

Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR

Growth, distribution tendencies of biometric variables and hypsometric relations in young stands of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., in Tijucas do Sul, PR

Alexandre Bernardi Koehler¹; Marcio Coraiola²; Sylvio Péllico Netto²

Resumo

A hipótese central do presente estudo é responder se existem variações no crescimento inicial da araucária em diferentes situações de plantio, levando-se em consideração a localização do talhão, o uso anterior do solo e a modalidade de plantio, nesse caso, plantio puro ou consorciado com a erva-mate. A segunda resposta a ser dada é se nessas condições a relação hipsométrica permanece constante, independentemente do sítio. A metodologia consistiu na instalação de 54 parcelas temporárias, cada qual com 400m² (20 x 20 m), localizadas aleatoriamente em uma área de 28,4 hectares, em cinco diferentes sub-áreas. Após a tabulação dos dados dendrométricos DAP e ht (m) as parcelas foram classificadas de acordo com o local (talhão), o uso anterior do solo e a modalidade de plantio (puro ou consorciado), compondo cinco diferentes situações denominadas sítios naturais. Posteriormente foram calculadas e comparadas as médias das variáveis DAP, ht, hdom, além da sobrevivência (sob%) e a relação entre altura e diâmetro (h/d). O próximo passo consistiu no ajuste da distribuição das variáveis ht e DAP por meio de funções probabilísticas. Os resultados mostram que existem diferentes padrões de crescimento entre os diferentes sítios naturais, o que seria uma primeira contribuição para a classificação de sítios na área. Os ajustes das curvas de frequência de distribuição das variáveis dap e ht bem como o ajuste da relação hipsométrica igualmente ilustram a ocorrência de diferentes padrões de crescimento.

Palavras-Chave: Crescimento, Sítios naturais, *Araucaria angustifolia*

Abstract

This study deals with the juvenile growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze. in different plantation situations, in Tijucas do Sul County, State of Paraná, at the age 7,3 years. The methodology consisted of measuring fifty-four temporary plots, each one with 400 m² (20 x 20 m), randomly located over an area of 28,4 ha, in five different sub-areas. After the tabulation of the inventory (DBH and ht) the units were classified in accordance with the site (stand), the previous land use and the type of plantation (pure or associated), composing 5 different situations called "natural sites". Then the means of the variables DBH, ht, hdom, survival (%) and the relationship between total height and diameter (h/d) were calculated and compared. The next step consisted of fitting the distribution of the variables ht and DBH using probabilistic functions. The results showed different standards of growth between the different natural sites. This represents a first contribution to site classification in the area. The fitting of the frequency distribution curves of DBH and ht illustrate the occurrence of different growth patterns.

Keywords: Growth, Natural sites, *Araucaria angustifolia*

INTRODUÇÃO

As florestas nativas brasileiras vêm sendo havidamente exploradas sem o devido planejamento silvicultural. Diante deste quadro, diversas espécies de madeiras nobres acabaram por ser incluídas em listas de plantas ameaçadas de

extinção. A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze. figura nessas listas e as reservas naturais da espécie são cada vez menores, apesar de impedimentos legais para a exploração deste remanescente.

Para reverter esta situação o cultivo florestal pode ser uma alternativa conservacionista economicamente viável. No entanto, a araucária é uma

¹Professor do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Caixa Postal 129 – São José dos Pinhais, PR – 83010-500 – E-mail: alexandre.koehler@pucpr.br

²Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Caixa Postal 129 – São José dos Pinhais, PR – 83010-500 – E-mail: marcio.coraiola@pucpr.br; pellico.sylvio@pucpr.br

espécie mais exigente, quando comparada a outras espécies exóticas de rápido crescimento. Este fato desestimulou que empresas e pessoas físicas investissem nessa idéia e a maioria das iniciativas neste sentido nem sempre obtiveram bons resultados. A experiência acumulada mostra que o cultivo da araucária deve ser precedido de uma criteriosa seleção de sítios, uma vez que em áreas inadequadas o crescimento pode ser insatisfatório.

Tijucas do Sul, município com cerca de 15.000 habitantes e 672 km², localizado ao sul da cidade de Curitiba, reúne algumas características que em tese qualificam a região como propícia ao cultivo dessa espécie, não só pelo imenso estoque de pinheiros que suas florestas abrigavam no passado, mas também pelo desenvolvimento da silvicultura regional, que hoje é uma das principais atividades do meio rural daquela porção do estado do Paraná. Desde o início da década de 1970, o cultivo do pinus e, mais recentemente, os eucaliptos resistentes às geadas constituem a base da produção de madeira na região. Quanto às espécies nativas, podem ser citadas somente a erva-mate (*Ilex paraguayensis* St. Hil.) e a araucária, ainda que a representatividade de suas áreas plantadas perante as exóticas seja muito pequena.

Diversos autores afirmam que a araucária necessita de solos profundos e drenados para crescer bem (CARVALHO, 1994; EMBRAPA, 1988; SILVA *et al.*, 2001). Outros, ao avaliarem a característica química desejável dos solos para este tipo de cultivo, indicaram que os elementos N, P, K, Al, Ca e Mg apresentam correlações positivas com o crescimento da araucária (HOOG, 1981; HOOG e DIETRICH, 1979; CASSOL, 1982; BLUM, 1980). Outros aspectos da biologia do solo também são importantes, sobretudo no que diz respeito à abundância das micorrizas no solo (MOREIRA-SOUZA *et al.*, 2003).

