

MÉTODO DAS QUATRO ÁRVORES PARA ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS
EM PLANTIOS FLORESTAIS
(The 4-tree method for volume estimation in planted forests)

José Antônio Aleixo da Silva^{*}
Robert L Bailey^{**}
Isabelle Maria J. Meunier^{***}

ABSTRACT

A new variable-plot-size method for plantation inventories, called the 4-tree method, was compared with 600 m² plots used in the National inventory of Brazil (Northeast) and found to be over 70% more efficient in estimating volumes. The new method requires only four trees to be measured per plot; other trees in another plot with variable area counted as present or absent to provide good estimates of the number of surviving trees and volume per plot.

KEY-WORDS: inventory, method, volume, *Eucalyptus* spp, *Pinus* spp.

RESUMO

Um novo método para a definição de parcelas com tamanho variável para inventários florestais, denominado método das quatro árvores, foi comparado com o método tradicional utilizado no Inventário Florestal Nacional (ao nível de Nordeste do Brasil) e que fez uso de parcelas com 600 m². O método das quatro árvores foi mais que 70% eficiente que o método tradicional. O método das quatro árvores requer que somente quatro árvores sejam medidas em cada parcela; outras árvores, em outra parcela com área igualmente variável, são contadas como presentes ou ausentes, a fim de permitir a obtenção de boas estimativas do volume e do número de árvores existentes por parcela.

PALAVRAS-CHAVE: inventário, método, volume, *Eucalyptus* spp, *Pinus* spp.

1. INTRODUÇÃO

Em inventários florestais, para qualquer sistema de amostragem utilizado, o tamanho e a forma da parcela têm considerável influência nos custos e na precisão. O melhor tamanho e forma de parcela é aquele que produz alto grau de exatidão, com custos reduzidos (FREESE 1962 e PRODAN 1968).

Muitos autores têm publicado trabalhos referentes ao tamanho ideal de parcelas. Frequentemente, pequenas parcelas são mais eficientes que parcelas grandes, para uma determinada intensidade amostral, existindo tendência de aumento de precisão, desde que o número de parcelas independentes seja elevado (HUST et al. 1972). Parcelas menores podem ter um grande número de árvores de

^{*} Eng. Agrônomo, M.Sc., Professor-Adjunto do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

^{**} Eng. Florestal, Ph.D, Professor da School of Forest Resources, University of Georgia.

^{***} Eng^a Florestal, Professora Auxiliar de Ensino do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

bordadura, quando comparadas com parcelas de maior tamanho, considerando-se a mesma intensidade amostral, o que pode produzir erros sistemáticos, embora um grande número de pequenas parcelas geralmente represente melhor a variação de uma população, do que um pequeno número de grandes parcelas (PRODAN 1968). BHATTACHARYYA (1977) concluiu que o aumento do número de parcelas acarreta custos e maior consumo de tempo, tanto nas operações de campo como no processamento de dados. FERREIRA (1976), estimando o volume de madeira aproveitável para celulose, em povoamentos de *Eucalyptus* spp., concluiu que os custos relativos das parcelas tendem a decrescer em função do aumento da área da parcela, muito embora não se tenha verificado diferença significativa entre os custos relativos das parcelas com 400 m² (20 m x 20 m) e das parcelas com 600 m² (20 m x 30 m). O mesmo autor concluiu que, devido ao menor número de árvores a serem medidas, é mais aconselhável trabalhar-se com parcelas de 400 m². O coeficiente de variação decresceu significativamente com o aumento do tamanho unitário da parcela, no intervalo de 200 a 600 m², tanto para áreas sob regime de alto-fuste, como talhadia. NYSSONEN (1966), comparando diversos tamanhos de parcelas, e levando em consideração o tempo de mensuração e variação amostral, concluiu que parcelas com área em torno de 300 m² possibilitam a obtenção de maior eficiência. Trabalho realizado pelo IBDF/FUPEF (1968), na determinação da produção volumétrica de eucaliptos e pinus, nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, onde se utilizou o sistema de amostragem estratificada, mostra adoção de parcelas com área de 600 m² (20 m x 30 m). Nos Estados Unidos da América, para florestas próximas ou na idade de rotação, usam-se, comumente, parcelas com áreas entre 0,20 a 0,25 acres, correspondentes a 800 – 1.000m² (HUSH et al. 1972).

No que se refere à forma da parcela, KULOW (1966) conclui que esta não afeta a magnitude do erro de amostragem. MACHADO & ALBERTINI (1973), comparando quatro sistemas de amostragem em uma mata tropical secundária, mostram que o uso do prisma em parcelas circulares de áreas variáveis resultou em uma eficiência relativa de 225,3%, na estimativa do volume por hectare, quando comparado com o método de medição completa, levando-se em consideração o erro de amostragem e o tempo médio de medição de parcelas. SILVA (1977), estudando tamanhos e formas de parcelas em povoamentos de *Eucalyptus alba*, plantados no espaçamento 2,0 m x 2,5 m, aos seis anos de idade, concluiu que parcelas com áreas de 250 m² (2,5 m x 100 m), englobando mais ou menos 50 árvores, mostraram-se mais eficientes que as demais. Entretanto, o referido autor não desconsidera os bons resultados no Método de Bitterlich como fator de área basal $K = 1$, que foi prejudicado pelo não cumprimento da restrição do erro de amostragem ser inferior a 10%.

HUSH (1971) cita que, para inventários florestais, a parcela deve conter em torno de 20 árvores mensuráveis, sendo que o tamanho e a forma da parcela devem ser uma função das condições florestais. Segundo LOETSCH et al. (1973), a melhor forma de uma parcela é aquela que, para uma mesma área, possua menor perímetro. Teoricamente, o hexágono é a melhor forma, mas apresenta a desvantagem de ser muito difícil sua delimitação dentro do povoamento florestal. Embora parcelas circulares sejam as melhores depois das hexagonais, elas se tornam complicadas, quando se utilizam árvores de bordadura. Os mesmos autores acham que a redução do coeficiente de variação deve ser um fator decisivo na determinação do tamanho e da forma da parcela. Em análise do decréscimo do coeficiente de variação, FEDERER (1955) cita o método da máxima curvatura para determinar o melhor tamanho da parcela. Neste método, elabora-se um gráfico em que seja possível observar a relação entre os valores para o coeficiente de variação, em função dos respectivos tamanhos das parcelas. No ponto em que um aumento da

parcela não produz decréscimo do coeficiente de variação, localiza-se o ponto de máxima curvatura, que determina o tamanho ótimo da parcela. A limitação deste método é não considerar custos de medição.

