



Classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro

Site classification of Pinus caribaea var. hondurensis in the region of Triângulo Mineiro, Minas Gerais, Brazil

Fernando da Silva^[a], Andréia Pimentel^[b], Ana Paula Dalla Corte^[c], Carlos Roberto Sanquetta^[d]

^[a] Engenheiro florestal, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM - Brasil, e-mail: silvaflorestal@gmail.com

^[b] Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: pimentell@hotmail.com

^[c] Engenheiro florestal, doutor, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: anapaulacorte@gmail.com

^[d] Engenheiro florestal, PhD., Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: sanquetta@ufpr.br

Resumo

O objetivo deste estudo foi testar modelos para construção de curvas de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, selecionando o melhor segundo critérios estatísticos. Foram usados 4.998 pares de altura dominante média (Hd/Idade) provenientes de parcelas temporárias medidas ao longo de quatro inventários florestais realizados nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008. A idade variou de 6 a 17 anos e a altura das árvores dominantes variou de 7,0 a 22,5 metros. Os dados foram divididos em quatro classes de produtividade com base na idade de referência de 15 anos. Nessa idade, a altura média das árvores dominantes variou de 13,5 a 19,6 m. O modelo de Schumacher foi o que apresentou melhor desempenho. O modelo ajustou de maneira satisfatória o padrão de crescimento dos povoamentos dando segurança para a classificação de sítio para essa espécie na região do estudo.

Palavras-chave: Classificação de sítio. Manejo florestal. Altura dominante.

Abstract

The aim of this study was to test models for building site curves for Pinus caribaea var. hondurensis, and to selecting the best according to statistical criteria. It was used 4998 pairs of average dominant height (Hd / age) from temporary measures installments over four forest inventories conducted in the years 2005, 2006, 2007 and 2008. Ages ranged from 6 to 17 years and the height of the dominant trees ranged from 7.0 to 22.5 meters. Data were divided into four classes of productivity based on the reference age of 15 years. At this age, the average height of dominant trees ranged from 13.5 to 19.6 m. The Schumacher model showed the best result.

This model fitted the pattern of growth of the stands in a satisfactory manner, giving security for the site classification of this specie in the study region.

Keywords: Site classification. Forest management. Dominant height.

Introdução

Sempre que se pretende implantar um empreendimento florestal numa determinada região, é necessário ter um amplo conhecimento da espécie a ser introduzida, bem como do potencial produtivo do local (SELLE, 1993). Várias alternativas para efetuar a classificação da produtividade dos locais foram estudadas, as quais correlacionam fatores edáficos, climáticos, fisiográficos, a vegetação rasteira, registros históricos e elementos dendrométricos tais como, área basal e altura (CUNHA NETO et al., 1996).

Segundo Spurr (1952), a qualidade absoluta do sítio é teoricamente medida pela quantidade de madeira produzida. No entanto, essa produção também é condicionada por fatores genéticos (espécie, procedência, variabilidade), idade de rotação e densidade do povoamento. Porém, esse critério só poderia ser utilizado como medida da capacidade produtiva do sítio quando esses outros fatores fossem constantes, o que é impraticável. Considerando a necessidade de se obter um modelo para prognose do volume dos povoamentos ao longo do tempo, a classificação da capacidade produtiva por meio de índices locais é uma ferramenta essencial. A construção dos regimes de manejo é feita a partir de estimativas do volume em função da idade, área basal e índice de sítio. Assim, grande parte das decisões tomadas, no meio florestal, dependem de atividades como o mapeamento das unidades de produção, por meio de índices de sítio. No Brasil, são poucos os estudos relacionados, e apenas algumas empresas possuem suas áreas mapeadas, em termos de capacidade de produção.

A determinação da produtividade florestal é um recurso básico quando o objetivo é aplicar um sistema integrado de manejo visando à racionalização e otimização do uso dos recursos florestais. Assim, este trabalho teve como objetivo testar modelos para classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e selecionar o melhor segundo critérios estatísticos.

Materiais e métodos

Os plantios estão localizados no município de Prata (MG), situado às margens da BR-153 (Transbrasiliana), no centro geográfico do Triângulo Mineiro, distante 640 km da capital Belo Horizonte. Na latitude de 19°18'27" S e longitude de 48°55'22" W, estando a uma altitude de 631 m acima do nível médio do mar.