Estudos sobre o desenvolvimento da espécie indicam níveis de crescimento bastante variáveis em detrimento das condições de sítio, ou seja, plantar a espécie parece ser uma questão da correta escolha do sítio, sobretudo quando o objetivo é a formação de madeira de alto valor agregado e boa reputação no mercado de produtos florestais. Já para fins ambientais, seu cultivo na região é inegavelmente uma boa medida conservacionista.

O presente estudo aborda uma iniciativa de plantio da espécie na região, que embora tenha sido concebido para atender à questão ambiental, contempla também a perspectiva de geração de receita por meio da comercialização da ma-

deira e de sementes, ou pinhões. Como se trata de plantios ainda com menos de 10 anos de idade, foi avaliado o crescimento inicial em altura e em diâmetro em diferentes situações de plantio.

A hipótese central do trabalho é responder se existem variações no crescimento inicial em diferentes situações de plantio, levando-se em consideração a localização do talhão, o uso anterior do solo e a modalidade de plantio, nesse caso, plantio puro ou consorciado com a erva-mate. A segunda resposta a ser dada é se nessas condições a relação hipsométrica permanece constante, independentemente do sítio.

MATERIAL E MÉTODOS

Os plantios em análise localizam-se no município de Tijucas do Sul, estado do Paraná, entre as latitudes de 25° 45' e 26° 00' S e longitudes de 49° 20' e 49° 05', conforme ilustrado na Figura 1. De toda a área de cultivo de araucária considerada optou-se por amostrar somente os talhões plantados entre janeiro e março de 2000, que totalizam 28,4 hectares, distribuídos em diferentes situações.

Segundo registros fornecidos pela empresa, existem áreas onde foi plantada somente a araucária e, outras áreas onde essa espécie foi consorciada com a erva-mate, a qual foi introduzida no sistema dois anos antes. Outra fonte de variação em relação às áreas diz respeito ao uso anterior do solo. Parte das áreas tinha como regra o uso agrícola tradicional, onde o milho era a principal cultura, outra parte era cultivada com espécies forrageiras, outras ainda com tabaco, além de uma área expressiva que abrigou uma rotação de vinte e dois anos de *Pinus elliottii*, explorada um ano antes do plantio da araucária. O espaçamento adotado foi o de 2,5 m entre plantas e 4 m entre linhas, nos plantios puros, e 3 x 4 m nos plantios consorciados.

A metodologia de amostragem adotada foi a inteiramente aleatória. Nesta orientação foram distribuídas, ao acaso, 54 unidades amostrais temporárias, com área fixa de 400m² (20 x 20 m), dentro das quais todas as árvores tiveram suas alturas totais (ht) e diâmetros à altura do peito (DAP) medidos. Após a medição foram calculadas para cada parcela a altura dominante (hdom), segundo o conceito de Hart, ou seja, o equivalente as 100 árvores mais altas por hectare, conforme a citação de Scheeren *et al.* (1999), a sobrevivência em porcentagem (sob%) e a relação altura diâmetro média da parcela (hd).



Figura 1. Enquadramento geográfico da área de estudos.
Figure 1. Geographical position of the study area.

Para efeitos comparativos foi elaborada a classificação prévia de sítios baseada na localização do plantio, no uso anterior do solo e na modalidade de plantio (puro ou consorciado com erva-mate). Desta proposta resultou a divisão da área em cinco sub-áreas, denominadas sítios naturais, tendo todos recebido um código de identificação (Tabela 1).

Para a comparação das médias das variáveis DAP, ht, hdom, sob% e relação h/d em cada sítio natural, foi realizada uma análise de variância segundo o modelo experimental inteiramente casualizado e posteriormente o teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 95%. Infelizmente não ocorre uma repetição dos fatores uso anterior do solo e modalidade de plantio em todos os locais e isto impossibilitou a execução de um delineamento e posterior análise de dados segundo um esquema fatorial.

Complementarmente foram ajustadas as frequências de distribuição das variáveis ht e DAP por meio de funções probabilísticas. O primeiro passo consistiu na escolha do melhor modelo de ajuste para todo o conjunto de dados, com

base no ranking de desempenho no teste de Kolmogorov-Smirnov. As funções foram previamente escolhidas e validadas com base nas indicações de Silva (2003) e Weber (2006). Essas funções estão listadas na Tabela 2. Após a seleção do melhor modelo os dados de altura e diâmetro foram reagrupados em cinco sítios naturais e ajustados separadamente.

Por fim foi feito o ajuste da relação hipsométrica com os pares de dados de altura e diâmetro tabulados. Foram testados diferentes modelos para seleção daquele de melhor aderência aos dados conforme a listagem da Tabela 3. Todos os modelos testados têm apenas o diâmetro como variável independente e a altura como variável dependente.