Outro procedimento para determinação do tamanho ideal da parcela, e baseado no método da máxima curvatura, é o método da regressão múltipla (LUGO 1977). Este método produz informações sobre a melhor forma e tamanho da parcela, usando o modelo seguinte:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2$$

onde,

Y = coeficiente de variação das parcelas com X_1 linhas e X_2 colunas;

X_1 = número de linhas;

X_2 = número de colunas; e

$b_0, b_1, \dots, b_5$ = coeficientes da regressão.

O ponto de máxima curvatura localiza-se onde as derivadas parciais são iguais a (-1), sendo que, após resolvido o sistema de equações resultantes, X_1 e X_2 indicarão o tamanho e forma ideais da parcela. Neste método, também não são considerados os custos de medição. ALDER (1980) indica que, para florestas homogêneas, parcelas retangulares ou circulares devem possuir área variando entre 400 e 800 m².

Com relação à escolha de um valor ótimo para o fator de área basal (K) a ser usado em povoamentos, muitos trabalhos têm sido realizados, mas uma metodologia específica que satisfaça diferentes condições florestais não foi apresentada. Neste trabalho, procurou-se desenvolver uma metodologia que pudesse proporcionar bons resultados. No geral, são usados valores de K previamente estabelecidos no planejamento do inventário. Segundo WIAAT et al. (1984), instrumentos com K = 10 pés quadrados por acre são geralmente usados no leste dos Estados Unidos. ZEIDE & TROXEL (1979) citam que pequenos valores de K tendem a subestimar a área basal por hectare (G/ha), devido a árvores ausentes, densidade populacional, erros de contagem e árvores de bordadura. Ainda, no referido trabalho, os autores concluem que valores de K entre 20 e 40 pés quadrados por acre devem ser usados, no leste dos Estados Unidos, ao invés de K = 10, comumente usado. HOUTTÉ (1984) recomendou a utilização do valor K = 4 m²/ha, para populações com G/ha igual ou superior a 40 m²; K = 2, para populações com G/ha entre 20 e 40 m²; e K = 1, para populações com G/ha inferior a 20 m². Em populações com G/ha superiores a 60 m², o valor de K deve ser escolhido de maneira tal que proporcione a contagem de dez a quinze árvores por ponto de amostragem.

Com relação às estimativas volumétricas de povoamentos, em função de um reduzido número de árvores, GOMES (1957) apresentou os métodos de Hossfeld, Draudt, Ulrich e Harting, que são baseados no uso de uma árvore modelo. Como em qualquer desses métodos se faz necessário o cálculo da altura média do povoamento, bem como de um valor para o fator de forma médio respectivo, o que não é fácil de se obter, tais métodos são raramente utilizados.

YONG & KUNG (1983) desenvolveram um novo procedimento para estimar o volume de povoamentos, usando o sistema de dupla amostragem, onde, na primeira etapa, 100 árvores são classificadas e, na segunda etapa, somente quatro árvores.

Este procedimento produz boas estimativas do volume individual de árvores.

Como se pode notar, a redução do tamanho da parcela e dos custos de amostragem, sem significativa perda de precisão, é um problema sobre o qual muitos pesquisadores têm trabalhado. Baseando-se no fato de que, geralmente, existe alta correlação entre os DAPs e o volume do povoamento, principalmente se este é homogêneo e equiâneo, desenvolveu-se uma metodologia para a redução do tamanho da parcela e indicação do cálculo do fator de área basal (K) para povoamentos, trabalhando-se basicamente com quatro árvores centrais e o método de Bitterlich, na estimativa do volume por unidade de área.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados usados neste trabalho são provenientes do Inventário Florestal Nacional do Brasil, Região Nordeste, mais precisamente do Estado da Bahia (PERNAMBUCO 1981). Parcelas com área de 600 m² (20 m x 30 m) foram consideradas como padrão para comparação com o método das quatro árvores. Foram consideradas 52 parcelas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e 52 parcelas de *Eucalyptus* spp. (Apêndice 1). Em cada parcela de 600 m², as 20 primeiras árvores, as seis árvores dominantes da parcela e todas as árvores de bordadura foram mensuradas em suas alturas e DAPs. Nas outras árvores das parcelas, foram medidos os DAPs, sendo que as alturas e os volumes foram estimados através de tabelas hipsométricas e volumétricas, especialmente construídas para a região considerada.

O procedimento envolvido no método das quatro árvores é descrito como segue:

a) casualizam-se os pontos amostrais na população. Para este trabalho, consideram-se os pontos centrais das parcelas de 600 m²;

b) localizam-se as quatro árvores adjacentes a este ponto. Se não existirem as quatro árvores devido ao corte ou à mortalidade, o observador deve mover-se, ao acaso, para um ponto próximo onde existam quatro árvores;

c) mensuram-se os DAPs das quatro árvores e calcula-se a área transversal média (g) para os quatro DAPs;

d) multiplica-se g pelo número de árvores/ha e obtém-se uma estimativa de G/ha. O número de árvores/ha é teoricamente fácil de ser estimado pelo espaçamento da população. Se o observador notar a ausência de muitas árvores, ele poderá estimar um percentual de árvores ausentes e deduzir este número do total de árvores/ha;

e) com o valor de G/ha, o observador, utilizando o procedimento proposto por HOUTÉ (1984), seleciona o valor ideal de K a ser usado neste ponto de amostragem. Com este procedimento, o valor de K a ser utilizado é função das árvores presentes no local e não de um valor previamente determinado;

f) baseado no valor de K, determina-se o raio de uma parcela como função do maior DAP observado nas quatro árvores. Por exemplo, se K = 1, o DAP (em metros) deve ser multiplicado por 50; para K = 2, o fator de multiplicação é 35,35; e para K = 4, o fator é 25. Para quaisquer valores de K, o raio da parcela pode ser calculado pelo procedimento usado em BITTERLICH (1976);

g) multiplicando-se o raio por 2, obtém-se um lado da nova parcela, neste caso, quadrada e com seu centro coincidindo com o ponto central das quatro árvores. A forma quadrada foi considerada por ser fácil de delinear quando comparada com parcelas de forma circular. Mas isto não impede que outras formas de parcelas sejam usadas, pois, conhecendo o raio da parcela, facilmente obtém-se a área total da mesma e sua forma pode ser variada. Nesta nova parcela, que é maior que a

composta por quatro árvores, faz-se somente a contagem do número de árvores ausentes (mortalidade ou corte), sendo que, mesmo árvores com DAPs abaixo do limite considerado como mínimo no inventário devem ser consideradas como árvores presentes;

h) com o número de árvores ausentes nesta nova parcela e com o espaçamento do povoamento, estima-se o número de árvores presentes por hectare;

