

CIRCULAR TÉCNICA Nº 14

ISSN 0101-1847
Setembro, 1987

**CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA POVOAMENTOS DE *Pinus
elliottii* var. *elliottii* Engelm. E *P. taeda* L. ESTABELECIDOS NO SUL
E SUDESTE DO BRASIL: RESULTADOS PRELIMINARES**

Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Sergio Ahrens



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro Nacional de Pesquisa de Florestas
CNPFF
Curitiba, PR.

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

EMBRAPA - CNPF
Estrada da Ribeira, km 111
Telefone: (041) 256-2233
Telex: (041) 5835
Caixa Postal 3319
80.000 – Curitiba, PR

Tiragem: 1.000 exemplares

Comitê de Publicações:

Jarbas Yukio Shimizu	-	Presidente
Arnaldo Bianchetti	-	Membro
Maria Elisa Cortezzi Graça	-	Membro
Antonio Aparecido Carpanezi	-	Membro
Carmem Lucia Cassilha Stival	-	Membro
José Alfredo Sturion	-	Suplente

Oliveira, Yeda Maria Malheiros de

Curvas de índice de sítio para povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *P. taeda* L. estabelecidos no sul e sudeste do Brasil: resultados preliminares, por Yeda Maria Malheiros de Oliveira e Sergio Ahrens. Curitiba, EMBRAPA – CNPF, 1987.

11p. (EMBRAPA-CNPF. Circular Técnica, 14).

1. *Pinus elliottii* – Sítio – Curva de índice. 2. *Pinus taeda*. I. Ahrens, Sergio colab. II. Título. III. Série.

CDD 634.9751

© EMBRAPA – 1987

**CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii* var.
elliottii Engelm. e *P. taeda* L. ESTABELECIDOS NO SUL E SUDESTE DO BRASIL:
RESULTADOS PRELIMINARES***

Yeda Maria Malheiros de Oliveira**
Sergio Ahrens**

RESUMO

Apresentam-se resultados preliminares do estudo para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L., nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A investigação objetivou desenvolver um sistema analítico/gráfico que permita a classificação dos níveis de produtividade de povoamentos destas espécies. Foram abatidas 46 e 55 árvores dominantes de *P.elliottii* e de *P. taeda* respectivamente, em diversos locais, distintos por características edafo-climáticas e altitude. A análise de tronco total foi realizada nas árvores dominantes abatidas, permitindo, assim a obtenção dos valores de altura total e da respectiva idade, necessários ao ajuste de funções de crescimento. O ajuste da equação polinomial inversa de Prodan aos dados apresentou resultados consistentes nos vários locais considerados.

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 1.800.000 ha^{***} de reflorestamentos foram programados no Brasil com espécies do gênero *Pinus*, no período 1967/84. Deste total, cerca de 1.160.000 ha (64,27%) encontram-se implantados nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em sua maioria, com *P. elliottii* e *P. taeda*. Pela extensão destes povoamentos, eles abrangem áreas com grande variabilidade de solos e condições climáticas de influência marcante na qualidade do sítio. Como este imenso patrimônio está vinculado ao processo produtivo, as decisões de manejo devem ser norteadas por informações que contribuam para aumentar o rendimento dos investimentos aplicados nessa atividade. Um dos parâmetros utilizados para a otimização do planejamento do uso de recursos florestais é o índice de sítio. O conhecimento deste parâmetro contribui para a previsão da produção qualitativa e quantitativa das florestas, além de auxiliar nas decisões acerca das alternativas de manejo.

Esta investigação exploratória teve o objetivo de determinar a magnitude da variação do potencial produtivo de povoamentos de *P. elliottii* e *P. taeda* nas regiões mencionadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O crescimento e a produção de povoamentos florestais são determinados por quatro fatores (CLUTTER et al. 1983): a) idade do povoamento; b) capacidade produtiva inerente à área; c) extensão da utilização desta capacidade; e d)

* Trabalho apresentado no 5º. Congresso Florestal Brasileiro.

