

# **Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul**

## **Height growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze at three places in Rio Grande do Sul, Brazil**

André Felipe Hess<sup>1</sup>  
Paulo Renato Schneider<sup>2</sup>

### **Resumo**

O presente trabalho teve como objetivo estudar o crescimento em altura em função da idade da *Araucaria angustifolia*, no Planalto Médio, Encosta Superior do Nordeste e Serra do Sudeste, Estado do Rio Grande do Sul. Para isso utilizou-se a equação de Backman, que se mostrou eficiente juntamente com a utilização de variáveis dummy, permitindo identificar diferenças no crescimento de acordo com as regiões estudadas. Os resultados obtidos demonstram que, em cada região, a espécie apresenta uma forma e velocidade de crescimento em altura diferenciada, o que comprovou a necessidade de equações em separado para cada local, para minimizar os erros de prognose de produção. Na Serra do Sudeste, o incremento médio anual máximo em altura foi de 0,50 m/ano, aos 22 anos; no Planalto Médio de 0,60 m/ano, aos 20 anos; e, na Encosta Superior do Nordeste de 0,96 m/ano, aos treze anos de idade, indicando um ótimo potencial de crescimento.

**Palavras-chave:** altura; crescimento; araucária.

### **Abstract**

This paper considers the height growth according to different ages and regards *Araucaria angustifolia* individuals from the Middle Plateau, Northeast upper hillside and Southeast Range, in Rio Grande do Sul

---

1 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Centro de Ciências Agro-veterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC; E-mail: hessandre@yahoo.com.br

2 Dr.; Engenheiro Florestal; Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; E-mail: paulors@smail.ufsm.br

state. Backman's equation was used and an efficient performance was verified, with the application of "dummy" variables, allowing for the identification of tree growth differences at each studied region. The results showed different forms and celerities of height growth at each studied region, which has confirmed the need of specific equations for each place, in order to minimize the errors in prognosis production. The maximum annual average growth increment in height for 22 year-old trees in the Southeast Range, for 20 year-old trees at the Middle Plateau and 13 year-old trees in the Northeast upper hillside were respectively 0,50, 0,60 and 0,96 m/year, indicating a great potential of growth.

**Key words:** height; growth; Araucaria.

## **Introdução**

As matas com araucária ocuparam no passado, vinte milhões de hectares da paisagem no Sul do Brasil. A crescente necessidade de terras para a agricultura e pecuária, bem como as amplas possibilidades da utilização de sua madeira, conduziu, desde a metade do século passado, a exploração e destruição dessas matas de uma forma tão intensa como em nenhum outro ecossistema florestal na América do Sul. Das florestas nativas na área de ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, sobraram, em 1980, menos de 3% (MACHADO e SIQUEIRA, 1980).

Como a espécie está ameaçada de extinção, o manejo e a utilização da madeira estão sob várias restrições, visando proteger e preservar os últimos remanescentes, especialmente das matas nativas. No início dos anos 60, os reflorestamentos das áreas desmatadas e devastadas, geralmente foram feitos com gêneros exóticos, como *Pinus* e *Eucalyptus*, entre outros, de maior crescimento que as espécies nativas que prometiam mais lucro, mesmo nos sítios

de qualidade mais baixa. Nessa fase de reflorestamentos, certa percentagem de áreas foi reservada legalmente para a Araucária. Em consequência do desconhecimento ecológico e do desinteresse econômico, foram cometidos erros nos reflorestamentos e no manejo que causaram danos irreparáveis, aumentando ainda mais o desinteresse comercial por essa espécie. Assim, necessário se faz, o conhecimento da capacidade produtiva, do sítio e da espécie, bem como conhecer a forma e a taxa de crescimento e, quando possível, integrar fatores do meio ambiente, para servir de base para os planos de manejo.

Para isso, é necessário realizar a classificação da capacidade produtiva, que pode ser efetuada com base em elementos dendrométricos como altura, área basal, volume, incremento médio em volume e altura. Destes, a altura é a variável mais utilizada devido a sua alta correlação com a produção volumétrica e peso da madeira. O elemento dendrométrico altura foi proposto na Alemanha no século XVIII, sendo considerado como o mais apropriado para a classificação do sítio. Esta preferência

deve-se ao condicionamento da altura a fatores de natureza hereditária, e por menos influenciada pela densidade do povoamento do que as demais variáveis dendrométricas.

Com o crescente aumento da demanda por produtos florestais, houve cada vez mais a necessidade do emprego de práticas de manejo adequadas para promover um aumento da produtividade das florestas. Nesse sentido, a determinação da qualidade do sítio, isto é, da sua capacidade produtiva, constitui um dos primeiros e mais importantes passos para se conseguir um planejamento adequado e garantir o sucesso do empreendimento florestal (OLIVEIRA, 1998).

A qualidade do sítio, normalmente, é determinada através de componentes mensuráveis da produtividade florestal, como a altura das árvores dominantes, que é uma expressão fisiológica dos efeitos integrados de variáveis biológicas e do meio ambiente, que influenciam no crescimento até a época da medição (RALSTON, 1964).