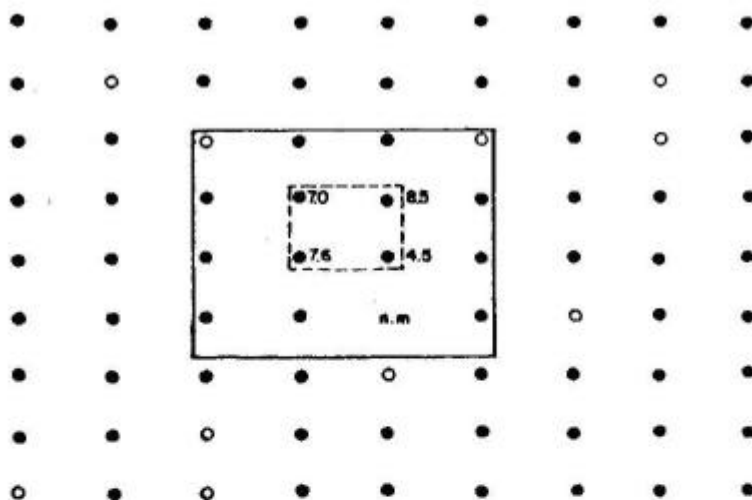
i) estimam-se ou determinam-se os volumes das quatro árvores da parcela central. Neste trabalho, os volumes das quatro árvores foram estimados pelas mesmas tabelas volumétricas usadas na parcela de 600 m²; e

j) com o número de árvores remanescentes por unidade de área e o volume médio das quatro árvores, obtém-se o volume total por unidade de área.

Todos os cálculos empregados neste procedimento podem ser feitos sem dificuldades, com qualquer calculadora de bolso. Para facilidade e rapidez de trabalho, poder-se-á construir tabelas de dupla entrada, nas quais as áreas das parcelas, onde serão contadas árvores ausentes, podem ser calculadas previamente, e em função dos valores de DAPs e dos fatores multiplicativos dos Ks a serem usados.

Os resultados obtidos para as parcelas de 600 m² (VREAL) e para o método das quatro árvores (V4ARV), para eucaliptus e pinus, estão presentes nos Apêndices 2 e 3.

A título de exemplo, considerem-se os passos seguidos para a estimativa do volume na observação 22, parcela 42, para pinus (Figura 1):



- árvore mensurável (measurable tree)
- espaço sem árvore (mortalidade ou corte)
(spacing without any tree, due to mortality or cut)
- n.m. árvore não mensurável (DAP menor que 4,5 cm)
(non-measurable tree, DBH less than 4.5 cm)
- parcela com quatro árvores (plot with four trees)
- parcela para contagem de árvores (plot for the counting of trees)

FIGURA 1. Corresponde à observação 22, parcela 42, espaçamento 2,0 x 3,0 m. O volume mensurado na parcela de 600 m² foi igual a 1,1146 m³.
(Corresponds to observation number 22, plot number 42, spacing, 2,00 x 3,00 m. Measured volume for this plot was equal to 1,1146 m³).

- a) alocação do ponto central da parcela;
- b) as medidas dos DAPs para as quatro árvores foram 7,0; 7,6; 4,5 e 8,5 cm, respectivamente;
- c) a média dos DAPs foi 6,9 cm, proporcionando um $g = 0,0037 \text{ m}^2$;
- d) para $G/ha = 6,0 \text{ m}^2$, o valor de K deve ser 1;
- e) para obter o valor do raio da nova parcela, multiplica-se 8,5 cm (maior DAP das quatro árvores) por 50, obtendo-se 4,25 m;
- f) então, a nova parcela possui um lado de 8,5 m ($4,25 \times 2,00$). Na parcela quadrada de lado 8,5 m, existem duas árvores ausentes. Assim, se em 72,25 m² ($8,50 \text{ m} \times 8,50 \text{ m}$) existem duas árvores ausentes, em 600 m² deverão existir 17 árvores ausentes;
- g) o volume das quatro árvores centrais foi 0,0516 m³, com um volume médio de 0,0129 m³ por árvore;
- h) para 17 árvores ausentes em 600 m², teoricamente devem existir 83 árvores remanescentes, no espaçamento 2,00 m x 3,00 m. Multiplicando-se 0,0129 m³ por 83, obtém-se um volume de 1,0707 m³/600 m², pelo método das quatro árvores. O

volume estimado pela parcela de 600 m², onde se fizeram estimativas volumétricas individuais de todas as árvores, foi 1,1146 m³.

Para comparação dos volumes estimados pelo método das quatro árvores e o método tradicional (parcelas de 600 m²), três tipos de análises foram realizados:

1) análise de regressão linear, com $Y = V_{REAL}$ e $X = V_{4ARV}$, tanto para *Pinus* spp. como para *Eucalyptus* spp. Subdivisão por espécies e empresas florestais também foram estudadas;

2) teste t para amostras parelhadas, com $Y = V_{REAL} - V_{4ARV}$ (SNEDECOR e COCHRAN 1980); e

3) análise gráfica dos resíduos.

Todas as análises e gráficos foram feitos utilizando-se o sistema SAS (Statistical Analysis System) (SAS INSTITUTE 1981 e 1982).

3. RESULTADOS

Os resultados das análises de regressões para *Pinus* spp. (Tabela 1) mostram que o método das quatro árvores está altamente correlacionado com o método tradicional (parcelas de 600 m²). Quanto mais homogêneas forem as populações, melhores serão as estimativas. Diferenças foram encontradas entre plantações da Openflora Reflorestadora e Torras do Brasil S/A (Tabela 1).

TABELA 1. Análise de regressão linear para *Pinus* spp.
(Linear regression analysis for *Pinus* spp.)

Classe (Class)	SQT (Total SS)	SQR (Reg SS)	QMR (Res MS)	F	N	r ²
Geral	37,26428266	33,08471307	0,08359139	395,79	52	0,8878
Open	23,58276094	22,09771028	0,07816056	282,72	21	0,9370
Torras	8,62734972	7,04474157	0,05451269	129,09	31	0,8166

- Geral = Análise geral com todos dados agrupados.
(Overall analysis with all data).
- Open = Dados da Openflora Reflorestadora aos quatro anos de idade.
(Data collected at Openflora, age 4 years).
- Torras = Dados da Torras do Brasil S/A, com idade entre três e quatro anos de idade.
(Data collected at Torras, age between 3 and 4 years).
- SQT = Soma de quadrados totais corrigida.
(Total SS, Total corrected sum of squares).
- SQR = Soma dos quadrados devido à regressão.
(Reg SS, Regression sum of squares).
- QMR = Quadrados médios do resíduo.
(Res MS, Residual Mean Square).
- F = Valor de F calculado.
(Calculated F value).
- N = Número de parcelas utilizadas.
(Number of plots).
- r² = Coeficiente de determinação.
(Coefficient of determination).