** Engs. Florestais, M.Sc. pesquisadores da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

*** Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose. **Relatório** anual. São Paulo, 1984. 170p.

tratamentos silviculturais. O segundo fator mencionado acima refere-se, basicamente, à qualidade do sítio, que é definida como o potencial de produção de madeira de um local para uma espécie ou tipo florestal.

Em função da importância prática da avaliação da qualidade do sítio, muitos esforços têm sido devotados ao desenvolvimento de técnicas para a sua quantificação. Várias dessas técnicas e seus usos no Brasil foram apresentados por OLIVEIRA & ARHENS (1984).

Na classificação pelos elementos dendrométricos (BURGER 1976), ou métodos diretos (CLUTTER et al.1983), a altura das árvores dominantes de uma espécie, a uma determinada idade, é mais estreitamente relacionada com a capacidade produtiva do sítio do que qualquer outra variável de fácil determinação no povoamento (SPURR & BARNES 1980).

As equações de índice de sítio podem ser desenvolvidas a partir de informações de três fontes básicas: a) medição da altura de povoamentos em parcelas temporárias a uma certa idade; b) medições de altura repetidas em diversas idades em parcelas permanentes; e c) reconstrução do padrão de desenvolvimento de altura/idade de árvores individuais, através da análise de tronco (CLUTTER et al. 1983).

Segundo esses autores, as várias técnicas utilizadas para o ajuste de curvas de índice de sítio podem ser vistas como casos especiais de três métodos gerais. Um deles é o método de predição de parâmetros. Este tem sido muito utilizado para ajustar equações de índice de sítio e requer a análise de tronco ou remedições. A análise de tronco leva a resultados de qualidade semelhantes aos obtidos por remedições, em um menor período de tempo.

Isto resulta numa estimativa realística da produtividade potencial do sítio, já que mais informações (série de crescimento real) são obtidas de cada árvore amostrada (CURTIS 1964).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de abrangência do estudo compreende os Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo que, até o momento, as informações são referentes somente ao Paraná.

Parcelas de 400 m² foram alocadas em povoamentos equianos, de idade igual ou superior a dez anos, com desenvolvimento aparentemente não influenciado por situações extremas. Foram consideradas dominantes as árvores com DAP médio da parcela, mais duas vezes o desvio padrão da respectiva distribuição diamétrica. Uma árvore dominante por parcela foi derrubada e o seu tronco seccionado. Discos com aproximadamente 6 cm de espessura foram retirados a 0,10 m, 0,30 m, 0,50 m e 1,30 m de altura e, a partir daí, a intervalos de 2 m.

Os dados foram coletados na estação dormente de crescimento apical.

A Figura 1 apresenta os locais amostrados, até o momento, no Estado do Paraná. Um grande esforço foi feito para o estabelecimento de amostras em todos os estratos identificáveis da área, tendo sido coletados dados de 55 e 46 árvores de *P. taeda* e *P. elliottii*, respectivamente. Pretende-se complementar esta distribuição com unidades amostrais adicionais, principalmente em regiões marginais de plantio. Utilizou-se o método de predição de parâmetro que, conforme CLUTTER et al.

(1983), requer dados oriundos da análise de tronco ou de remedições em parcelas permanentes.