Segundo a classificação de Koeppen, o clima predominante é do tipo Aw, tropical semiúmido, com chuvas de verão e períodos secos no inverno. A temperatura média anual na cidade é de 24 °C, mínima de 7 °C no outono e máxima de 40 °C na primavera, média anual de 1.500 mm. A Figura 1 mostra a localização do município de Prata, no Estado de Minas Gerais.

Neste estudo, foram utilizados dados de 4.998 árvores dominantes, distribuídas em nove áreas, buscando cobrir toda a variação em termos de altura dominante dos povoamentos. Os dados utilizados foram obtidos a partir de inventários florestais realizados nos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008, complementados com dados de parcelas permanentes medidas em anos anteriores, além da medição de 650 parcelas temporárias e análise de tronco de 200 árvores. Cada árvore selecionada foi abatida, e discos de aproximadamente 3 cm foram retirados ao longo do fuste nas alturas de 0,0 m; 0,50 m; 1,00 m; 1,30 m; 2,00 m; 3,00 m; e assim sucessivamente até a altura total da árvore. Para gerar as curvas de índice de sítio foram ajustados modelos tradicionalmente utilizados no meio florestal. Os modelos são mostrados a seguir no Quadro 1.

Como critérios para seleção do melhor modelo, foram utilizados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro padrão da estimativa em porcentagem ($Sy_x\%$) e a análise gráfica dos resíduos. A análise gráfica dos resíduos, em um ajuste de regressão, embora seja considerada por alguns autores como subjetiva, é um fator determinante como critério de escolha de um modelo, mesmo que as estimativas de ajuste de precisão apresentem valores aceitáveis.



Figura 1 - Localização do município de Prata (MG)

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE PRATA¹, 2011.

Quadro 1 - Modelos testados para a estimativa de índices sítios

Prodan	Chapman-Richards	Schumacher
$Hd = \frac{I^2}{a + b \cdot I + c \cdot I^2}$	$Hd = \beta_0(1 - e)^{-\beta_1 \cdot (1/I)^{\beta_2}}$	$Hd = \beta_0(e^{-\beta_1 \cdot (1/I)})$

Legenda: Hd = Altura das 100 árvores mais grossas por hectare (m); I = Idade (em anos); $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes do modelo.

Fonte: Dados da pesquisa.

A dispersão dos pontos, ao longo do eixo da variável independente, indica como o ajuste está se comportando, ou seja, se está subestimando ou superestimando a variável dependente. Portanto, quanto mais próxima do eixo das abscissas estiver a nuvem de pontos, mais preciso é o ajuste, e, ainda, quanto mais homogênea e paralela ao eixo das abscissas se encontrar essa nuvem, menos tendencioso é o ajuste para o conjunto de dados.

A idade índice é a idade padrão escolhida arbitrariamente, na qual se compara a altura dominante dos diferentes sítios (SCHNEIDER, 1993). A escolha dessa idade depende da rotação da espécie e deve ser preferencialmente fixada no fim desta. Neste estudo, optou-se por uma idade de referência de 15 anos, pois esta é a rotação adotada usualmente no manejo dos plantios na região do estudo. A amplitude adotada entre as classes de sítio foi de 4m.

¹ Disponível em: <<http://www.prata.mg.gov.br/?id=6>>. Acesso em: 10 jul. 2011.

Para gerar as curvas de sítio adota-se um artifício matemático, no qual o eixo das abscissas é deslocado para a idade de referência, a transformação matemática gera uma equação para o modelo de Schumacher, conforme o exemplo a seguir:

Modelo Ajustado

$$H = \beta_0 * e^{\left(\frac{\beta}{\text{Idade}}\right)}$$

Modelo rearranjado (modelo 4)

$$H_{\text{dom}} = S \left(\frac{e(\beta_1 * 1/I)}{e(\beta_1 * 1/I_{\text{ref}})} \right)$$

Resultados e discussão

Uma das características exigidas em ajustes de sítio é que os dados cubram toda variação de idades,

a fim de apresentar a distribuição. Os dados foram sumarizados, e, a seguir, é apresentada a estatística descritiva. Tal procedimento também foi usado por Machado et al. (1997), para caracterizar dados utilizados na classificação de sítio para bracinga na região metropolitana de Curitiba. Na Tabela 1, está apresentada a estatística descritiva dos dados de altura dominante para as idades dos plantios florestais.