A Figura 2 mostra as relações entre o volume estimado nas parcelas de 600 m² e pelo método das quatro árvores, através do gráfico para a regressão linear, com limite de confiança de 95% de probabilidade.

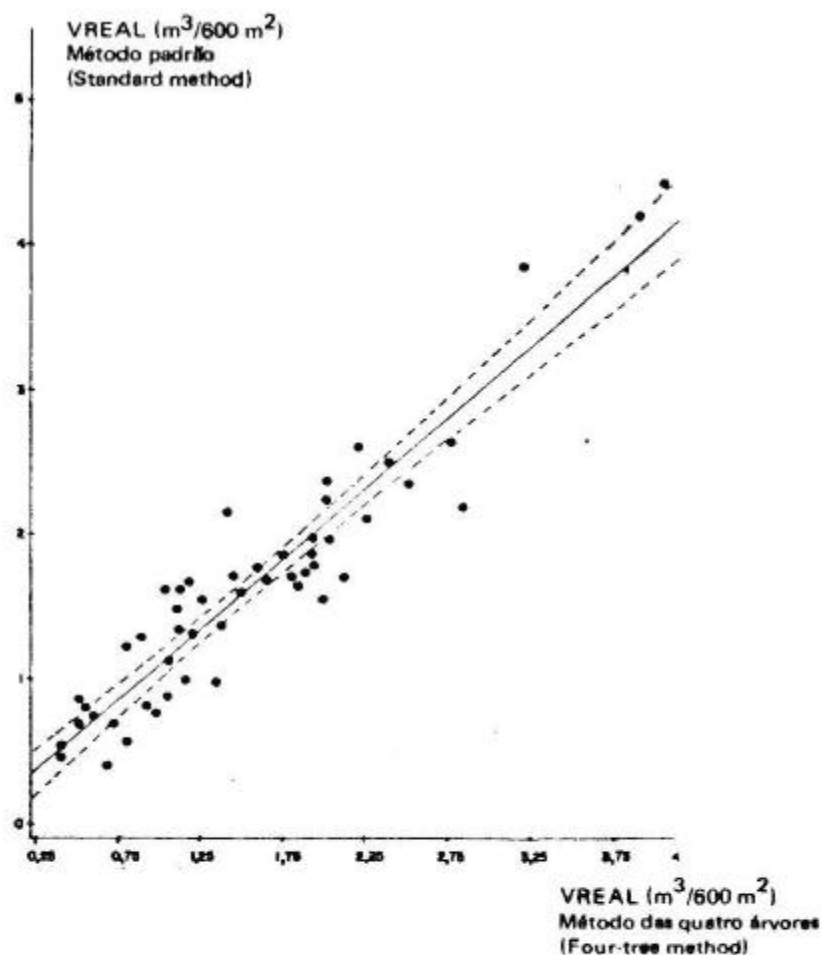


FIGURA 2. Distribuição do volume (m³/600 m²) nas parcelas de 600 m² em função do volume estimado pelo método das quatro árvores, para *Pinus* spp.
(Distribution of the volume (m³/600 m²) of the 600 m² plots as a function of the volume estimated with the four-tree method, for *Pinus* spp.).

Os resultados para a análise de regressão em *Eucalyptus* spp. (Tabela 2), foram melhores que para *Pinus* spp. Como plantações de eucaliptos geralmente são mais adaptáveis às condições ecológicas do Nordeste, acredita-se que este seja um dos motivos para menores variações entre plantios de eucaliptos, quando comparados com pinus.

TABELA 2. Análise de regressão linear para *Eucalyptus* spp.
(Linear regression analysis for *Eucalyptus* spp.)

Classe (Class)		SQT	SQR	QMR	F	N	r ²
Geral		236,17716830	219,19335281	0,33967537	645,30	52	0,9281
<i>E. cloeziana</i>		2,10663118	1,61199158	0,12365990	13,04	6	0,7652
<i>E. grandis</i>	(G)	98,79838958	92,11851452	0,31808929	289,60	23	0,9324
<i>E. grandis</i>	(F)	48,60185500	43,90646512	0,42685362	102,86	13	0,9034
<i>E. grandis</i>	(R)	10,28846369	9,69943185	0,07362898	131,73	10	0,9427
<i>E. saligna</i>		22,48193679	20,92852748	0,77610466	26,95	4	0,9309
<i>E. urophylla</i>	(G)	60,26381531	53,60089019	0,39193677	136,76	19	0,8894
<i>E. urophylla</i>	(B)	1,513220135	1,39942855	0,02844789	49,19	6	0,9248
<i>E. urophylla</i>	(F)	38,30502832	33,26484903	0,45819812	72,60	13	0,8684

Geral = Análise geral com todos os dados agrupados.
(Overall analysis with all data).

SQT = Soma de quadrados totais corrigida.
(Total SS, Total corrected sum of squares).

SQR = Soma dos quadrados devido à regressão.
(Reg SS, Regression sum of squares).

QMR = Quadrados médios do resíduo.
(Res MS, Residual Mean square).

F = Valor de F calculado.
(Calculated F value).

N = Número de parcelas utilizadas.
(Number of plots).

r² = Coeficiente de determinação.
(Coefficient of determination).

- E. grandis** (G) = **Eucalyptus grandis** com todos os dados agrupados.
(**Eucalyptus grandis** with all data).
- E. grandis** (F) = **Eucalyptus grandis** de plantações da FLONIBRA S/A com idade entre quatro e cinco anos.
(**Eucalyptus grandis** from the FLONIBRA S/A plantation at ages between 4 and 5 years).
- E. grandis** (R) = **Eucalyptus grandis** de plantações da Reflora Reflorestadora com idade entre dois e três anos.
(**Eucalyptus grandis** from the Reflora Reflorestadora plantation at ages between two and three years).
- E. urophylla** (G) = **Eucalyptus urophylla** com todos os dados.;
(**Eucalyptus urophylla** with all data).
- E. urophylla** (B) = **Eucalyptus urophylla** de plantações da Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara, com três anos de idade.
(**Eucalyptus urophylla** from the Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara plantation at three of age).
- E. urophylla** (F) = **Eucalyptus urophylla** de plantações da FLONIBRA S/A, com três anos de idade.
(**Eucalyptus urophylla** from the FLONIBRA S/A plantation at three years of age).

A Figura 3 mostra as revelações entre os volumes de parcelas de 600 m² e pelo método das quatro árvores, através do gráfico para a regressão linear, com limite de confiança de 95% de probabilidade.

