRO IX - Equações de variável combinada, para expressão do volume real sem casca, para os regimes de alto fuste e talhadia para as principais espécies cultivadas no Sudeste do Brasil.**

Espécie	Regime de regeneração	Estimativa para os coeficientes	
		â	b
<b>E. grandis</b>	Alto fuste	4,0900	0,2897
	Talhadia	2,2002	0,2853
<b>E. saligna</b>	Alto fuste	4,3621	0,3064
	Talhadia	2,3637	0,3018
<b>E. urophylla</b> (alba)	Alto fuste	8,6921	0,3064
	Talhadia	6,6937	0,3018

As equações obtidas expressando o volume real com casca, tendo por base os valores para área basal e altura média das cinco maiores árvores da parcela, são apresentadas nos QUADROS IX e X.

A resolução de volumes reais a partir da variável combinada área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores, não foi estendida para o **Eucalyptus propinqua**, pois esta espécie não foi amostrada para o cálculo das mesmas.

### III - 5.1 - O cálculo do volume comercial

Em nossas condições a madeira é comercializada na forma de pilhas, recebendo a denominação de "estéreo". Aqui reside uma das dificuldades da avaliação da produção dos povoamentos, pois o fator de empilhamento que quantifica o acréscimo volumétrico em função da execução da pilha, sofre elevadas variações, em função principalmente da altura, mas também, do diâmetro das árvores e ainda dos cuidados e experiência dos executores do corte. A respeito desse problema há um estudo de HEINSDIJK (1972), que acreditamos ser o trabalho mais bem elaborado a respeito, e ainda constatamos em condições de campo, valores bastante próximos, aos apresentados por esse autor.

Em resumo para a determinação do volume comercial, será suficiente utilizar-se a equação de variável combinada para a espécie em questão, exprimindo o volume real com ou sem casca, e multiplicá-lo pelo fator empilhamento apropriado.

Uma pequena ressalva precisa ser feita quando do uso destes fatores, de empilhamento, para madeira destinada à celulose e papel, onde há necessidade, por questões industriais, do rachamento de toretes que atinjam diâmetros superiores a trinta centímetros.

De uma forma geral, no entanto, o volume comercial aproveitável para celulose, estimado a partir do volume cilíndrico, pode ser calculado pela multiplicação deste, por um fator único englobando todas as correções, inclusive o fator empilhamento. Este fator gira ao redor de 0,70, e tem sido comprovado em uma série bastante grande de parcelas e áreas inventariadas, e já cortadas. Portanto de forma prática, simples e precisa, o volume comercial sem casca pode ser estimado simplesmente pela multiplicação do volume cilíndrico por 0,70.

### III.6 - Sumário e conclusões

Este trabalho relata os resultados obtidos para a tentativa do estabelecimento de equações para o cálculo do volume cilíndrico de povoamentos florestais.

Fundamentalmente foram testadas "equações de variáveis combinadas", sendo estas formadas pelo produto da área basal, por diferentes estimativas de altura, a saber: altura média de todas as árvores da parcela, altura média das árvores dominantes e codominantes, altura média das dominantes e altura média das cinco maiores árvores da parcela. O uso destas equações foi testado em populações regeneradas por alto-fuste em idades de 6, 7, 12 e 13 anos, e em populações regeneradas por talhadia em idades de 3, 4, 5, 6, 7 e 8 anos, em ambos os casos das espécies **Eucalyptus alba** Reinw e **Eucalyptus saligna** Smith, originários de sementes de Rio Claro.

Tanto para populações em regime de alto-fuste, quando populações em regime de talhadia, os autores chegaram às seguintes conclusões:

1 - todas as soluções propostas apresentaram precisão bastante aceitável;

2 - em ordem decrescente as equações de variável combinada que melhores resultados apresentaram foram:

a - equação de variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores;

b - equação de variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das árvores dominantes e codominantes da parcela.

3 - do ponto de vista econômico, levando-se em conta apenas as operações de campo, a melhor resolução testada foi a equação de variável combinada, área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela;

4 - Em resumo, levando-se em consideração aspectos, de precisão e custo, a metodologia condicionando o uso da equação de variável combinada, área basal por hectare e altura média das cinco maiores árvores da parcela, mostrou-se a mais recomendável.

5 - A determinação do volume cilíndrico de povoamentos de **Eucalyptus alba** e **Eucalyptus saligna**, para populações em alto-fuste, pode portanto ser obtido através da equação:

$$Y = 7,7257 + 0,7937 X$$

Y = volume cilíndrico em m<sup>3</sup>/ha.

X= variável combinada área basal por hectare multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela.