A seleção do melhor modelo foi feita com base nos valores do coeficiente de determinação ajustado (R^2), no erro padrão da estimativa (S_{yx}) e na observação comparativa dos gráficos de resíduos. Após a escolha do melhor modelo, a relação hipsométrica foi ajustada separadamente em cada sítio natural, para verificar se a tendência varia de acordo com as características do local de plantio.

Tabela 1. Classificação das áreas de plantio de araucária em sítios naturais e número de parcelas inseridas em cada situação, em Tijucas do Sul, PR.

Table 1. Classification of araucaria stands according to natural sites and number of sampling units included in each situation, in Tijucas do Sul, PR.

Código	Localização	Modalidade	Uso anterior	Unidades amostrais
La/Er/L1	lagoa	c/ erva-mate	Feijão, Milho	9
La/Er/L2	lagoa	c/ erva-mate	FORAGEIRAS	6
Ca/Pu/Pi	campestre	puro	<i>Pinus</i>	10
En/Er/L1	encosta da serra	c/ erva-mate	Feijão, Milho	23
En/Pu/L3	encosta da serra	puro	Tabaco (fumo)	6
Total				54

Tabela 2. Funções de densidade de probabilidade testadas para ajuste da distribuição das alturas totais (ht) e diâmetros (DAP).

Table 2. Probability density functions tested for diameters (DBH) and total height (ht) distribution fitting.

Função	Expressão matemática	Parâmetros
Weibull	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)$	α é o parâmetro de forma, β é o parâmetro escala e γ é o parâmetro locação
Gama	$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \exp \left(- \frac{x(x - \gamma)}{\beta} \right)$	α é o parâmetro de forma, β é o parâmetro escala e γ é o parâmetro locação
Beta	$f(x) = \frac{1}{b(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x - \alpha)^{\alpha_1-1} (b - x)^{\alpha_2-1}}{(b - \alpha)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}}$	α_1 e α_2 são os parâmetros forma e a, b são os parâmetros limite
Exponencial	$f(x) = \lambda \exp(-\lambda(x - \gamma))$	λ é o parâmetro de escala invertido e γ é o parâmetro locação
Normal	$f(x) = \frac{\exp \left(- \frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right)}{\sigma \sqrt{2\pi}}$	σ é o parâmetro escala e μ é o parâmetro locação

Tabela 3. Modelos testados para ajuste da relação hipsométrica de araucárias jovens plantadas em Tijucas do Sul, PR.

Table 3. Models tested for the hypsometric relationship adjustment of young planted araucarias, in Tijucas do Sul, PR.

Modelo	Equação	Fonte	Espécie
1 Petterson	$1/(h - 1,3) = b_0 + b_1/dap + \epsilon_i$	Durlo (1998)	<i>Cabralea canjerana</i>
2 Näslund	$h = (dap^2 / (b_0 + b_1 dap)^2) + 1,3 + \epsilon_i$		
3 Parabólico	$h = b_0 + b_1(dap) + b_2(dap^2) + \epsilon_i$	Santos (2006)	<i>Araucaria angustifolia</i>
4 Curtis	$Ln(h) = b_0 + (b_1/dap) + \epsilon_i$		
5 Stoffels	$Ln(h) = b_0 + b_1 Ln(dap) + \epsilon_i$		
6 Henricksen	$h = b_0 + b_1 Ln(dap) + \epsilon_i$		
7 Gompertz	$h = b_0 \exp[-b_1 \exp(-b_2 dap)] + \epsilon_i$		
		Batista et al. (2001)	Várias

Nota: h é a altura total das árvores individuais (m); dap é o diâmetro à altura do peito (cm); b_0, b_1, b_2 são os coeficientes a serem estimados; ϵ_i é o erro estatístico com distribuição normal, média zero e variância constante; e Ln é o logaritmo natural.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância, comparando as médias das variáveis DAP, ht, sob%, hdom e hd, comprova a hipótese inicial de que existem diferenças no desenvolvimento inicial dos plantios nos diferentes sítios naturais (Tabela 4). Para todas as variáveis testadas a hipótese da diferença entre as médias foi aceita.

O teste de Tukey possibilitou o ordenamento das médias obtidas em cada sítio natural, conforme demonstrado na Tabela 5. Pelo que se observa, as menores alturas dominantes foram registradas nos talhões com os códigos En/Pu/L3 e Ca/Pu/Pi, plantados puros em áreas utilizadas antigamente para os cultivos do tabaco e do pinus, respectivamente. Valores intermediários de hdom foram observados nos

Tabela 4. Análises de variância para o ordenamento das parcelas de acordo com o local de plantio.

Table 4. Variation analysis for the plots classified according to planting site.

	Soma do Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	Nível de Significância
Sobrevivência	Tratamento 7702,431	4	1925,608	5,829	0,001**
	Resíduo 16187,315	49	330,353		
	Total 23889,745	53			
dap	151,165	4	37,791	10,771	0,000 **
	171,917	49	3,509		
	323,082	53			
ht	40,818	4	10,205	8,509	0,000 **
	58,764	49	1,199		
	99,582	53			
hdom	56,164	4	14,041	10,489	0,000 **
	65,596	49	1,339		
	121,760	53			
hd	0,793	4	0,198	25,652	0,000 **
	0,379	49	0,008		
	1,171	53			

** Significante ao nível de 0,01.

talhões consorciados com erva-mate, En/Er/L1 e La/Er/L2, em áreas que abrigavam roças de milho e feijão e cultivo de forrageiras para pastagem, respectivamente. Já a maior altura dominante foi observada nos talhões do sítio natural La/Er/L1, os quais foram implantados em solos bons, planos ou suave-ondulados, profundos em sua maioria e consorciados com a erva-mate. O fato dos melhores crescimentos terem sido observados nas terras agrícolas corrobora com os resultados de Hoog (1981), que já observara que a araucária é sensível a solos de baixa qualidade, em especial àqueles abandonados após o cultivo exaustivo.