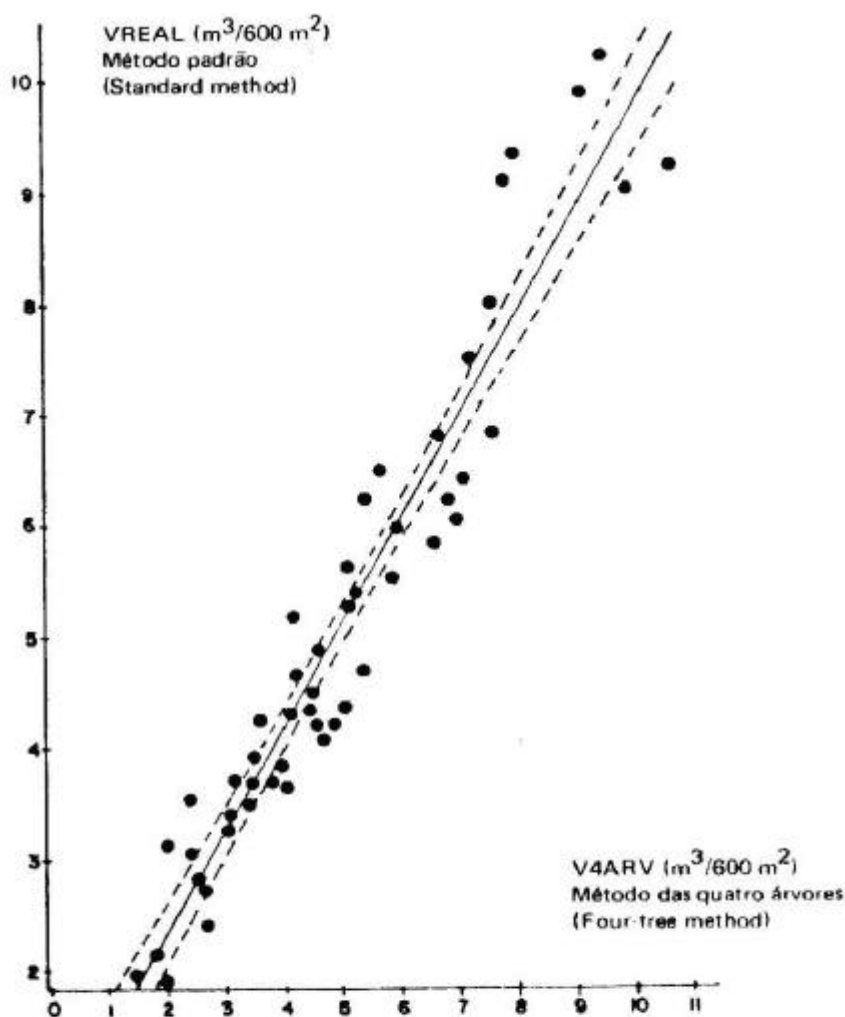


FIGURA 3. Distribuição do volume ($\text{m}^3/600 \text{ m}^2$) nas parcelas de 600 m^2 em função do volume estimado pelo método das quatro árvores, para *Eucalyptus* spp.
(Distribution of the volume ($\text{m}^3/600 \text{ m}^2$) of the 600 m^2 plots as a function of the volume estimated with the four tree method, for *Eucalyptus* spp.).

Os resultados do teste t para amostras parelhadas (Tabelas 3 e 4) indicam que, com uma exceção, a média da variável $Y = VREAL - V4ARV$ não difere significativamente de zero.

TABELA 3. Resultados do teste t para *Pinus* spp.
(Results of the t test for *Pinus* spp.)

Classe (Class)	N	y	S _y	t	PR> t *
Geral	52	0,05077885	0,03991707	1,27	0,2091
Open	21	0,12869524	0,06099487	2,11	0,0477
Torras	31	-0,00200323	0,05131824	0,04	0,9691

* PR>|t| probabilidade de obter-se um maior valor de |t| se não existe diferença significativa.
(Probability to obtain a larger |t| value).

TABELA 4. Resultados do teste t para *Eucalyptus* spp.
(Results of the t test for *Eucalyptus* spp.)

Classe (Class)	N	y	S _y	t	PR> t *
Geral	52	-0,02386538	0,08755421	0,27	0,7863
<i>E. cloeziana</i>	6	0,12576667	0,13001181	0,97	0,3778
<i>E. grandis</i> (G)	23	-0,08641739	0,14480826	0,60	0,5568
<i>E. grandis</i> (F)	13	-0,11880000	0,2280022	0,52	0,6118
<i>E. grandis</i> (R)	10	-0,04432000	0,16564745	0,27	0,7951
<i>E. saligna</i>	4	-0,38897500	0,36198120	1,07	0,3613
<i>E. urophylla</i> (G)	19	0,08146842	0,13966534	0,58	0,5669
<i>E. urophylla</i> (B)	6	-0,23350000	0,13667563	1,71	0,1483
<i>E. urophylla</i> (F)	13	0,22683846	0,18328960	1,24	0,2395

* PR>|t| probabilidade de obter-se um maior valor de |t| se não existe diferença significativa.
(Probability to obtain a larger |t| value).

A única diferença encontrada foi para ***Pinus*** spp., na Openflora Reflorestadora. Para as 21 parcelas (Tabela 3), a média dos desvios foi de 0,13 m³/600 m², indicando uma subestimação pelo método das quatro árvores.

A análise da percentagem da amplitude das diferenças residuais de uma regressão é uma das maneiras de analisar a distribuição residual (AHRENS 1982). Esta análise permite checar estimativas tendenciosas em algumas classes, por exemplo, parcelas com volumes excessivamente pequenos ou grandes. Os resíduos para ***Pinus*** spp. variaram de -50% a +50% (Figura 4), sendo que a maioria deles (77%) está localizada entre -25% e +25%. Tendências de super ou subestimação para parcelas de 600 m², com pequenos ou grandes volumes, não foram detectadas.

Para ***Eucalyptus*** spp., a distribuição residual (Figura 5) mostra desvios em torno de 35%, sendo que a maioria está localizada entre -20% e +20%, com consistente distribuição dos resíduos na amplitude observada. A baixa variação observada em ***Eucalyptus*** spp. é função da homogeneidade de seus plantios no Nordeste.