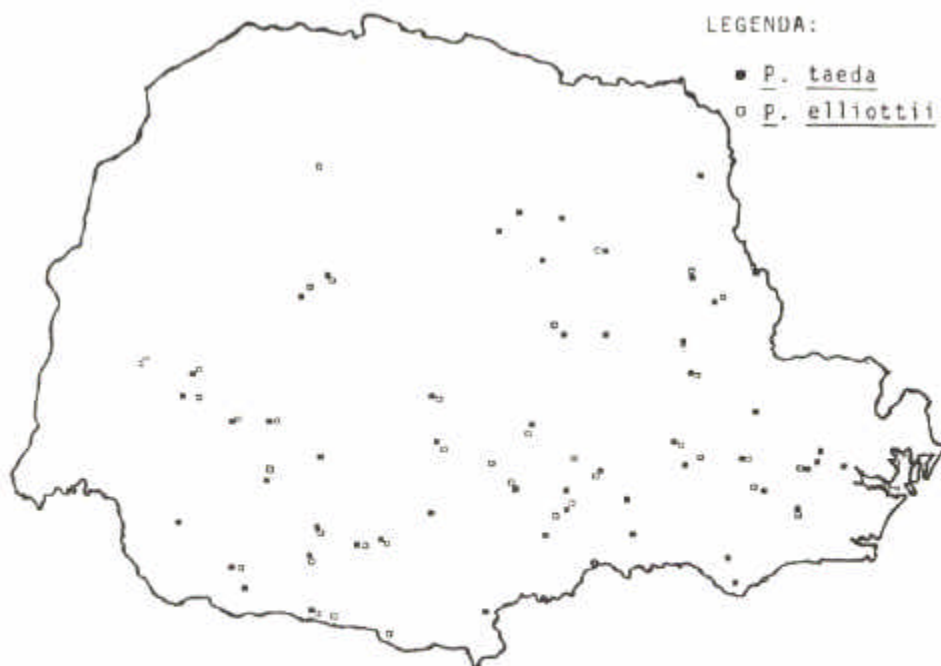


FIGURA 1. Locais de coleta de dados no Estado do Paraná.

FIGURA 1. Locais de coleta de dados no Estado do Paraná.

A análise de tronco total foi realizada segundo a metodologia proposta por BARUSSO (1977), e, na seqüência, os seguintes passos: a) ajuste de uma função altura/idade (linear ou não) aos dados obtidos de cada árvore; b) uso de cada curva ajustada para atribuir um valor de índice de sítio a cada árvore; c) relacionamento dos parâmetros das curvas ajustadas com índices de sítio através de procedimentos de regressão.

Com os pares de valores altura/idade obtidos da análise de tronco, procedeu-se à seleção inicial dos modelos. Preliminarmente, decidiu-se pela adoção de um único modelo, a equação de Prodan (1968), citado por MACHADO (1978, 1980) e BARUSSO (1977), que é:

$$h_0 = \frac{l^2}{b_0 + b_1l + b_2l^2} \quad (1)$$

onde:

h_0 = altura dominante, em metros (obtida pela análise do tronco).

l = idade em anos.

b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação.

Para a estimativa dos coeficientes, transformou-se a equação (1) em:

$$Z_i = b_0 + b_1l + b_2l^2 \quad (2)$$

onde:

$$Z_i = \frac{l^2}{h_0}$$

Como os plantios dessas coníferas no Brasil são relativamente recentes, há um limitado número de povoamentos em idade avançada, ideal para a amostragem, tornando o conjunto de dados muito restrito. Portanto, trabalhou-se, paralelamente, em povoamentos com idades de dez e doze anos, como idade índice ou idade referência, possibilitando, assim, a opção pela idade mais conveniente, no final dos trabalhos.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

O número de árvores submetidas ao modelo de Prodan, até o momento, restringiu-se, aproximadamente, à metade do total de árvores amostradas para cada espécie. Assim, os resultados estão limitados à apresentação do desempenho da equação tão somente a esses dados, já que o número de classes de sítio, bem como seu intervalo, serão definidos somente após o processamento total das informações.

Para *P. elliotii* os valores de Z_i aos dez anos de idade (Z_{10}) ficaram entre 4,95 e 7,81, que indicam os limites inferior e superior de 12,80 m e 20,20 m de altura, respectivamente. Aos doze anos, os valores de Z_i ficaram entre 6,22 e 10,18 ou 14,13 e 23,13 m, respectivamente.

Para *P. taeda* Z_{10} ficou entre 4,86 e 9,36 ou limites inferior e superior de 10,68 e 20,55 m de altura, respectivamente. Os valores de Z_{12} , ficaram entre 5,93 e 13,31, correspondendo a 10,82 e 24,27 m de altura aos doze anos de idade.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os coeficientes e as estatísticas obtidas com o modelo de Prodan, por árvore. Os dados analisados até o momento confirmam os resultados obtidos por MACHADO (1980), que utilizando idade índice de dez anos, encontrou variação nos limites de sítio entre 10,3 e 20,5 m para o *P. taeda*, em povoamentos localizados na região de Telêmaco Borba, PR. Existe, portanto, a possibilidade de se estender o uso das curvas desenvolvidas por MACHADO (1980) para todo o Estado do Paraná, com boas perspectivas de sucesso.