Os três modelos testados e as respectivas estatísticas de ajuste estão apresentados na Tabela 2. Ao analisar os resultados, observa-se que os valores do coeficiente de determinação variaram de 0,90 para o modelo 1 a 0,94 para o modelo 2. Comparando com os valores encontrados por Scolforo e Machado (1988a,b), os coeficientes de determinação encontrados no presente trabalho são mais baixos. Para o modelo número 1, de Prodan, o R^2_{aj} foi de 0,90, seguido dos modelos de 0,92 e Chapman-Richard, 0,93. No que se refere ao erro padrão da estimativa (S_{yx} %),

Tabela 1 - Descrição dos dados de altura dominante para cada idade

Idade	Média	Desvio Padrão	CV %	Mínimo	Máximo	n
6	10,280	0,592	5,756	7	14,5	228
7	11,488	0,985	8,574	7	19	492
8	12,361	0,778	6,296	8,5	18	639
9	13,624	1,354	9,936	10	19,5	541
10	14,481	1,324	9,145	10	20	637
11	14,461	1,200	8,300	11	21	597
12	15,985	1,111	6,952	12	21	264
13	17,034	0,971	5,701	13	20	278
14	17,879	0,773	4,322	12,5	20	303
15	18,970	0,679	3,582	13,5	19,6	326
16	20,489	0,304	1,484	16	21	425
17	22,012	0,289	1,311	17	22,5	268
Total						4.998

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 - Estatísticas de ajuste dos modelos testados

Modelo	β_0	β_1	β_2	R^2_{aj}	S_{yx}	$S_{yx}\%$	F
Prodan	7,29351	0,43936	0,02385	0,90415	1,041	6,8091	5562,46
Chapman-Richards	35,0478	0,04470	1,18907	0,93988	1,676	10,9836	6596,63
Schumacher	31,3419	7,50617	-	0,92336	1,140	7,4613	8334,90

Fonte: Dados da pesquisa.

os resultados encontrados foram melhores que os encontrados por Scolforo e Machado (1988a;b), tanto para *Pinus taeda*, como para *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina. Analisando essa estatística, o modelo 3 foi ligeiramente superior ao modelo 2, porém inferior ao modelo 1 de Prodan. A seguir, estão apresentadas as estatísticas de ajuste dos modelos testados.

A análise de resíduos para os três modelos ajustados mostrou que apenas o modelo de Prodan apresentou tendenciosidades ao longo de toda a amplitude (Gráfico 1).

O modelo escolhido foi o de Schumacher, o qual apresentou R^2_{aj} de 0,92336, e S_{yx} % de 7,4613. Esse modelo, apesar de apresentar valores residuais elevados, resultou em um baixo grau de dispersão para a maioria das estimativas, comparado aos dados reais e as estimativas dos demais modelos testados, o que significa que, dentre os modelos testados, o modelo de Schumacher apresenta os menores erros nas estimativas realizadas. O maior

valor de F também foi observado para esse modelo. Os modelos de Prodan e Chapman-Richards apresentam uma distribuição de resíduos tendenciosa, o que resultaria em uma classificação incorreta. O modelo de Schumacher segue a tendência dos dados reais com certo grau de confiança e consegue abranger grande parte da variação dos dados, permitindo estabelecer quatro classes de produtividade bem definidas e distribuídas. Dessa forma, todos os demais modelos foram considerados inapropriados para a representação de curvas de produção de altura dominante para a espécie em questão na região estudada.

Sendo I_{ref} a idade de referência, no presente estudo considerou-se, como referência, idade igual a 15 anos. Para a geração dos valores numéricos da Tabela 3 e das curvas do Gráfico 2, basta substituir I por idade fixando I_{ref} em 15 anos e processar a equação 4, na sua forma rearranjada para as diferentes idades de 1 a 24 anos. O modelo de Schumacher foi usado para gerar a família