Quanto à sobrevivência não se observa o mesmo ordenamento da altura dominante, o que indica que este fator está mais relacionado com os tratos culturais e intensidade de replantio do que com a qualidade do sítio em si. Já a relação h/d parece estar relacionada com a qualidade do sítio, vide que os dois maiores valores foram pareados com as duas menores alturas dominantes.

Em relação à variabilidade dentro de cada situação de plantio percebe-se que os blocos mais homogêneos em altura dominante são aqueles identificados pelo código Ca/Pu/Pi, referindo-se aos talhões inseridos na unidade de manejo denominada campestre (Tabela 6).

Nas demais áreas diferenças superiores a 1 m nas alturas dominantes mostram que o sistema de classificação natural dos sítios deveria incluir mais um critério. Possivelmente a inclusão de um atributo edáfico poderia gerar um

ordenamento das amostras mais homogêneo em relação às médias das alturas dominantes, levando-se em consideração a relação existente entre as características do solo e esta variável (HOOG, 1981; BLUM, 1980; SANTOS, 2006). Contudo, este refinamento exigiria a execução prévia de um mapa de solo em escala de detalhe, para que fosse possível categorizar as unidades amostrais, o que não se dispunha no momento da amostragem.

Distribuição diamétrica

Considerando todo o conjunto de dados, nenhuma das funções testadas teve um desempenho que indicasse uma boa aderência aos dados, pois o teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que o valor crítico é inferior ao D, desvio máximo observado, para todos os ajustes (Tabela 7). Para contornar este problema os dados foram ajustados separadamente de acordo com o sítio natural.

Tabela 7. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para todo o conjunto de dados de DAP, obtidos em um povoamento com 7 anos, em Tijucas do Sul, PR.

Table 7. Results from Kolmogorov-Smirnov test for the total amount of data of DBH, obtained in a 7 years-old stand, in Tijucas do Sul, PR.

Função	D (V. crítico= 0,03756, $\alpha=0,05$, n=1307)
Weibull	0,14343**
Gama	0,09793*
Beta	0,34961 **
Exponencial	0,16404 **
Normal	0,11043 *

Nota: ns diferença não significativa a 0,01, significativa a 0,01 e ** significativa a 0,05

Tabela 5. Valores médios de diâmetro médio, altura média, sobrevivência, relação altura/diâmetro e altura dominante de *A. angustifolia* nas parcelas mensuradas divididas de acordo com as condições do plantio.

Table 5. Average values of diameter, height, survivorship, height/diameter relationship for *A. angustifolia* in the plots, classified according to plantation conditions.

Código	dap(cm)	ht (m)	Sob%	h/d	Hdom (m)
En/Pu/L3	2,64+0,59 a	2,06+0,35 a	77,08+7,32 ab	0,96+0,13 b	3,35+0,72 a
Ca/Pu/Pi	3,21+0,75 a	2,68+0,51 ab	83,50+8,68 b	0,96+0,09 b	4,00+0,57 ab
La/Er/L2	4,77+1,83 ab	3,23+1,28 abc	62,00+19,14 ab	0,85+0,06 ab	4,97+1,20 b
En/Er/L1	6,59+2,12 b	4,13+1,12 bc	55,35+22,38 a	0,68+0,09 a	5,25+1,16 bc
La/Er/L1	6,97+2,48 b	4,69+1,58 c	78,11+17,32 ab	0,78+0,07 ab	6,77+1,70 c

Nota: Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey B ao nível de 5%. Como o tamanho dos grupos não é homogêneo a média harmônica foi utilizada no cálculo.

Tabela 6. Valores de altura dominante (Hdom, m) e coeficiente de variação de acordo com a situação de plantio.

Table 6. Dominant height (H dom, m) and coefficient of variation according to the plantation situation.

Código	máximo	mínimo	média	CV%
La/Er/L1	8,85	3,71	6,77	25,07
La/Er/L2	7,00	3,71	4,97	24,12
Ca/Pu/Pi	5,28	3,14	4,00	14,17
En/Er/L1	7,55	3,18	5,25	22,19
En/Pu/L3	4,79	2,81	3,35	21,58

Para o conjunto de dados analisados separadamente para cada sítio natural o melhor ajuste foi obtido pela função normal. Este desempenho foi repetidamente melhor para todos os outros sítios naturais e apenas no caso do sítio natural En/Pu/L3 essa função não mostrou boa aderência aos dados. Os parâmetros ajustados para cada sítio natural estão listados na Tabela 8 e a Figura 2 mostra as curvas da tendência de distribuição em cada um dos sítios naturais.