As Tabelas 3 e 4 apresentam as alturas obtidas pela análise de tronco e estimadas pelo modelo de Prodan. Nesta amostragem, não houve diferença nas tendências de crescimento entre *P. elliotii* e *P. taeda*. Como se trata de amostra restrita, esperam-se, na análise global, subsídios que permitam detectar diferenças no desenvolvimento em altura entre essas espécies.

Após a incorporação de dados adicionais e com o ajuste da equação de Prodan a cada nova árvore, serão definidas as classes de sítio, assim como os intervalos entre as classes. Concomitantemente ao uso da equação de Prodan, tenciona-se, também, testar alguns modelos como os sugeridos por CARMEAN (1972). Esta decisão fundamenta-se na conveniência de se examinarem vários modelos para a seleção daquele que melhor se ajuste aos dados.

TABELA 1. Coeficientes e estatísticas da equação $Z = b_0 + b_1I + b_2I^2$ para *P.elliottii* no Estado do Paraná.

Índice	Parcela	b_0	b_1	b_2	Z_{10}	Z_{12}	R^2	$S_{(y\hat{x})}\%$	F^{**}
01	02	0,653497	0,253868	0,0267101	5,79039	7,47278	0,9978	3,11	2546
02	05	-0,314686	0,619113	0,0084062	6,03482	8,33336	0,9970	3,72	2021
03	07	0,199784	0,512365	0,0116522	6,53595	7,99558	0,9987	2,32	3783
04	16	0,662081	0,366502	0,0140627	5,57725	6,92643	0,9991	1,86	9965
05	22	0,37139	0,418269	0,0172463	6,20733	7,89909	0,9998	0,88	43039
06	25	0,355014	0,426868	0,0163296	6,2461	7,86029	0,9998	0,91	30760
07	26	0,0639691	0,527178	0,01702	7,54717	8,70619	0,9939	5,31	817
08	29	1,16591	0,281827	0,0214007	6,1237	7,53929	0,9849	6,70	283
09	34	1,05381	0,314942	0,0268158	6,84463	8,67996	0,9877	6,69	402
10	42	0,733584	0,144333	0,0310079	5,27148	6,94313	0,9980	3,08	2783
11	04	1,95263	0,233986	0,0253781	6,934813	8,495575	0,9954	3,59	1299
12	14	0,142174	0,479453	0,0161673	6,600660	8,172531	0,9969	3,74	1593
13	24	0,147408	0,454225	0,017864	6,273526	8,135593	0,9969	3,80	1588
14	12	0,786632	0,431486	0,0217242	7,178751	8,983157	0,9968	3,57	1856
15	37	0,210664	0,693254	0,00557041	7,645260	9,331851*	0,9976	2,96	1699
16	44	-0,0925205	0,444619	0,0243785	6,802721	8,753412*	0,9981	3,20	1900
17	10	0,134044	0,347511	0,0133353	4,850495	6,224459*	0,9995	1,44	7411
18	19	-0,0805075	0,469199	0,017492	6,127451	8,053681	0,9978	3,32	2521
19	41	2,43868	0,0411749	0,0504095	7,812500	10,189603*	0,9924	3,98	456

b_0 , b_1 e b_2 = coeficientes da equação

Z_{10} e Z_{12} = valores estimados de Z nas idades 10 e 12 anos.

R^2 = coeficiente de determinação múltiplo.

$S_{(y\hat{x})}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem da média.

F^{**} = valores de F, todos significativos ao nível de $\alpha = 1\%$.

Com um conjunto maior de dados, espera-se melhorar a estimativa da verdadeira forma da curva de crescimento, eliminar distorções resultantes da possível associação entre idade do povoamento e qualidade de sítio, investigar a ocorrência do poliformismo e verificar a existência de diferenças entre curvas de índice de sítio para as espécies estudadas.

TABELA 2. Coeficientes e estatísticas da equação $Z = b_0 + b_1I + b_2I^2$ para *P. taeda* no Estado do Paraná.

