

Sebastião do Amaral Machado*

SUMMARY

The objective of this paper is to build total volume tables with and without bark for Pinus taeda L. plantations in the central region of Paraná State.

Several regression equations were tested to fit the relationship between volume and some independent variables such as d.b.h.o.b, height and interaction terms. A stepwise regression procedure was used for such objective.

The logarithmic equations fitted this relationship better than the arithmetic ones.

1. INTRODUÇÃO

O uso de tabelas de volumes é fundamental para a empresa florestal que cotidianamente necessita saber o volume de árvores isoladas. Pela soma do volume das árvores isoladas chega-se ao volume da parcela e então ao volume por unidade de área, que em última análise é o que interessa. Desse modo, a existência de uma tabela de volume previamente construída vem facilitar os trabalhos posteriores de cubagem de uma área, necessitando-se apenas medir a variável ou variáveis independentes.

Não existe nenhuma tabela de volume para *Pinus taeda* na região central do Estado do Paraná. Como esta espécie é a mais usada para reflorestamento nessa região, este trabalho vem de encontro às necessidades básicas para avaliações dendrométricas necessárias para o manejo florestal.

Uma tabela de volume é uma disposição tabulada que fornece o volume médio de árvores em pé de várias dimensões, numa unidade específica (2). Estes volumes médios são comumente estimados através de uma equação de regressão, na qual a variável independente é o volume da árvore e cujas variáveis independentes mais usadas são, o diâmetro à altura do peito, a altura, a forma, ou algum termo de interação entre essas variáveis independentes.

De acordo com ANUCHIM¹ as tabelas de volume da Rússia quase sempre fornecem informação a respeito da for-

ma ou conicidade do tronco. Em contraste, as tabelas de volume da Europa Ocidental ou mesmo da América do Norte raramente fornecem esta informação.

Tabelas de volume são abundantes na literatura florestal e têm sido usadas por um longo tempo. Todos os livros textos de mensuração florestal apresentam uma série delas. Entretanto seu uso no Brasil começou somente a uns 15 a 18 anos atrás. HEINSDIJK⁶ foi provavelmente o primeiro a desenvolver equações de volume para algumas espécies, aplicando o método dos mínimos quadrados. Mais recentemente, têm sido feito esforços no sentido de construir tabelas de volume para as principais espécies plantadas e mesmo para florestas naturais (11, 9, 8, 4). VEIGA¹¹ trouxe algumas contribuições para a construção de tabelas de volume para plantações de *Eucalyptus* no Brasil. Ele fez diversos estudos comparativos entre diversos tipos de equações de volume tais como: equações aritméticas, logaritmicas, equações formais e não formais. Comparando equações não formais ele encontrou que as equações logaritmicas resultaram mais precisas para volume total, com e sem casca, enquanto as equações aritméticas foram mais precisas para estimar o volume comercial. Mais recentemente SIQUEIRA⁹ fez alguns estudos sobre tabelas de volume para florestas naturais de Pinheiro do Paraná. Em sua pesquisa ele testou três equações ponderadas, usando $w_i = 1/DH$, $w_i = 1/D^2H$ e $w_i = 1D^4H^2$. Ele também testou a equação da variá-

* Engenheiro Florestal, M.Sc., Ph.D, Professor Titular das disciplinas de Dendrometria dos Cursos de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

vel combinada. Usando a soma dos resíduos como um critério, o melhor resultado foi alcançado pela equação ponderada com $w_1 = 1/DH$, vindo a equação da variável combinada como a segunda melhor.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho objetivando a construção de tabelas de volume total com casca e volume total sem casca foi desenvolvido para plantações de *Pinus taeda* das Indústrias Klabin do Paraná de Celulose S/A situada no município de Telêmaco Borba, justamente numa região de transição dos campos gerais para a região de florestas naturais. A precipitação média nesta área é de 1399.5 milímetros e a temperatura média é de 19° Celsius. A altitude da região varia de 700 a 1000 metros. Foram cubadas 203 árvores, distribuídas em todas as classes de idade de 6 a 18 anos e todas as classes de diâmetro de 6 a 46 centímetros no d.a.p. Na maioria dos casos os diâmetros e espessura da casca foram medidos a 0,10 m, 0,50 m, 1,30 m e daí a cada metro. Em outros casos, os diâmetros foram medidos a 0,20 m, 1,30 m e daí a cada 1,2 m de intervalo. Os volumes reais de cada árvore com e sem casca foram calculados usando a fórmula de Smalian e a fórmula do cone para a secção do topo da árvore.