Da análise da Figura 2 pode-se extrair que quanto mais centrado, se aproximando da distribuição normal, estiver o pico de frequência, melhor é o sítio. Com base nesse critério conclui-se que os sítios naturais de melhor desempenho no crescimento em diâmetro são La/Er/L1 e En/Er/L1. Em seguida vem o sítio La/Er/L2, restando, como de piores desempenhos, os sítios Ca/Pu/Pi e En/Pu/L3. Este ordenamento confirma os resultados obtidos por meio da análise de Tukey com as alturas dominantes.

Distribuição das alturas

Pelo que se observa na Tabela 9 o melhor ajuste da distribuição da ht foi obtido pela função Weibull, seguida das funções Beta e Gama, respectivamente. Tanto a função Exponencial quanto a Normal não mostraram boa aderência aos dados

analisados conjuntamente. De fato essa função tem sido empregada em povoamentos florestais, não só no ajuste de distribuições de alturas, como também de diâmetros (WEBER, 2006).

Tabela 9. Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov para todo o conjunto de dados de ht, obtidos em um povoamento com sete anos, em Tijucas do Sul, PR.

Table 9. Results from Kolmogorov-Smirnov test for the total data set of ht, obtained from a 7 years-old Araucaria stand, in Tijucas do Sul, PR.

Função	D (V. crítico = 0,03756, a 0,05, n=1307)
Weibull	0,0274ns
Gama	0,0328 ns*
Beta	0,0288 ns
Exponencial	0,1956**
Normal	0,0834**

Nota: ns diferença não significativa de 0,01 e ** significativo a 0,05

O ajuste da distribuição das alturas em cada sítio natural (Tabela 10) comprova que é possível esboçar a qualidade do sítio dessa forma, pois quanto maior o valor de β , melhor qualificado é o sítio. A Figura 3 ilustra isto, onde se vê que quanto mais a direita estiver marcado o pico de frequência, maior é a moda da altura dominante. Nota-se aí, também, que as tendências de distribuição das alturas são muito similares aquelas observadas com os diâmetros, resultando na mesma situação.

Tabela 8. Coeficientes ajustados pela função normal para a distribuição do DAP nos cinco sítios naturais de um povoamento de araucária de sete anos, em Tijucas do Sul, PR.

Table 8. Coefficients adjusted by the normal function for the distribution of DBH of the 5 natural sites in a 7 years-old stand of Araucaria, in Tijucas do Sul, PR.

Sítio	α	μ	V. crítico	D
La/Er/L1 (n=235)	3,9849	6,5979	0,1063	0,0776 ns
La/Er/L2 (n=126)	2,9114	3,6239	0,1451	0,1164 ns
Ca/Pu/Pi (n=334)	1,7141	2,9356	0,0891	0,0817 ns
En/Er/L1 (n=427)	3,0661	6,4403	0,0788	0,0606 ns
En/Pu/L3 (n=185)	1,5464	2,0622	0,1198	0,1358 **

Nota: ns diferença não significativa a 0,01 e ** diferença significativa a 0,05

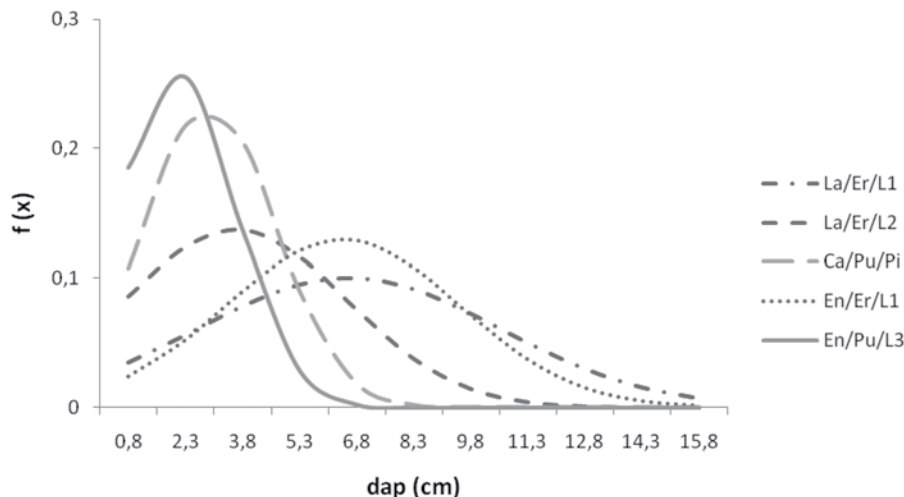


Figura 2. Tendências de distribuição dos diâmetros para os cinco sítios naturais avaliados.
Figure 2. Tendencies of diameter distribution for the five evaluated natural sites.

Tabela 10. Coeficientes ajustados pela função normal para a distribuição das alturas nos cinco sítios naturais de um povoamento de araucária de sete anos, em Tijucas do Sul, PR.

Table 10. Adjusted coefficients by the Weibull function for the distribution of total heights of the 5 natural sites in a 7 years-old Araucaria stand, in Tijucas do Sul, PR.