Área	Parcela	b_0	b_1	b_2	Z ₁₀	Z ₁₂	R ²	S(yx)%	F**
1	02	0,266419	0,292473	0,0263026	5,86511	7,63118	0,9988	2,5237	4025
2	06	1,185	0,246346	0,0233476	6,10128	7,42271	0,9978	3,0074	3680
3	08	0,55284	0,462488	0,02969906	7,5188	9,50498	0,9976	3,3830	2272
4	11	1,61921	0,677692	-0,0045437	7,83086	9,097221*	0,9740	6,8989	150
5	15	1,5141	0,097333	0,0299263	5,45554	6,99371	0,9991	1,9575	10237
6	17	0,720307	0,359407	0,0151148	5,78035	7,46116	0,9982	2,8529	4174
7	18	0,986524	0,166911	0,0300028	5,78035	7,46116	0,9932	5,7300	1015
8	20	0,0552101	0,381672	0,0256307	8,285004	10,140845	0,9995	1,5523	14770
9	21	0,11714	0,333035	0,021934	5,78035	7,46116	0,9981	3,1540	3765
10	23	0,504389	0,353185	0,0179463	5,81396	7,46116	0,9993	1,6523	9180
11	28	0,810412	0,307279	0,021849	6,01685	7,47278	0,9992	1,9758	10733
12	30	0,181962	0,399566	0,0142007	5,96559	7,021535*	0,9952	4,5094	735
13	31	0,364921	0,577103	0,0143087	7,57576	9,350610*	0,9982	2,5972	1977
14	32	1,72248	-0,030862	0,0532012	6,80272	9,013110*	0,9990	5,7257	316
15	33	0,705016	0,343453	0,0180553	5,91366	7,46116	0,9993	1,5618	8445
16	36	0,816811	0,323384	0,0222647	6,30915	7,85172	0,9990	1,8880	5193
17	38	1,28816	0,151124	0,0312257	6,0024	7,38464	0,9844	7,1576	284
18	38	2,10751	0,185367	0,0449973	8,84956	10,511	0,9938	4,4549	809
19	43	0,564625	0,186787	0,028046	5,22739	6,71018	0,9954	4,6642	1088
20	39	1,88182	0,487027	0,016239	5,058169	6,651270	0,9937	6,0542	272
21	09	0,121754	0,311564	0,0193467	5,058169	6,651270	0,9991	2,0749	5862
22	13	0,461731	0,319188	0,0302964	6,697924	8,638272	0,9997	1,2174	20458
23	27	1,93174	0,27417	0,0344474	8,000000	10,133709	0,9971	3,0114	1910
24	19	0,360352	0,381381	0,00691104	4,865266*	5,932114*	0,9975	2,8809	601
25	33	0,732449	0,153355	0,0745428	9,72279	13,306872*	0,9977	3,4682	1109
26	37	1,88696	-0,095215	0,08271	5,302326	12,654622*	0,9982	2,8129	2276
27	55	0,272263	0,302085	0,0213368	5,292917	6,776471	0,9972	3,7328	2132
28	64	1,40472	0,264105	0,0531507	9,960840*	12,227681*	0,9926	4,9948	401

b_0 , b_1 e b_2 = coeficientes da equação

Z₁₀ e Z₁₂ = valores estimados de Z nas idades 10 e 12 anos.

R² = coeficiente de determinação múltiplo.

S(z_y)% = erro padrão da estimativa em porcentagem da média.

F** = valores de F, todos significativos ao nível de $\alpha = 1\%$.