6 - Para populações em regime de talhadia, a obtenção do volume cilíndrico resume-se à resolução da seguinte equação:

$$Y = 2,5484 + 0,7818 X$$

Y = volume cilíndrico em m<sup>3</sup>/ha

X = variável combinada área basal multiplicada pela altura média das cinco maiores árvores da parcela.

7 - A utilização desta metodologia, para o caso de populações em regeneração por alto-fuste, possibilitou um decréscimo no custo das operações de campo, da ordem de 22%, utilizando-se parcelas de 400 m<sup>2</sup>.

8 - As estimativas de volume cilíndrico, baseadas em estimativas de área basal e altura média, amplamente empregadas em trabalhos práticos de inventário em nosso meio, conduzem a substanciais sub-estimativas do mesmo.

Este trabalho apresenta ainda estudos de correção de volume cilíndrico, para níveis de aproveitamento para indústrias de celulose e papel, utilizáveis para as espécies **Eucalyptus grandis**, **Eucalyptus saligna** e **Eucalyptus urophylla**.

## BIBLIOGRAFIA

01 - BONILLA, J. A. - La influencia dei suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas. **IPEF**, Piracicaba, (2/3): 79-92, 1971.

- 02 - CROMER, D.A.N. et alii - The development of a yield table for **Eucalyptus obliqua** regrowth in Southern Tasmania. São Paulo, Conf. Mundial do Eucalípto, 2. p. 1073-84.
- 03 - ERICHSON, H. - **On measuring errors in tree height determination with different altimeters**. Estocolmo, Estoc. Coll. Of For., 1970. p.38-42.
- 04 - GALVAO, A.P.M. et alii - **Dendrometria e inventários florestais: texto para aulas de silvicultura**. Piracicaba, ESALQ-USP, 1969. 73 p.
- 05 - GOMES, F. P. - Inconvenientes do uso do valor médio do diâmetro para determinação da área basal. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, (22): 111-6, 1965.
- 06 - HEINSDJK, D. - **Forestry in Southern Brazil**. Washington, For. Serv., For. Inv., 1972. 72 p.
- 07 - HUSCH, B. - **Forest mensuration and statistics**. New York, The Ronald Press, 1963. 474 p.
- 08 - SIMÕES, J. W.; MELW, H. do A. & BARBIN, D. - Eficiência dos aparelhos e influência do operador na medição de altura total das árvores. **O solo**, Piracicaba, **59(2)**: 57-63, 1967.
- 09 - SMITH, D. M. - **The practice of silviculture**. New York, John Wiley and Sons, 1962. 578 p.
- 10 - SPURR, S. H. - **Forest inventory**. New York, The Ronald Press Company, 1951. 476p.
- 11 - VEIGA, R. A. A. - **Equações volumétricas para Eucalyptus saligna Smith, em ocasião de primeiro corte**. Botucatu, F.C.M.B.B., 1972. 172 p.
- 12 - VEIGA, R. A. A. - **Métodos de determinação de área basal em povoamentos florestais**. Botucatu, F.C.M.B.B., 1970. 119 p.

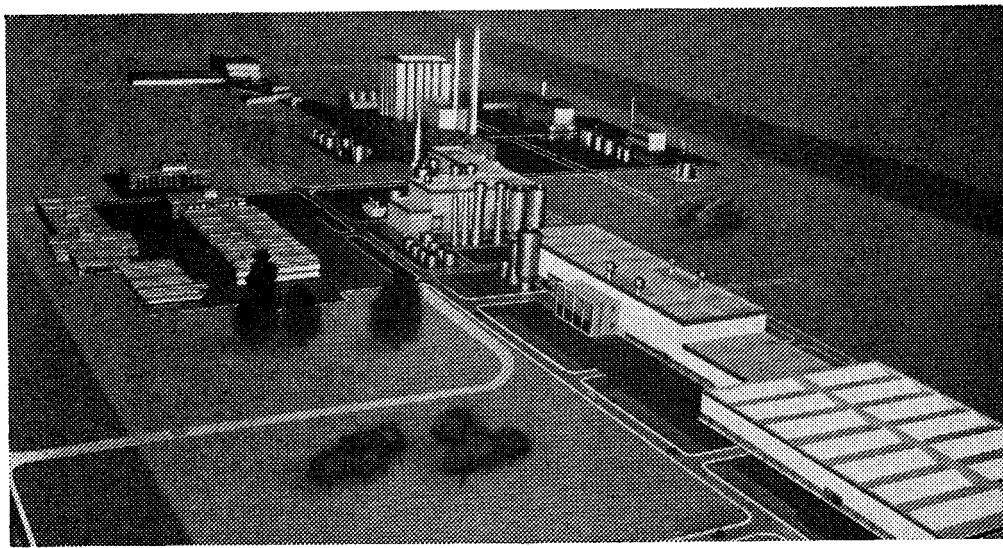
# Boa notícia para o Brasil: a mais moderna fábrica de celulose do mundo está ficando pronta.