Sítio	α	β	γ	V. crítico	D
La/Er/L1 (n=235)	2,7234	6,1898	-0,77142	0,10626 ^{ns}	0,08177 ^{ns}
La/Er/L2 (n=126)	1,6782	3,0013	0,31869	0,14512 ^{ns}	0,06797 ^{ns}
Ca/Pu/Pi (n=334)	2,8694	2,9918	0,0061	0,08913 ^{ns}	0,04027 ^{ns}
En/Er/L1 (n=427)	3,3655	5,0552	-0,3951	0,07883 ^{ns}	0,03103 ^{ns}
En/Pu/L3 (n=185)	2,1645	1,9950	0,27829	0,11977 ^{ns}	0,06796 ^{ns}

Nota: ns diferença não significativa a 0,01

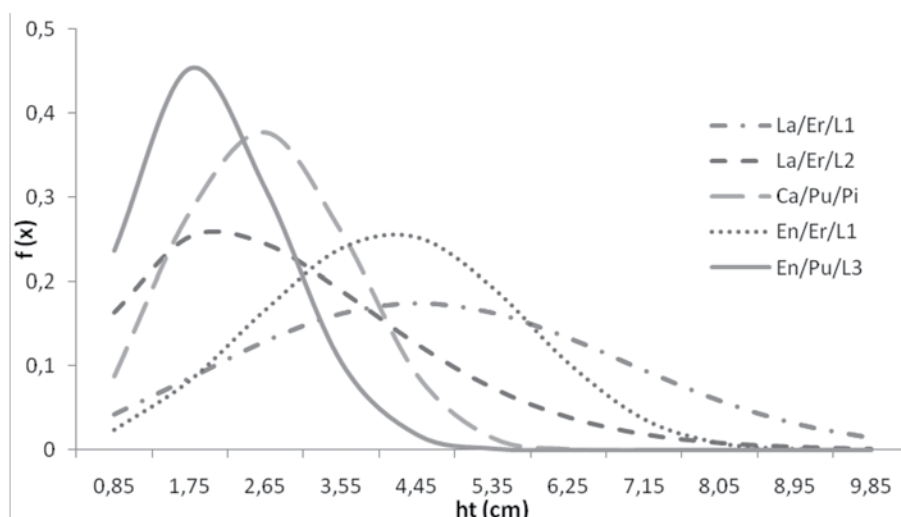


Figura 3. Tendências de distribuição das alturas para os cinco sítios naturais avaliados.

Figure 3. Height distribution tendencies for the five evaluated natural sites.

Outro fato interessante é a indicação de que quanto maior a assimetria da curva, pior é a qualidade do terreno, observado tanto para o diâmetro, quanto para a altura. Já nos melhores sítios as curvas obtidas corroboram Burger (1980), que afirmou que as curvas de frequência das alturas num povoamento puro equiâneo são semelhantes a uma distribuição normal, com uma leve tendência de assimetria positiva.

Relação hipsométrica

O teste dos modelos hipsométricos evidenciou diferentes performances em relação ao ajuste. Considerando os valores do coeficiente de determinação (R^2) há uma equivalência en-

tre alguns modelos, sendo pareados neste caso os modelos de Näslund, Parabólico, Stoffels e Gompertz. Já em relação ao Syx, o melhor ajuste dos dados deu-se pelo modelo de Stoffels (Tabela 11). Barros *et al.* (2002) e Soares *et al.* (2004) foram alguns, entre outros, que já haviam percebido a eficiência desse modelo, considerado simples, para ajustes hipsométricos.

Para confirmar a escolha do modelo mais adequado aos dados observados recorreu-se à análise dos gráficos dos resíduos, em que as diferenças entre as funções testadas ficam mais explícitas. Novamente o modelo de Stoffels foi superior, em função da distribuição mais homogênea dos pontos residuais, conforme se pode observar na Figura 4.

Tabela 11. Equações ajustadas e suas medidas de precisão para 709 pares de dados de altura e diâmetro de araucárias com sete anos de idade.

Table 11. Adjusted equations and their precision measurements for 709 height and diameter pairs of data of 7 years-old Araucaria trees.

Modelo	Modelo ajustado	R^2	S_{yx} %
Petterson	$1/(h - 1,3) = -0,840337 + 6,482964/dap$	0,425	46,5
Näslund	$h = (dap^2 / (1,889965 + 0,263842 \cdot dap^2)) + 1,3$	0,913	14,1
Parabólico	$h = 0,878108 + 0,606478 (dap) + -0,00796 (dap^2)$	0,915	14,0
Curtis	$Ln(h) = 1,757559 + (-1,849745/dap)$	0,746	6,5
Stoffels	$Ln(h) = 0,265229 + 0,657275 \cdot Ln(dap)$	0,914	3,9
Henricksen	$h = 0,341437 + 2,336602 \cdot Ln(dap)$	0,842	24,3
Gompertz	$h = 9,913530 \exp[-2,107586 \cdot \exp(-0,154293 \cdot dap)]$	0,914	14,1