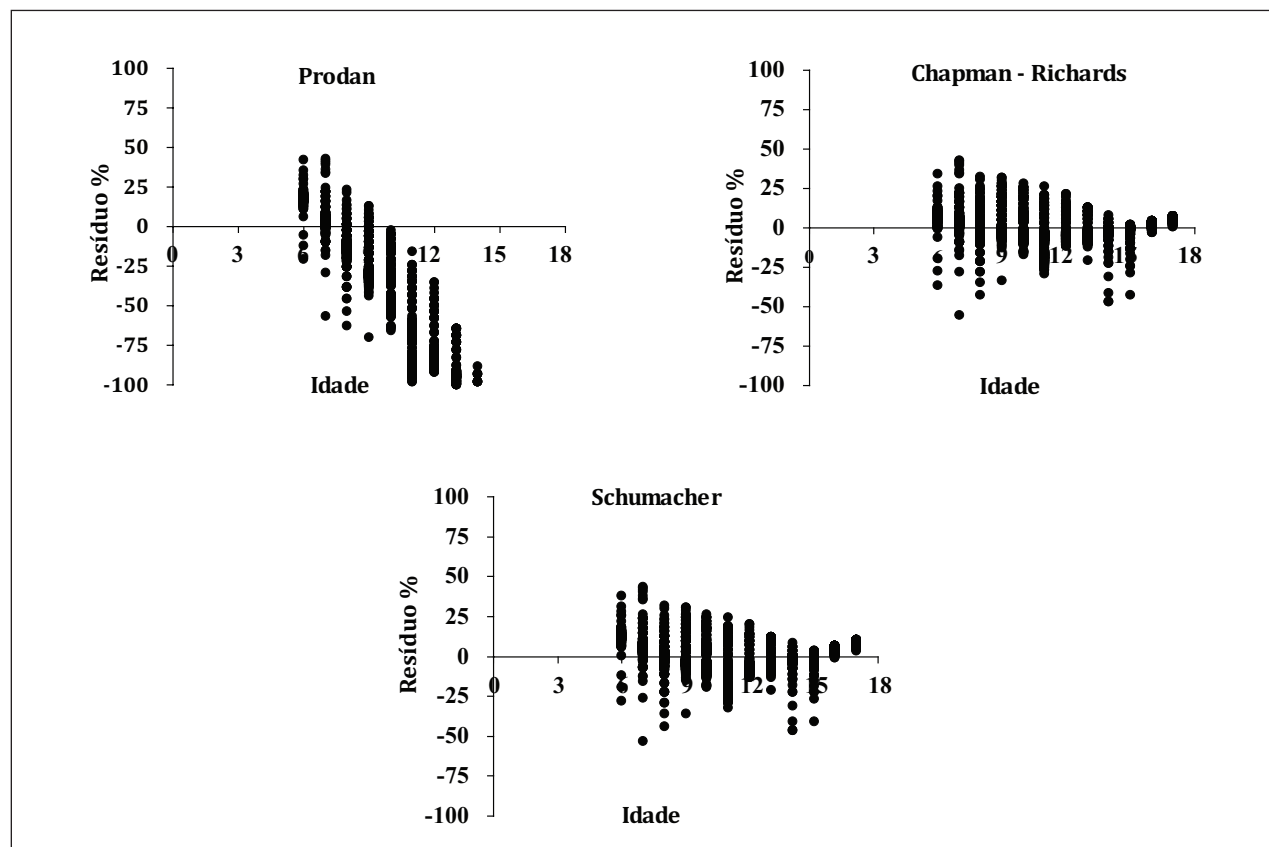


Gráfico 1 - Distribuição residual dos modelos ajustados

Fonte: Dados da pesquisa.

de curvas limites de quatro classes pré-definidas de sítio, na idade índice de 15 anos (Gráfico 2). Os valores de índice de sítio estão apresentados na Tabela 3.

Em todos os estudos dedicados a construir curvas de índice de sítio, verifica-se que, à medida que o povoamento florestal envelhece, menores são as variações do padrão de desenvolvimento em altura, induzindo a uma maior estabilidade da altura dominante dentro da respectiva classe de sítio. Por isso, segundo Machado et al. (1997), não se recomenda fazer a classificação de sítio em povoamentos florestais em idades jovens. O número de curvas de índice de sítio necessárias para cobrir a variação de sítios no local foi

definido pela plotagem dos pares de dados de altura dominante e idade sobre as curvas, geradas pelo modelo escolhido. Os respectivos valores de altura dominante gerados por meio do modelo estão representados graficamente no Gráfico 2. Os valores de altura dominante variam de 13,5 a 29,5 m, na idade de referência de 15 anos.