Por ter sido o inventário uma prestação de serviço para o IBDF, e não uma pesquisa particular, as mensurações dos tempos médios de medição de parcelas não foram realizadas, impossibilitando o cálculo da eficiência relativa do método das quatro árvores, como proposto por FREESE (1962). Entretanto, com os valores das variâncias obtidas e assumindo uma amplitude no tempo médio de medição de parcelas pelos dois métodos, pode-se estimar algumas eficiências relativas, através da seguinte fórmula:

$$ER = (d_1/d_2) \cdot (CV_1/CV_2) \cdot 100$$

onde:

ER = eficiência relativa;

d₁ = tempo médio para mensurar uma parcela de 600 m²;

d₂ = tempo médio para mensurar uma parcela de quatro árvores e uma de raio variável onde se contam árvores ausentes;

CV₁ = coeficiente de variação para parcelas de 600 m²; e

CV₂ = coeficiente de variação para o método das quatro árvores.

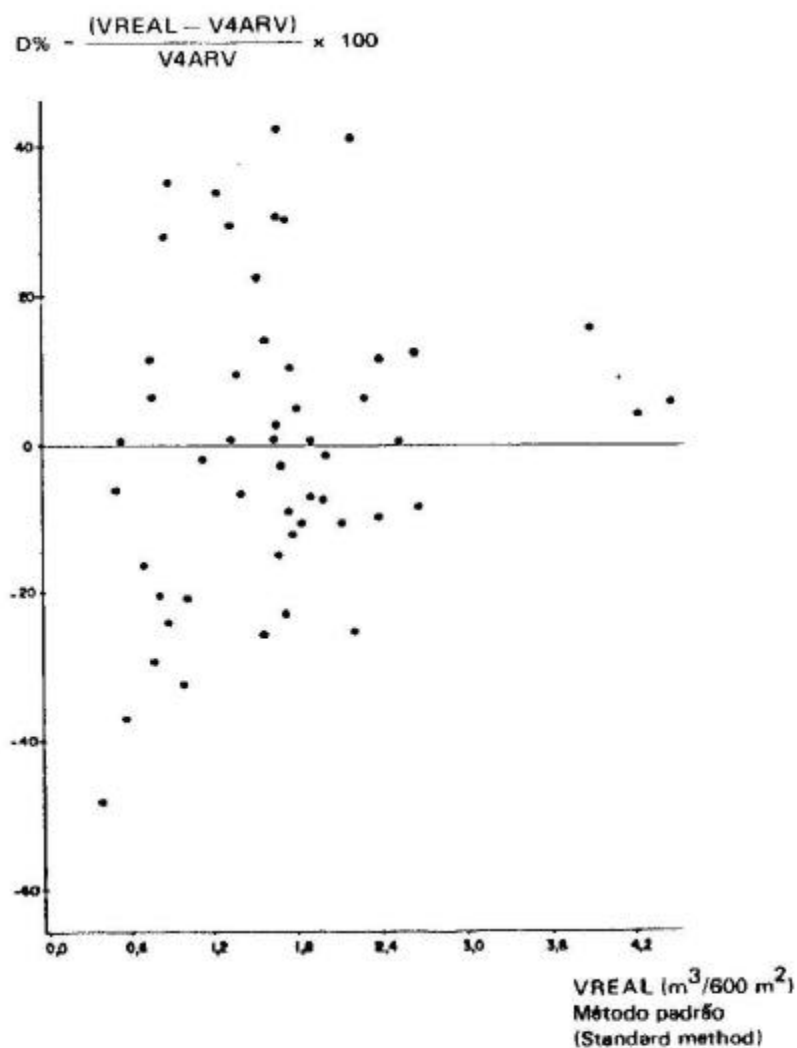


FIGURA 4. Diferenças percentuais (D%) entre os volumes estimados pelo método das quatro árvores e em parcelas de 600 m² para *Pinus* spp.
(Relative differences between the volume estimated with the four-tree method and with the 600 m² plots, for *Pinus* spp.).

Por experiência de campo, pode-se concluir que o tempo médio para mensurar parcelas pelo método das quatro árvores deve variar de 10% a 50% do tempo médio para mensurar parcelas de 600 m², isto na mesma intensidade amostral. Sabendo-se que CV₁ foi 51,994 e CV₂ foi 52,439 para *Pinus* spp., e que CV₁ foi 42,662 e CV₂ foi 45,960 para *Eucalyptus* spp., as eficiências relativas foram calculadas para valores de d₁/d₂ variando de 1/0,1 a 1/0,5 (Tabela 5).

TABELA 5. Eficiência relativa para o método das quatro árvores comparado com o método padrão (ER = 100%).
(Relative efficiency of the four-tree method compared to the standard, ER = 100%).

Espécies (Species)	Mensurações de tempo como percentual de parcelas de 600 m ² (Time measurements as a percent of the 600 m ² plots)					
	10%	20%	25%	30%	40%	50%
<i>Pinus</i>	983,10%	491,55%	393,24%	294,93%	245,77%	196,62%
<i>Eucalyptus</i>	861,63%	430,82%	344,65%	258,49%	215,40%	172,33%

Acredita-se que o tempo médio para mensurar uma parcela pelo método das quatro árvores deve ser inferior a 25% do tempo médio para mensurar uma parcela de 600 m². Mesmo considerando o tempo médio de mensuração como sendo 50%, a eficiência relativa do método das quatro árvores foi quase o dobro, tendo em vista as proximidades dos coeficientes de variação entre os dois métodos.

A intensidade amostral será função do sistema de amostragem a ser utilizado. Neste trabalho, considerou-se o sistema inteiramente casualizado em uma população infinita e um erro de amostragem igual a 10%. O método das quatro árvores requer somente duas parcelas adicionais para *Pinus* spp. e onze parcelas adicionais para *Eucalyptus* spp. (Tabela 6), onde a variação em termos de idade foi maior que a observada para *Pinus* spp.