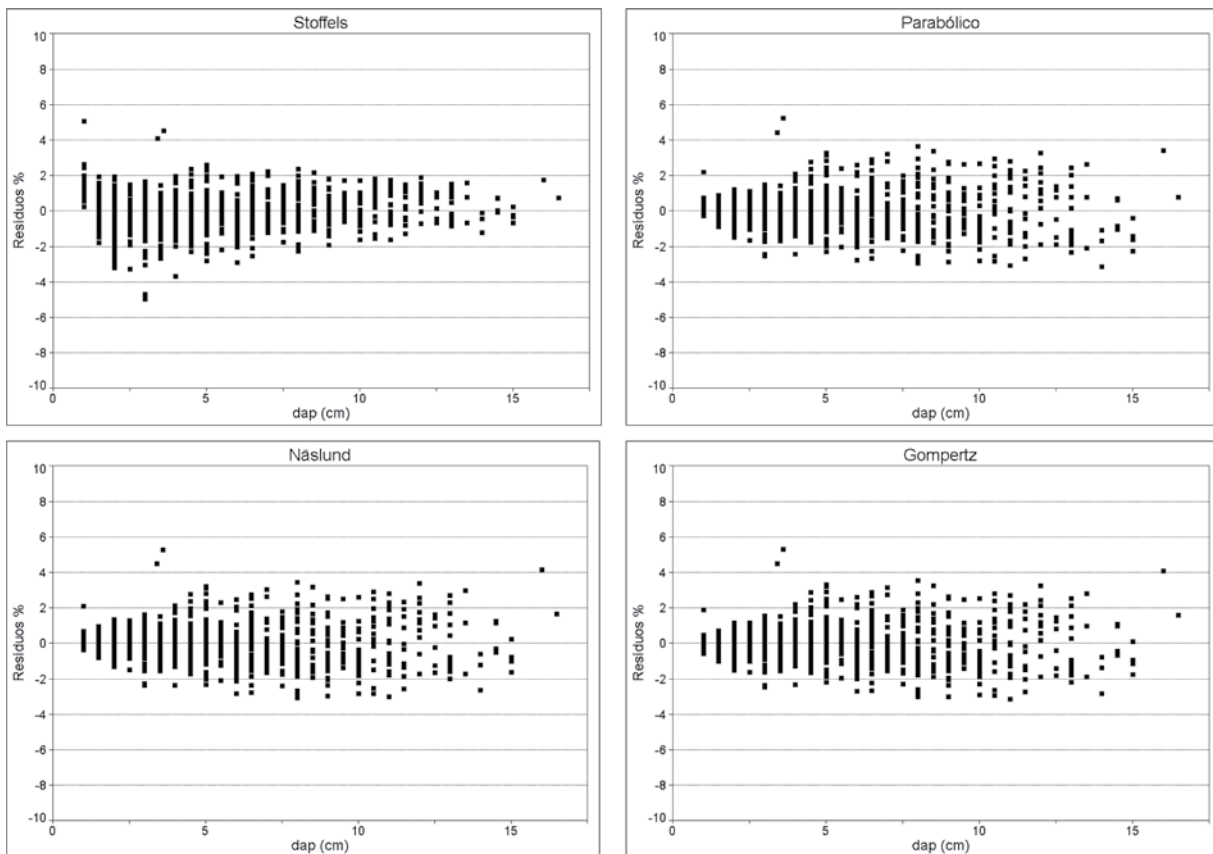


Figura 4. Gráficos dos resíduos para estimativa da altura em função do DAP.
Figure 4. Graphs of residuals for height estimates in relation to DBH.

O ajuste do modelo selecionado separadamente para cada sítio natural mostrou que existem variações nas tendências hipsométricas (Tabela 12). Se por um lado não há uma lógica para classificação do melhor desempenho de crescimento em função dos coeficientes ajustados, por outro se comprova a necessidade de ajustes

independentes para cada um dos sítios naturais, quando se deseja aumentar a precisão dos modelos preditivos da altura. A Figura 5 reforça esta conclusão, pois aí se observam diferentes inclinações nas curvas de ajuste hipsométrico para os cinco sítios naturais considerados.

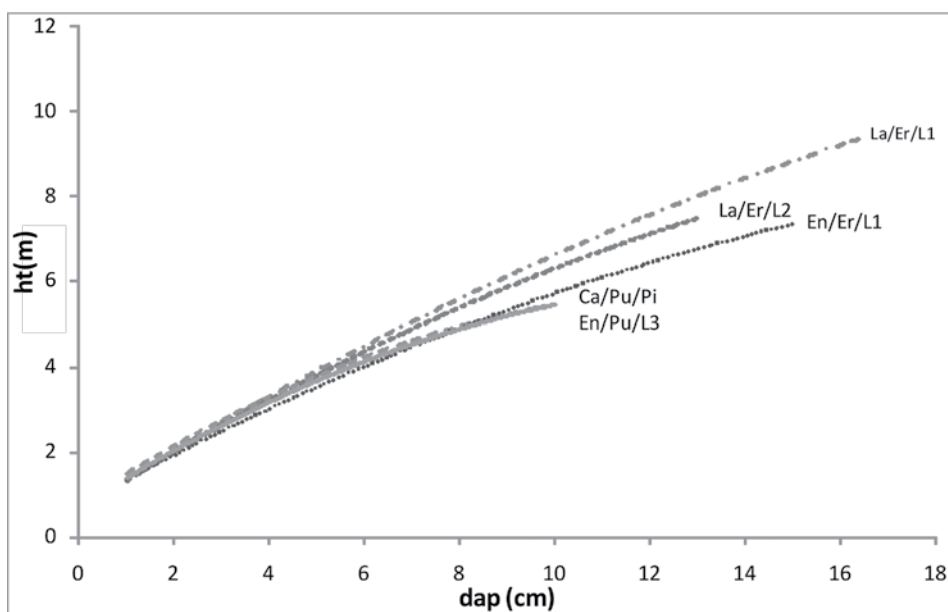


Figura 5. Curvas das tendências hipsométricas para todas as araucárias jovens medidas, agrupadas nos cinco sítios naturais, em Tijucas do Sul, PR.
Figure 5. Curves of the hypsometric tendencies for all measured young araucarias, clustered in five natural sites in Tijucas do Sul, PR.