As árvores que se encontram próximas aos limites da classe de sítio podem flutuar de uma classe para outra, demonstrando suscetibilidade às mudanças climáticas ou a qualquer outro fator do meio que possa influenciar no seu desenvolvimento. A flutuação dessas árvores entre as classes de sítio pode comprometer a classificação e, para minimizar essa implicação, pode-se aumentar o intervalo

Tabela 3 - Limites das alturas estimadas em metros, por idade e classes de sítio

Idade	Classe IV		Classe III		Classe II		Classe I	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
1	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
2	0,52	0,68	0,68	0,83	0,83	0,99	0,99	1,14
3	1,82	2,36	2,36	2,90	2,90	3,45	3,45	3,99
4	3,41	4,42	4,42	5,43	5,43	6,44	6,44	7,45
5	4,96	6,43	6,43	7,90	7,90	9,37	9,37	10,84
6	6,37	8,26	8,26	10,15	10,15	12,04	12,04	13,93
7	7,62	9,88	9,88	12,14	12,14	14,39	14,39	16,65
8	8,71	11,29	11,29	13,88	13,88	16,46	16,46	19,04
9	9,67	12,54	12,54	15,40	15,40	18,27	18,27	21,13
10	10,51	13,63	13,63	16,74	16,74	19,86	19,86	22,97
11	11,25	14,59	14,59	17,92	17,92	21,26	21,26	24,59
12	11,91	15,44	15,44	18,97	18,97	22,50	22,50	26,03
13	12,50	16,20	16,20	19,91	19,91	23,61	23,61	27,31
14	13,03	16,89	16,89	20,75	20,75	24,60	24,60	28,46
15	13,50	17,50	17,50	21,50	21,50	25,50	25,50	29,50
16	13,93	18,06	18,06	22,18	22,18	26,31	26,31	30,44
17	14,32	18,56	18,56	22,80	22,80	27,05	27,05	31,29
18	14,67	19,02	19,02	23,37	23,37	27,72	27,72	32,07
19	15,00	19,44	19,44	23,89	23,89	28,33	28,33	32,78
20	15,30	19,83	19,83	24,37	24,37	28,90	28,90	33,43
21	15,57	20,19	20,19	24,80	24,80	29,42	29,42	34,03
22	15,83	20,52	20,52	25,21	25,21	29,90	29,90	34,59
23	16,07	20,83	20,83	25,59	25,59	30,35	30,35	35,11
24	16,29	21,11	21,11	25,94	25,94	30,76	30,76	35,59

Fonte: Dados da pesquisa.