TABELA 3. Alturas dominantes (aos 10 e 12 anos) por local, obtidos por análise de tronco (h_{10} e h_{12}) e estimados pela equação de Prodan (\hat{h}_{10} e \hat{h}_{12}) / *Pinus elliottii*

Árvore nº	h_{10}	h_{12}	\hat{h}_{10}	\hat{h}_{12}
1(02)	17.05	18.87	17.18	19.04
2(06)	16.39	19.40	16.71	19.19
3(08)	13.30	15.15	13.25	15.14
4(11)	12.77	15.83*	12.59	15.83
5(15)	18.33	20.59	18.25	20.60
6(17)	17.30	19.30	17.16	19.97
7(18)	17.30	19.30	18.00	20.03
8(20)	15.30	17.20	15.54	17.30
9(21)	17.30	19.30	17.73	19.80
10(23)	17.20	19.30	17.15	19.65
11(28)	16.62	19.27	16.48	18.84
12(30)	17.90	20.51*	17.86	20.51
13(31)	13.20	15.40*	13.22	15.40
14(32)	14.70	15.98*	14.85	15.98
15(33)	16.91	19.30	16.82	19.39
17(36)	15.85	18.34	15.93	18.22
18(35)	16.66	19.50	16.29	18.95
19(38)	11.30	13.70	11.82	13.32
20(43)	19.13	21.46	19.09	21.04
21(39)	12.07	14.20	11.94	14.31
22(09)	19.77	21.65	19.33	21.67
23(13)	14.93	16.67	14.96	16.64
24(27)	12.50	14.21	12.32	14.14
25(19)	20.55*	24.27*	20.55	24.27
26(33)	10.29*	10.82*	10.29	10.82
27(37)	10.75	11.38*	10.74	11.38
28(55)	18.87	21.25*	18.89	21.25
29(64)	10.68*	11.78	10.68	11.78

* Valor estimado.

TABELA 4. Alturas dominantes (aos 10 e 12 anos) por local obtidos por análise de tronco (h_{10} e h_{12}) e estimados pela equação de Prodan (\hat{h}_{10} e \hat{h}_{12}) - *P. taeda*

Árvore nº	h_{10}	h_{12}	\hat{h}_{10}	\hat{h}_{12}
1(02)	17.27	19.27	17.05	19.08
2(05)	14.42	17.28	14.89	17.30
3(07)	15.30	18.01	15.41	17.94
4(16)	17.93	20.79	17.75	20.67
5(22)	16.11	18.23	15.93	18.29
6(25)	16.01	18.32	15.98	18.39
7(26)	13.25	16.54	14.21	16.29
8(29)	16.33	19.10	16.33	18.87
9(34)	14.61	16.59	14.52	16.56
10(42)	18.97	20.74	18.96	20.78
11(04)	14.42	16.95	14.64	17.11
12(14)	15.15	17.62	15.26	17.51
13(24)	15.94	17.70	15.44	17.62
14(12)	13.93	16.03	13.75	15.84
15(37)	13.08	15.43*	12.99	15.43*
16(44)	14.70	16.45*	14.72	16.45*
17(10)	20.20*	23.13*	20.23	23.13*
18(19)	16.32	19.50	15.75	17.87
19(41)	12.80*	14.13*	12.68	14.13*

* Valor estimado.

5. REFERÊNCIAS

- BARUSSO, A.P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1977. 133p. Tese Mestrado.
- BURGER, D. **Ordenamento florestal 1;** a produção florestal. 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências Agrárias, 1976. 1 v.
- CARMEAN, W.H. Site index curves for upland oaks in the central states. **Forest Science** 18(2):109-20, 1972.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H. & BAILEY, R.L. **Timber Management;** a quantitative approach. New York, J. Wiley, 1983. 333p.

- CURTIS, R.O. A stem-analysis approach to site - index curves. **Forest Science**, **10**(2):241-56, 1964.
- MACHADO, S. do A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the state of Paraná - Brazil**. Seattle, University of Washington, 1978. 170 p. Tese Doutorado.
- MACHADO, S. do A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Paraná. **Floresta**, **11**(2):4-18, 1980.
- OLIVEIRA, Y.M.M. de & AHRENS, S. Classificação da produtividade de povoamentos de *P. elliotii* e *P. taeda* estabelecidos no sul do Brasil. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., Nova Prata, 1984. **Anais**. Nova Prata, Secretaria de Agricultura do RS/Prefeitura de Nova Prata, 1985. p.571-81.
- SPURR, S.H. & BARNES, B.V. **Forest ecology**. 3. ed. New York, J. Wiley, 1980. 687p.