Tabela 12. Coeficientes ajustados e suas medidas de precisão para o modelo hipsométrico de Stoffels nos cinco sítios naturais avaliados, sendo $\ln(ht)=\beta_0+\beta_1*\ln(dap)$.

Table 12. Adjusted coefficients and their precision measurements for the Stoffels hypsometric model, on five different natural sites evaluated; being $\ln(ht)=\beta_0+\beta_1*\ln(dap)$.

Sítio natural	β_0	β_1	R ²	S _{yx} %
La/Er/L1 (1)	0,177301	0,742212	0,9453	10,68
La/Er/L2 (2)	0,185061	0,716001	0,9592	8,00
Ca/Pu/Pi (3)	0,363683	0,599638	0,8903	10,06
En/Er/L1 (4)	0,16836	0,682413	0,9040	11,54
En/Pu/L3 (5)	0,285706	0,626084	0,8590	13,02

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a classificação natural de sítios proposta com base na localização, uso anterior do solo e modalidade de plantio, foi capaz de detectar diferenças no desenvolvimento das árvores. Nesse caso, os melhores níveis de crescimento foram observados nos sítios naturais La/Er/L1 e Em/Er/L1, seguidos dos sítios La/Er/L2, Ca/Pu/Pi e Em/Pu/L3. No entanto, a impossibilidade de implantar um delineamento experimental fatorial inviabilizou uma análise do peso de cada fator, além das possíveis interações entre esses. Foi observado também que a sobrevivência e a relação h/d não indicam necessariamente a qualidade do sítio.

Os ajustes das frequências de distribuição do DAP e da ht mostraram-se úteis e confirmativos no que diz respeito à classificação natural dos sítios, sendo que os parâmetros de ajuste das funções servem como indicadores indiretos do ritmo de crescimento.

Por fim, o ajuste da relação hipsométrica mostrou que a função de Stoffels assume um bom desempenho para a araucária na fase inicial de crescimento, embora, quando os sítios naturais foram avaliados separadamente, ficou evidenciada a necessidade de ajustes independentes em face à variação da inclinação das curvas de tendências hipsométricas.

Recomenda-se que estudos de qualificação e classificação de sítios no povoamento em questão leve em consideração as tendências de crescimento individual e suas possíveis correlações com os atributos de solo e com a situação de plantio, com a finalidade da extração das variáveis significativamente influentes na dinâmica do desenvolvimento inicial das árvores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, D.A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para o ajuste de plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n.45, p.3-28, 2002.
- BATISTA, J.L.F; COUTO, H.T.Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de florestas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.60, p.149-163, 2001.
- BLUM, W.E.H. Site-nutrition-growth interrelationship of araucarias. In: CONFERÊNCIA IUFRO PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO ARAUCARIA, 1980, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1980. p.119-130.
- BURGER, D. *Ordenamento florestal 1*. 2.ed. Curitiba: UFPR, 1980.
- CARVALHO, P.E.R. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Brasília: Embrapa CNPE, 1994. 640p.
- CASSOL, C.A. *Relações entre as características de solo, crescimento e produtividade em povoamento implantado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo, RS*. 1982. 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1982.
- DURLO, M.A.; DENARDI, E. Morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.8, n.1, p.44-55, 1998.

- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina.** Curitiba: Embrapa CNPE, 1988. 113p.
- HOOG, R.J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in southern Brazil.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Albert Ludwigs Universität, Freiburg, 1981.
- HOOGH, R.J.; DIETRICH, A.B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, Brasília, v.10, n.37, p.19-92, 1979.
- MOREIRA-SOUZA, M.; TRUFEM, S.F.B.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Arbuscular micorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Mycorrhiza**, Berlin, v.13, n.1, p.211-215, 2003.
- SANTOS, W.C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de araucária *angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SCHEEREN, L.W.; FINGER, C.A.G.; SCHUMACHER, M.V.; LONGHI, S.J. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em três sítios naturais na região de Canela, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.9, n.2, p. 23-40, 1999.
- SILVA, E.Q. **Nova função densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal.** 2003. 98p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A.; BOGNOLA, I.A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.43, p.61-74, 2001.
- SOARES, T.S.; SCOLFORO, J.R.S.; FERREIRA, S.O.; MELLO, J.M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6 , p.845-854, 2004.
- WEBER, S.H. **Desenvolvimento de uma nova função de densidade probabilística para avaliação da regeneração natural.** 2006. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

Recebido em 25/09/2009

Aceito para publicação em 14/12/2009