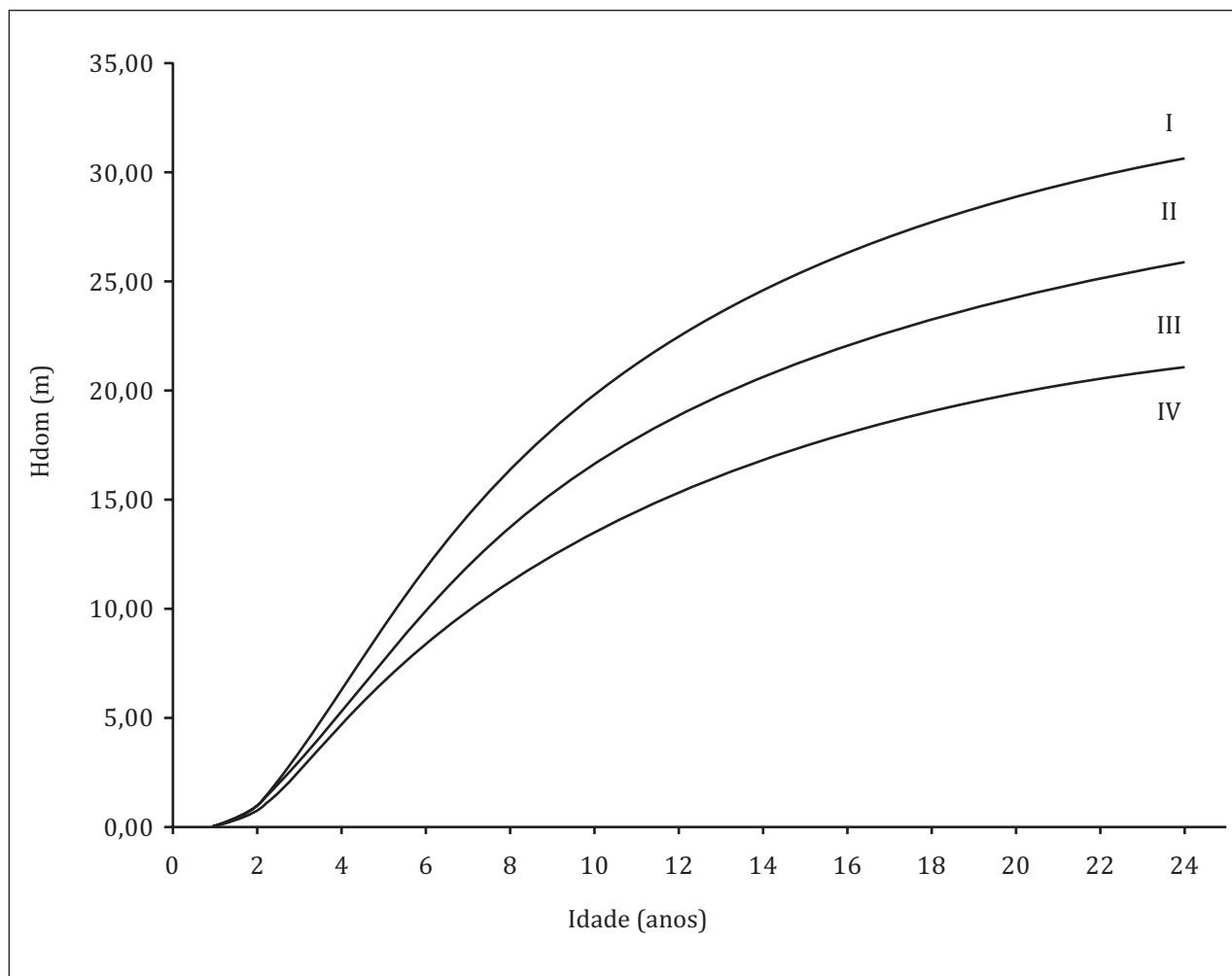


Gráfico 2 - Curvas para classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a região de Prata (MG)

Fonte: Dados da pesquisa.

entre as classes até um limite em que a classificação não perca sua funcionalidade. Alguns estudos desenvolvidos recentemente utilizaram a modelagem espacial das características edafoclimáticas, obtendo resultados satisfatórios e aumentando a segurança na classificação.

Além disso, outro problema a ser considerado na classificação de sítios são os elevados valores de altura dominante nas idades iniciais. Tal fato decorre da evolução da qualidade genética dos plantios, resultantes dos programas de melhoramento empregados. O procedimento correto a ser realizado na ocasião da troca do material genético é o de promover novamente a classificação de sítio da área, pois as respostas aos fatores edafoclimáticos do novo material implantado serão diferentes das expressadas pelo material antigo;

caso contrário, o fato poderá comprometer a robustez dos resultados e a confiabilidade das classes estabelecidas.

Conclusões

As curvas de índice de sítio construídas com o modelo de Schumacher representaram melhor o padrão de desenvolvimento de alturas dominantes ao longo das idades, podendo ser usadas com segurança para a classificação da capacidade produtiva dessa espécie na região estudada.

O modelo biológico de Chapman-Richards, embora apresentasse estatísticas (R^2_{aj}) ligeiramente superiores ao modelo de Schumacher, apresentou o maior erro entre os modelos testados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Faber Castell, por autorizar o uso de seus dados para a elaboração deste trabalho.

Referências

CUNHA NETO, F. R. et al. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na região de Luiz Antônio, SP. **Revista Cerne**, v. 2, n. 2, p. 119-141, 1996.

MACHADO, S. A. et al. Classificação de sítio para bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 35, p. 21-37, 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PRATA. **Mapa de localização**. Disponível em: <<http://www.prata.mg.gov.br/?id=6>>. Acesso em: 10 jul. 2011.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1993.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, v. 18, n. 1-2, p. 140-158, 1988a.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, v. 18, n. 1-2, p. 159-173, 1988b.

SELLE, G. L. **Influência de fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS**. 85 f. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

SPURR, S. H. **Forest Inventory**. New York: The Ronald Press Company, 1952.

Recebido: 20/07/2011

Received: 07/20/2011

Aprovado: 14/03/2013

Approved: 03/14/2013