$$D\% = \frac{[VREAL - V4ARV]}{V4ARV} \times 100$$

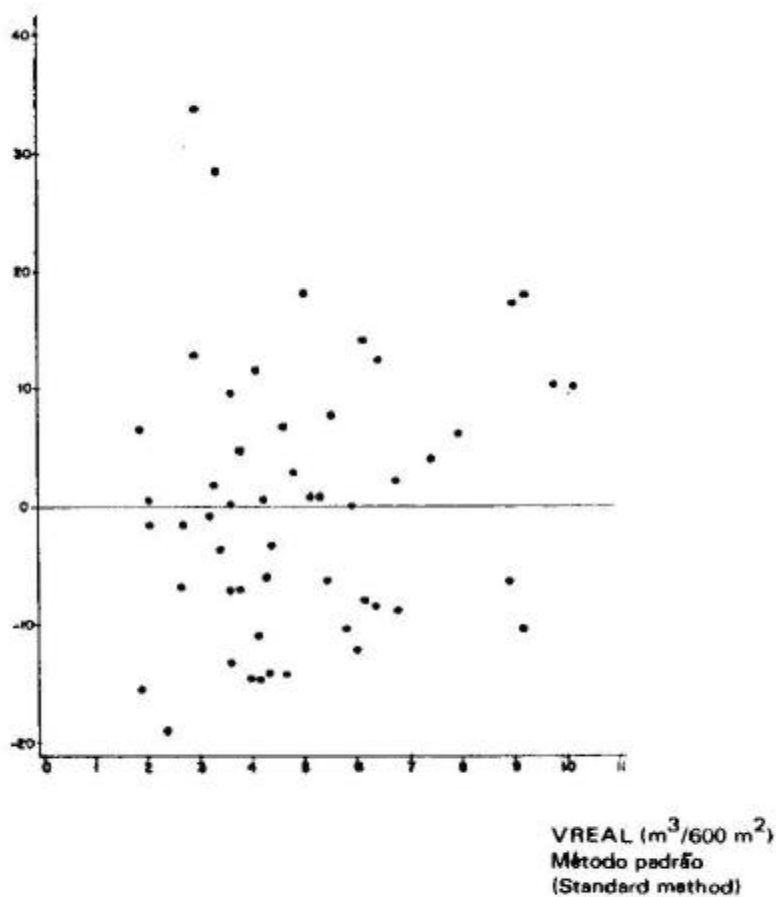


FIGURA 5. Diferenças percentuais (D%) entre os volumes estimados pelo método das quatro árvores e em parcelas de 600 m², para *Eucalyptus* spp.
(Relative differences between the volume estimated with the 600 m² plots, for *Eucalyptus* spp.).

TABELA 6. Número de parcelas necessárias para *Eucalyptus* spp. e para *Pinus* spp., considerando uma população infinita e um erro de amostragem de 10%.
(Number of plots needed for *Eucalyptus* spp. and for *Pinus* spp., considering an infinite population a 10% sampling error).

Método (Method)	Número de parcelas (Number of plots)	
	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
Parcelas de 600 m ² (600 m ² plots)	74	109
Método das quatro árvores (Four-tree method)	85	111

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando que a intensidade amostral foi quase a mesma nos dois sistemas considerados, o método das quatro árvores produz redução dos custos de amostragem, sem causar significativa perda de precisão. Também é uma boa metodologia na escolha dos valores de K, na estimativa de G/ha.

Se as populações onde os inventários foram realizados são coetâneas, homogêneas e regularmente espaçadas, como geralmente são as plantações, o método das quatro árvores poderá ser usado sem restrições, sendo que será especialmente eficiente em amostragem com reposição parcial, onde, no primeiro estágio, seriam usadas parcelas maiores, de tamanho fixo, e no segundo estágio, o método das quatro árvores.

5. REFERÊNCIAS

- ALDER, D. **Forest volume estimation and yield prediction**. Rome, FAO, 1980. v.2. 194p.
- AHRENS, S. **Importância da distribuição dos resíduos de regressão na seleção de equações de volume**. Colombo, EMBRAPA - URPFCs, 1982. 16p.
- BHATTACHARYYA, G.K. & JOHNSON, R.A. **Statistical concepts and methods**. New York, J. Wiley, 1977. 639p.
- BITTERLICH, W. Relaskop. FOB MBH. Salzburg. 34p.
- FEDERER, W.J. **Experimental design**. New York, McMillan, 1955. 591 p.
- FERREIRA, C.A. **A estimativa do volume de madeira aproveitável para celulose, em povoamentos de *Eucalyptus* sp.** Piracicaba, ESALQ, 1976. 112p. (Tese Mestrado).

- GOMES, A.M. de A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa, Livraria Sá da Costa, 1957. 415p.
- HOUTTÉ, J.V. Empleo del relascopio de Bitterlich en la medición forestal. **IDIA, Suplemento Florestal**, Buenos Aires, **12**:83-118, 1964.
- HUSH, B. **Planificación de un inventario forestal**. Rome, FAO, 1971. 137p.
- HUSH, B.; MILLER, C.I. & BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York, The Ronald Press, 1972. 409p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL/ FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. **Determinação da população volumétrica dos plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso**. Curitiba, 1978. 176p.
- KULOW, D. Comparison of forest sampling designs. **Journal of Forestry**, **64**: 469-74, 1966.
- LOETSCH, F., ZOHRER, F. & HALLER, R.E. **Forest inventory**. München, BLV Verlagsgesellschaft, 1973. v.2. 472p.
- LUGO, F.C. Tamaño de parcela experimental y su forma. **Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela**, Maracay, **9**(3):55-75, 1977.
- MACHADO, S. do A. & ALBERTINI, W. Comparação de quatro métodos de medição num bosque secundário tropical. **Turrialba**, **3**(1):72-8, 1973.
- NYSSONEN, A. On the efficiency of some methods of forestry survey. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 6., Madri, 1966. **Proceedings**. p.22473-6.
- PERNAMBUCO. Universidade Federal Rural. **Inventário nacional dos recursos florestais implantados no nordeste, oriundos de incentivos fiscais**. Recife, 1981. 175p.
- PRODAN, M. **Forest biometrics**. Oxford, Pergamon Press, 1968. 447p.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/Graph User's Guide**. Cary, 1981. 126p.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS User's Guide: Statistics**. Cary, 1982. 584p.
- SILVA, L.B.X. da. Tamanho e forma de unidade de amostra em amostragem aleatória e sistemática para florestas plantadas de *Eucalyptus alba*. **Floresta**, Curitiba, **8**(1):13-8, 1977.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7. ed. Ames, Iowa State University Press, 1980. 507p.
- WIANT, JR, H.V.; YANDLE, D.O. & ANDREAS, R. Is BAF 10 a good choice for point sampling?. **North. J. Appl. For.**, **2**: 23-4, 1984.
- YONG, C.Y. & KUNG, F.H. Method for estimating bole volume. **Journal of Forestry**, **81**(4):224-7, 1983.
- ZEIDE, B. & TROXELL, J.K. Selection of the proper metric basal area factor for Appalachian mixed hardwoods. In: **Forest Resources Inventory Workshop Proc.** Colorado State University, 1979. p.261-9.

APÊNDICE 1: Número de parcelas por espécie e idade.
(Number of plots according to species and age).

Espécies (Species)	Idade (anos) (Age-years)	Número de parcelas (Number of plots)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	3-4	52
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	3-4	6
<i>Eucalyptus grandis</i>	2-3	10
<i>Eucalyptus grandis</i>	4-5	13
<i>Eucalyptus saligna</i>	3	4
<i>Eucalyptus urophylla</i>	3	6
<i>Eucalyptus urophylla</i>	4	13

APÊNDICE 2: Volumes estimados para *Pinus* em parcelas com 600 m² (VREAL) e pelo método das quatro árvores (V4ARV).
(Volume estimates for *Pinus*: with plots of 600 m² (VREAL) and with the 4-tree method (V4ARV).