Diversas equações de volume foram testadas para ajustar os dados. Estas equações foram escolhidas entre as equações de volume mais usadas, encontradas na literatura florestal (10, 3, 11). As mesmas equações foram testadas tanto para o volume total com casca, como para o volume total sem casca.

Um programa de regressão usando o método "Stepwise" foi usado para estimar os coeficientes e estatísticas relevantes para todas as equações. Este programa de computador calcula também os resíduos e os plota sobre os valores estimados.

As equações testadas foram as seguintes:

Volume de casca:

1. $\log V_{cc} = a + b \log D$
2. $\log V_{cc} = a + b \log D + c \log H$
3. $\log V_{cc} = a + b \log D + c \log H + d (\log D \times \log H)$
4. $\log V_{cc} = a + b \log (D^2H)$
5. $V_{cc} = a + b (D^2H)$
6. $V_{cc} = a + b (D^2H) + cH$
7. $V_{cc} = a + bD + cH + d (D^2H)$

Volume sem casca:

8. $\log V_{sc} = a + b \log D$
9. $\log V_{sc} = a + b \log D + c \log H$
10. $\log V_{sc} = a + b \log D + c \log H + d (\log D \times \log H)$
11. $\log V_{sc} = a + b \log (D^2H)$
12. $V_{sc} = a + b (D^2H)$
13. $V_{sc} = a + b (D^2H) + cH$
14. $V_{sc} = a + bD + cH + d (D^2H)$

Onde:

V_{cc} = Volume total com casca em metros cúbicos.

V_{sc} = Volume total sem casca em metros cúbicos.

D = Diâmetro com casca à 1,30 m de altura em centímetros.

H = Altura total em metros.

a, b, c, d = Coeficientes da equação de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes e estatísticas relevantes para todos os modelos testados são apresentados no quadro 1. Os erros padrões de estimação de equações logarítmicas e aritméticas não são comparáveis diretamente. Então o índice FURNIVAL⁵ foi usado para compará-los para estes dois tipos de equações de volume. O meio para fazer esta comparação é transformar o erro padrão de estimação para porcentagem. Para este objetivo o erro padrão de estimação das equações logarítmicas S_{yx} , como uma porcentagem da média é dado por:

$$S_{yx}\% = \{ (10^{S_{yx}}) - 1 \} \cdot 100$$

Os resultados do quadro 1 mostram que as equações logarítmicas são mais precisas do que as equações aritméticas para estimar o volume total com e sem casca. Entre as logarítmicas, a equação 3 foi a mais precisa para volume total

QUADRO 1 — Coeficientes e estatísticas das equações de volume testadas.

Equação Número	a	Coeficientes			R ²	Syx	F	Syx%
		b	c	d				
1.	—3.98914	2.52623	—	—	0.97271	0.07583	7,164.66	19,08
2.	—4.40893	1.89418	1.09050	—	0.99274	0.03922	13,671.43	9,45
3.	—3.98426	1.57923	0.70636	0.28949	0.99294	0.03878	9,323.11	9,34
4.	—4.37299	0.98113	—	—	0.99253	0.03967	26,720.26	9,56
5.	—0.00723	0.00003	—	—	0.98307	0.04466	11,732.55	13,13
6.	—0.05705	0.00003	0.00580	—	0.98423	0.04311	6,302.78	12,68
7.	—0.05643	—0.00006	0.00582	0.00003	0.98415	0.04322	4,180.90	12,71
8.	—4.19149	2.61968	—	—	0.96642	0.08752	5,783.99	22,32
9.	—4.66207	1.91115	1.22245	—	0.98967	0.04867	9,578.88	11,86
10.	—3.96324	1.37805	0.59031	0.47639	0.99016	0.04761	6,675.17	11,58
11.	—4.59509	1.01892	—	—	0.98901	0.05006	18,093.26	12,22
12.	—0.00511	0.00003	—	—	0.98019	0.04358	9,997.76	15,02
13.	—0.06598	0.00003	0.00549	—	0.98144	0.04217	5,347.07	14,54
14.	—0.03598	—0.00299	0.00646	0.00003	0.98198	0.04157	3,670.99	14,33

R² = Coeficiente de determinação múltiplo.

Syx = Erro padrão da estimativa.

F = Razão de variância.