Cada vez mais avançam as obras do complexo industrial da ARACRUZ no Espírito Santo. Está se aproximando o dia em que o Brasil vai poder exportar e consumir mais 400 mil toneladas/ano de celulose branqueada de eucalipto e ganhar, no mínimo, 180 milhões de dólares em divisas. As estruturas da fábrica da ARACRUZ estão subindo. Rigorosamente dentro de seu cronograma.

Mais de 2.500 funcionários do GRUPO ARACRUZ dão tudo de si para a implantação das

florestas e supervisão de um projeto integrado, que compreende floresta, indústria, porto e bairro residencial. O intenso ritmo de trabalho e entusiasmo começou exatamente há um ano, com a assinatura do contrato de financiamento e participação entre o BNDE e a ARACRUZ, o maior até então firmado com uma empresa do setor privado.

A ARACRUZ, seus 450 acionistas e o Brasil estão de Parabéns. Estamos todos um ano mais próximos dos 180 milhões de dólares em divisas.



1º aniversário do contrato de financiamento com o BNDE e início das obras da



**ARACRUZ**  
CELULOSE S.A.

# Comp. Agrícola e Industrial CÍCERO PRADO

## PAPÉIS — CELULOSE

Papéis: Cristalite — Granado — Flor Post — Seda  
Kraft — Monolúcido

Cartolinas: Duplex Cromo — Kraft para Lixa

## PAPÉIS ESPECIAIS PARA CARTONAGENS CELULOSE DE EUCALIPTO

### S E D E:

AVENIDA RIO BRANCO, 1675 — SÃO PAULO  
ENDEREÇO TELEGRÁFICO: «CICERPRADO»  
CAIXA POSTAL, 7727

### F Á B R I C A :

FAZENDA CORUPUTUBA — PINDAMONHANGABA  
TELEFONES: 2641 — 2642 — 2643 — EST. S. PAULO

produtos

**m**adeirit

— mais qualidade a serviço da construção

**FORMAS  
PARA CONCRETO**

Moldagem perfeita.  
Máxima economia.  
Amplio reaproveitamento.

**LAMBRIS  
DE MADEIRA**

Lâminas de madeiras  
decorativas coladas sobre  
tela e aplicáveis  
sobre qualquer superfície.

**PORTAS MAIS  
FUNCIONAIS**

Maciças ou Semi-ocas  
(de Six-Cel).

**TELHAS  
DE GRANDE  
RESISTÊNCIA**

Com ou sem revestimento  
de alumínio.

E também: TAPUMES LISOS OU ONDULADOS.  
COMPENSADO NAVAL.  
COMPENSADO INDUSTRIAL.

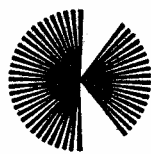
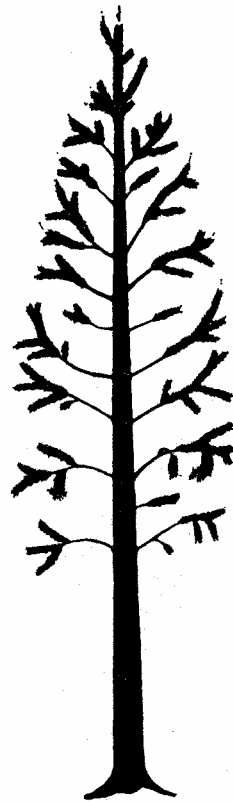
INDÚSTRIAS  
**m**adeirit S.A.

Rua Xavier de Toledo, 264 - 10.<sup>º</sup>  
Tel.: 37-0561, End. Telegr: "DEIRIT", São Paulo

# SEMENTES SELECIONADAS!

PINUS taeda e PINUS elliottii

A BASE DE UM  
REFLORESTAMENTO  
BEM SUCEDIDO



Departamento Florestal  
Klabin do Paraná

ENDEREÇO: Logoa. Monte Alegre, Estado do Paraná  
Aceita-se pedidos através dos escritórios:  
Rio-Gr: Av. Rio Branco, 81-11º Andar - Caixa Postal, 1622-tel. 223-5870  
São Paulo: Rua Formosa, 367-18º Andar - Caixa Postal, 524-tel. 37-7101/239-1774  
Curitiba: Rua 15 de Novembro, 556-3º Andar tel. 22-5373/23-5399