Observação (Observation)	Empresa (Company)	Número da parcela (Plot number)	VREAL	V4ARV
			-- m ³ /600 m ² --	
1	Open	1	4,4216	4,1264
2	Open	7	1,7743	1,6286
3	Open	8	1,5932	1,5291
4	Open	9	2,0967	2,2886
5	Open	10	3,8394	3,2707
6	Open	11	1,7251	1,8386
7	Open	12	2,3481	2,5559
8	Open	13	2,3562	2,0500
9	Open	14	0,9734	1,3686
10	Open	15	4,1918	3,9760
11	Open	16	2,5983	2,2563
12	Open	17	1,6125	1,1600
13	Open	20	1,7133	1,4844
14	Open	21	2,2410	2,0520
15	Open	22	0,8643	1,0614
16	Open	23	1,5486	1,2900
17	Open	25	0,4772	0,4150
18	Open	31	2,4895	2,4408
19	Open	32	2,1501	1,4544
20	Open	33	0,7504	0,9794
21	Open	36	0,7138	0,5500
22	Torras	42	1,1146	1,0707
23	Torras	46	1,5441	2,0210
24	Torras	48	1,6448	1,8789
25	Torras	53	1,3718	1,4000
26	Torras	54	1,8735	1,9588

(Continuação Apêndice 2)

Observação (Observation)	Empresa (Company)	Número da parcela (Plot number)	VREAL	V4ARV
			$\text{m}^3/600\text{m}^2$	
27	Torras	55	1,8609	1,7900
28	Torras	59	2,1930	2,8797
29	Torras	65	1,6111	1,0575
30	Torras	67	1,9710	1,9620
31	Torras	69	1,6770	1,2162
32	Torras	71	1,2056	0,8182
33	Torras	74	1,3408	1,1500
34	Torras	77	0,9917	1,1793
35	Torras	79	1,3026	1,2200
36	Torras	81	1,9627	2,0600
37	Torras	83	2,6269	2,8111
38	Torras	84	1,2943	0,9194
39	Torras	85	1,6786	1,6900
40	Torras	89	1,8015	1,9578
41	Torras	90	1,7089	2,1560
42	Torras	91	0,5148	0,4175
43	Torras	92	0,5643	0,8121
44	Torras	104	0,7445	0,6100
45	Torras	107	1,4803	1,1346
46	Torras	120	1,6191	1,5200
47	Torras	122	0,8245	0,5540
48	Torras	123	0,4042	0,6930
49	Torras	124	0,8475	0,5349
50	Torras	125	0,8050	0,9338
51	Torras	126	1,7420	1,9224
52	Torras	127	0,6883	0,7431

APÊNDICE 3: Volumes estimados para eucaliptos em parcela com 600 m² (VREAL) e pelo método das quatro árvores (V4ARV).

(Volume estimates for *Eucalyptus*: with plots of 600 m² (VREAL) and with the 4-tree method (V4ARV).

Observação (Observation)	Empresa (Company)	Número da parcela (Plot number)	Espécies (Species)	VREAL	V4ARV
				m ³ /600 m ²	
1	Barbara	1	cloeziana	1,9066	1,9316
2	Barbara	2	cloeziana	2,1292	1,8300
3	Barbara	3	cloeziana	2,7157	2,6759
4	Barbara	4	cloeziana	3,6805	3,5262
5	Barbara	5	cloeziana	2,3882	2,7170
6	Barbara	6	cloeziana	3,0351	2,4200
7	Barbara	7	urophylla	3,6341	4,1071
8	Barbara	8	urophylla	4,1772	4,9081
9	Barbara	9	urophylla	2,7916	2,5935
10	Barbara	10	urophylla	3,4566	3,4430
11	Barbara	11	urophylla	4,3353	4,5734
12	Barbara	12	urophylla	3,6954	3,8772
13	Acesita	13	saligna	9,8729	9,4696
14	Acesita	15	saligna	4,2943	5,0320
15	Acesita	17	saligna	8,9881	10,2008
16	Acesita	18	saligna	5,2680	5,2768
17	Flonibra	19	grandis	7,9885	7,8606
18	Flonibra	20	grandis	5,5889	5,2240
19	Flonibra	21	grandis	6,3942	7,2675
20	Flonibra	22	grandis	7,4932	7,4906
21	Flonibra	23	grandis	9,2027	10,9446
22	Flonibra	24	grandis	5,1597	4,3050
23	Flonibra	25	grandis	10,2229	9,8454
24	Flonibra	27	grandis	5,8499	6,7488
25	Flonibra	32	grandis	3,8248	4,0235
26	Flonibra	33	grandis	6,8083	6,8880

(Continuação Apêndice 3)

Observação (Observation)	Empresa (Company)	Número da parcela (Plot number)	Espécies (Species)	VREAL	V4ARV
				$\text{m}^3/600 \text{ m}^2$	
27	Flonibra	35	grandis	3,5167	2,4738
28	Flonibra	36	grandis	4,2281	3,6539
29	Flonibra	37	grandis	6,0134	7,1100
30	Flonibra	38	urophylla	6,2306	5,5419
31	Flonibra	39	urophylla	5,9746	6,1200
32	Flonibra	40	urophylla	6,2188	7,0031
33	Flonibra	41	urophylla	6,4850	5,8770
34	Flonibra	42	urophylla	4,3051	4,2112
35	Flonibra	43	urophylla	4,8672	4,7190
36	Flonibra	44	urophylla	4,4649	4,5872
37	Flonibra	45	urophylla	5,3392	5,3562
38	Flonibra	46	urophylla	3,1332	2,0332
39	Flonibra	47	urophylla	4,6720	4,3200
40	Flonibra	48	urophylla	6,8137	7,8120
41	Flonibra	49	urophylla	9,3188	8,2756
42	Flonibra	50	urophylla	9,0747	8,0925
43	Reflora	1	grandis	1,9632	1,4717
44	Reflora	2	grandis	2,1247	1,7729
45	Reflora	3	grandis	3,2843	3,1218
46	Reflora	4	grandis	5,4939	5,9896
47	Reflora	5	grandis	4,1690	4,6604
48	Reflora	6	grandis	4,6556	5,5020
49	Reflora	7	grandis	4,0634	4,7508
50	Reflora	8	grandis	3,8875	3,5776
51	Reflora	9	grandis	3,7136	3,2004
52	Reflora	10	grandis	3,3739	3,1251