Syx% = Erro padrão da estimativa expresso em percentagem.

com casca e a equação 10 foi a melhor para estimar volume total sem casca. Quando o programa de regressão "Stepwise" foi rodado para as equações em apreço o termo de interação $\log D \cdot \log H$ entrou em primeiro lugar no modelo, logo a seguir entrou o termo $\log D$ e por último o termo $\log H$. Um teste de "F" parcial indicou que todos os termos contribuíram significativamente para melhorar a estimativa. O R^2 aumentou e o erro padrão de estimação diminuiu com a adição de cada uma das variáveis independentes. A análise dos resíduos não indicou nenhuma tendência específica, como se pode ver na figura 1. Desse modo os modelos 3 e 10 devem ser escolhidos para estimar respectivamente volume total com casca e volume total sem casca para *Pinus taeda* na região Central do Estado do Paraná.

MEYER⁷ verificou que a aplicação de equações logaritmicas causa um erro sistemático na estimativa de volume. Portanto ele recomendou o uso do seguinte fator de correção (f) para corrigir este erro:

$$f = 10^{0,502 \times \ln 10} = 1,1513\tau^2 = 10$$

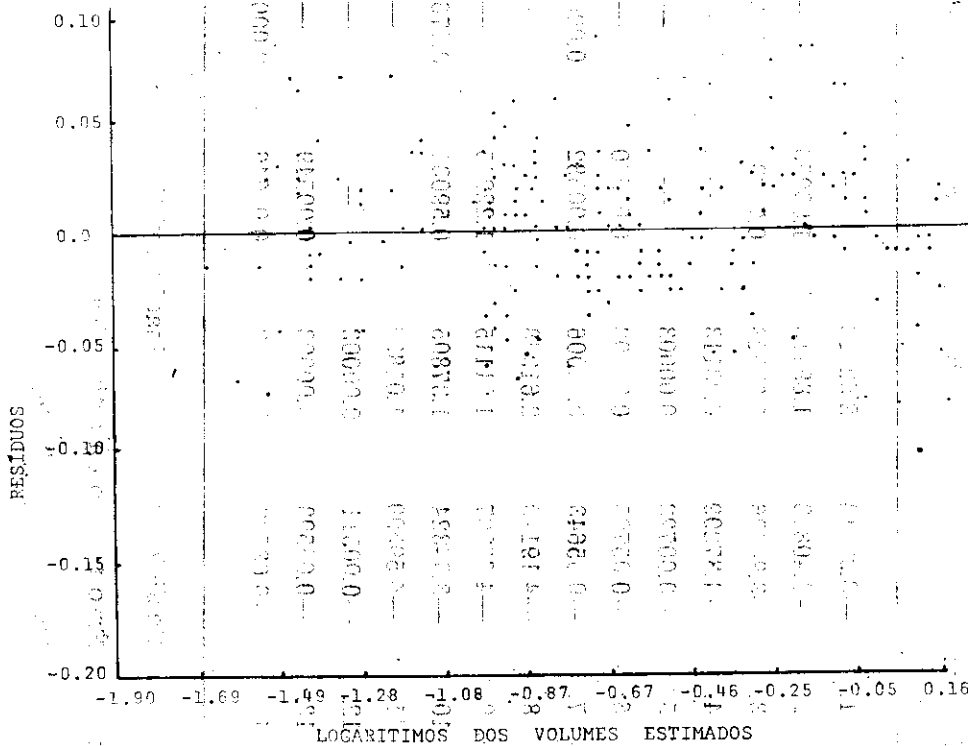


FIGURA 1 — Distribuição dos resíduos em relação aos logaritmos dos volumes estimados.

Onde τ^2 é a variância do erro logaritmico. Este fator de correção é independente do volume; assim ele é o mesmo para árvores de diferentes diâmetros e alturas. Como este fator de correção resultou muito próximo da unidade e como os volumes também são pequenos, a aplicação do fator praticamente não altera os volumes estimados antes da quarta casa decimal. Sendo assim, não foi aplicada esta correção.

Os quadros 2 e 3 apresentam respectivamente os volumes totais com e sem casca, tendo como entrada o diâmetro com casca em centímetros e a altura total em metros. A parte demarcada nestes quadros delimitam a amplitude dos dados usados para o desenvolvimento dos modelos.

Os resultados encontrados vêm de encontro aos achados por VEIGA¹¹ para *Eucalyptus saligna*, resultando as equações logaritmicas mais precisas para estimar volume total com e sem casca. CAMPOS⁴ também encontrou que a equação logaritmica de Schumacher foi mais precisa para estimar volume total sem casca de *Pinus elliotii* no Estado de São Paulo.

TABELA DE VOLUME PARA A REGIÃO DE TELEMACO BORBA-PR

ESPECIE: PINUS TAEDA VOLUME TOTAL (COM CASCA)

IDADE: 5 A 18 ANOS

DAP *	A L T U R A (M)																		
(CM) *	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	
5.0	0.008	0.009	0.010	0.011	0.011	0.012													
6.0	0.011	0.012	0.013	0.013	0.016	0.017													
7.0	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.025	0.027											
8.0	0.018	0.020	0.023	0.025	0.028	0.030	0.032	0.035											
9.0	0.022	0.025	0.028	0.031	0.034	0.038	0.041	0.044	0.047	0.050	0.053								
10.0	0.027	0.031	0.034	0.038	0.042	0.046	0.050	0.053	0.057	0.061	0.065								
11.0	0.032	0.036	0.041	0.046	0.050	0.055	0.059	0.064	0.069	0.073	0.078								
12.0	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.065	0.070	0.075	0.081	0.087	0.092	0.098							
13.0	0.043	0.049	0.056	0.062	0.069	0.075	0.081	0.088	0.094	0.101	0.107	0.114							
14.0	0.049	0.057	0.064	0.071	0.079	0.086	0.094	0.101	0.109	0.116	0.124	0.131							
15.0	0.056	0.064	0.073	0.081	0.090	0.098	0.107	0.115	0.124	0.133	0.141	0.150							
16.0		0.072	0.082	0.092	0.101	0.111	0.121	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180						
17.0		0.081	0.092	0.102	0.113	0.124	0.135	0.146	0.158	0.169	0.180	0.191	0.203						
18.0		0.090	0.102	0.114	0.126	0.138	0.151	0.163	0.176	0.188	0.201	0.214	0.226						
19.0		0.099	0.112	0.126	0.140	0.153	0.167	0.181	0.195	0.209	0.223	0.237	0.251	0.266	0.280	0.294			
20.0			0.124	0.139	0.154	0.169	0.184	0.199	0.215	0.231	0.246	0.262	0.278	0.294	0.309	0.325			
21.0			0.135	0.152	0.168	0.185	0.202	0.219	0.236	0.253	0.270	0.288	0.305	0.323	0.340	0.358			
22.0			0.147	0.165	0.184	0.202	0.220	0.239	0.258	0.277	0.296	0.315	0.334	0.353	0.373	0.392	0.412		
23.0			0.160	0.180	0.200	0.220	0.240	0.260	0.281	0.301	0.322	0.343	0.364	0.385	0.407	0.428	0.449		
24.0			0.194	0.216	0.238	0.260	0.282	0.305	0.327	0.350	0.373	0.396	0.419	0.442	0.465	0.489	0.512		
25.0			0.210	0.233	0.257	0.281	0.305	0.329	0.354	0.378	0.403	0.428	0.453	0.478	0.504	0.529	0.555		
26.0			0.226	0.251	0.277	0.302	0.329	0.355	0.381	0.408	0.435	0.462	0.489	0.517	0.544	0.572	0.600		
27.0				0.269	0.297	0.325	0.353	0.381	0.410	0.439	0.468	0.497	0.527	0.556	0.586	0.616	0.646		
28.0				0.288	0.318	0.348	0.378	0.409	0.440	0.471	0.502	0.533	0.565	0.597	0.629	0.661	0.694		
29.0				0.308	0.340	0.372	0.404	0.437	0.470	0.504	0.537	0.571	0.605	0.639	0.674	0.709	0.743		
30.0				0.328	0.362	0.397	0.431	0.466	0.502	0.538	0.574	0.610	0.646	0.683	0.720	0.757	0.795		
31.0				0.349	0.385	0.422	0.459	0.497	0.534	0.573	0.611	0.650	0.689	0.728	0.768	0.808	0.848		
32.0				0.370	0.409	0.448	0.488	0.528	0.568	0.609	0.650	0.691	0.733	0.775	0.817	0.860	0.903		
33.0				0.433	0.475	0.517	0.560	0.603	0.646	0.690	0.734	0.778	0.823	0.868	0.913	0.959			
34.0				0.458	0.503	0.547	0.592	0.638	0.684	0.731	0.778	0.825	0.872	0.920	0.969	1.017			
35.0				0.484	0.531	0.578	0.626	0.675	0.723	0.773	0.822	0.873	0.923	0.974	1.025	1.077			
36.0					0.560	0.610	0.661	0.712	0.764	0.816	0.869	0.922	0.975	1.029	1.084	1.138			
37.0					0.590	0.643	0.696	0.751	0.805	0.860	0.916	0.972	1.029	1.086	1.144	1.201			
38.0					0.620	0.676	0.733	0.790	0.848	0.906	0.965	1.024	1.084	1.144	1.205	1.266			
39.0					0.652	0.710	0.770	0.830	0.891	0.953	1.015	1.077	1.140	1.204	1.268	1.333			
40.0					0.684	0.746	0.808	0.872	0.936	1.000	1.066	1.132	1.198	1.265	1.333	1.401			
41.0					0.716	0.781	0.847	0.914	0.981	1.049	1.118	1.187	1.257	1.328	1.399	1.471			
42.0						0.887	0.957	1.028	1.099	1.172	1.244	1.318	1.392	1.467	1.542				
43.0						0.928	1.001	1.076	1.151	1.226	1.303	1.380	1.458	1.536	1.615				
44.0						0.970	1.047	1.124	1.203	1.282	1.362	1.443	1.525	1.607	1.690				
45.0						1.012	1.093	1.174	1.256	1.339	1.423	1.508	1.594	1.680	1.767				
46.0						1.056	1.140	1.225	1.311	1.398	1.486	1.574	1.664	1.754	1.845				
47.0						1.100	1.188	1.277	1.367	1.457	1.549	1.642	1.735	1.830	1.925				
48.0							1.423	1.518	1.614	1.711	1.808	1.907	2.006						
49.0							1.481	1.580	1.680	1.781	1.883	1.986	2.089						
50.0							1.540	1.643	1.747	1.853	1.959	2.066	2.174						

4. RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi a elaboração de tabelas de volume total com e sem casca para plantações de *Pinus taeda* na região Central do Estado do Paraná. A amplitude dos dados é a seguinte: O diâmetro à 1,30 m variou de 6 a 46 cm; a altura total variou de 7 a 24 m e a idade de 5 a 18 anos. Foram cubadas 203 árvores pela fórmula de Smalian, sendo que os diâmetros foram medidos à 0,10 m ou 0,20 m, a 0,50 m, à 1,30 m e daí de metro em metro na maioria das árvores ou a cada 1,20 m para o restante.

Diversas equações de regressão foram testadas para ajustar à relação entre volume em m³ e algumas variáveis independentes, tais como diâmetro com casca em centímetros, altura total em metros e termos de interação diâmetro-altura. Foi usado o procedimento "Step-wise" para o desenvolvimento dos modelos de regressão. As equações logarítmicas de uma maneira geral, resultaram mais precisas, tanto para estimar volume total com casca, como para volume total sem casca. Entre as logarítmicas o melhor modelo foi:

$$\log V = a + b \log D + c \log H + d (\log D) \times (\log H)$$

Uma análise dos resíduos demonstrou que esta equação estima o volume sem tendência.

5. LITERATURA CITADA

1. ANUCHIN, N.P. Forest Mensuration. Translated from Russian by N. Aaner. Published for the U.S. Department of Agriculture and the National Science Foundation, Washington, D.C. by the Israel Program for Scientific Translation. 1970. 454 p.
2. AVERY, T.E. Natural Resources Measurements. 2nd ed. McGraw Hill, New York. 1975, 339 p.
3. BRUCE, D. and SHUMACHER, F.X. Forest Mensuration. McGraw Hill New York. 1950, 483 p.
4. CAMPOS, J.C.C. Tabelas de Volume total e comercial para *Pinus elliottii* Engelm. Revista CERES. Viçosa. 21(116): 253-267. 1974.
5. FURNIVAL, G.M. An Index for comparing equations used in constructing volume table. Forest Science 7(4): 337-41. 1961.
6. HEINSDIJK, D. e SOARES, R.O. Plantações de coníferas no Brasil. Serviço Florestal, Rio de Janeiro. 1962.
7. MEYER, H.A. A Correction for a systematic error occurring in application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania State Forest School. Res. Paper No. 7. 1941. 3 p.
8. PAULA NETO, F. et alii. Teste de aplicação de Tabelas Volumétricas para estimar a produção de plantações de *Eucalyptus paniculata* Sm na Região de Ipatinga, Minas Gerais. Viçosa. Rev. Árvore 1(2): 154-166. 1977.
9. SIQUEIRA, J.D.P. Tabelas de Volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze no Sul do Brasil. Floresta 8(1): 7-12 .1977.
10. SPURR, S.H. Forest Inventory. The Ronald Press Company. New York. 1952. 476 p.
11. VEIGA, R.A.A. Comparação de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith. Equações logarítmicas formais e não formais. Floresta 4(3): 3-14. 1973.