Segundo Oliveira (1998), os métodos mais usuais para avaliar a qualidade do sítio baseiam-se no conhecimento de condições edáficas e na relação da altura dominante com a idade das árvores, uma vez que o crescimento em altura dominante reflete a influência dos fatores do meio. Apesar das informações oriundas de uma base edáfica ou de alturas dominantes destinarem-se a objetivos diferentes, elas podem ser usadas de forma complementar. Assim, pode-se, por exemplo, determinar a qualidade do sítio pelas características do solo e definir as unidades de manejo, e, dentro de cada

área, avaliar a qualidade baseando-se na relação da altura dominante à idade do povoamento, com a finalidade de se conhecer a capacidade produtiva, direcionada para fins de prognose da produção, planejamento e manejo.

As produções esperadas para as plantações florestais dependem da capacidade produtiva, cujo conhecimento depende das estimativas seguras, que podem ser obtidas somente com uma avaliação precisa do potencial de crescimento (NEWBERRY e PIENAAR, 1978). Isto é necessário para o desenvolvimento de planos de manejo, apropriados para verificar o potencial produtivo de cada povoamento dentro de uma unidade de manejo, de tal forma que o crescimento e a produção florestal possam ser prognosticados (ALEMDAG, 1991).

O crescimento, segundo Zeide (1993), resulta da interação de duas forças opostas. O componente positivo, que se manifesta na expansão de um organismo, representa a tendência inata de qualquer ser vivo à multiplicação exponencial. Este componente está associado ao potencial biótico, à atividade fotossintética, à absorção de nutrientes, ao anabolismo, etc. O componente oposto representa as restrições ao crescimento impostas por fatores externos, como a competição, respiração, escassez de recursos naturais, etc. e internos, como os mecanismos de auto-regulação, sendo conhecidos como resistência ambiental, metabolismo destrutivo, catabolismo, etc.

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo conhecer o comportamento do crescimento em altura em função da idade para *A. angustifolia*, por meio da dendrocronologia e emprego

de variáveis dummy, para verificar o potencial de crescimento em cada região de ocorrência.

## **Material e método**

### **Caracterização da área de estudo**

A área de estudo constituiu-se de três regiões do Estado Rio Grande do Sul: Serra do Sudeste, Planalto das Missões e Encosta Superior do Nordeste. Estas regiões foram escolhidas por se tratarem de locais com expressiva ocorrência de *A. angustifolia*.

Os dados do presente trabalho foram obtidos por dendrocronologia, nas três regiões de estudo, em povoamentos artificiais de *A. angustifolia*, pertencentes ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF/IBAMA<sup>3</sup>) e, em povoamentos naturais na Serra do Sudeste. Um dos locais de amostragem foi a Floresta Nacional de Passo Fundo (FLONA), no Planalto das Missões, localizada no município de Mato Castelhano, a 22 km de Passo Fundo (RS) e abrange 1.328 ha, sendo coberta de floresta nativa em diversos ambientes florísticos entre eles: florestamento de *A.*

*angustifolia* e *Pinus* sp., matas nativas, capoeirões com araucária, clareiras e banhados.

Esta região situa-se no Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, com latitude de 28° 00' 00" a 28° 30' 00" S e longitude de 52° 00' 00" a 52° 30' 00" W e uma altitude de 780 metros acima do nível do mar. A região, segundo classificação climática de Köppen, apresenta um clima subtropical do tipo Cfa, caracterizada por uma elevada umidade relativa do ar, temperatura média anual de 17,5° C e precipitação de 1659 mm.

O solo da área estudada pertence à unidade Passo Fundo. Na unidade de mapeamento Passo Fundo, o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, que compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial. Os solos latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedades que tem cores pálidas, que representam drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, transicionais para condições de maior grau de gleização (EMBRAPA, 1999).

Outro local de amostragem foi a FLONA de Canela, na região da Encosta Superior do Nordeste, localizada no município de Canela, estado do Rio Grande do Sul, distante seis quilômetros da área urbana de Canela, que situa-se na coordenada geográfica 29° 18' latitude Sul e 50° 53' longitude Oeste. Nesta região, a amostragem foi realizada numa zona de

---

3 A Floresta Nacional de Passo Fundo foi implantada em 1947. Inicialmente denominada Parque Florestal José Segadas Viana, era vinculada ao Instituto Nacional do Pinho – INP. Com a extinção desse órgão, em 1967, a área foi transferida para o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. Posteriormente, em 22 de fevereiro de 1989, para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

ocorrência de floresta natural da araucária. A FLONA de Canela apresenta uma área total de 517,7 hectares, sendo 128,8 ha de florestas nativas, 280,5 ha de florestas plantadas e 108,3 ha de áreas não estocadas.

O clima dominante na região, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cfb 1, temperado úmido (Moreno, 1961). De acordo com IPA (1989), a região do município de Canela possui as seguintes médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar; temperatura mínima média de 10° C; temperatura máxima média de 21,3° C; temperatura média anual de 14,8° C; precipitação média anual de 1281 mm; umidade relativa do ar de 80%.

Segundo EMBRAPA (1999), o solo da região enquadra-se no grupo São Bento, que abrange as formações da Serra Geral, Botucatu e Rosário do Sul. Especificamente, o local em estudo encontra-se na formação Serra Geral, caracterizada por derrames de lava basáltica. O solo da região enquadra-se na unidade de mapeamento Bom Jesus, sendo pouco desenvolvido e classificado como Cambissol Húmico Alumínico típico (EMBRAPA, 1999). Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial.

A terceira região em que foi feita a amostragem, trata-se da coleta de dados da Serra do Sudeste. Nesta região, foram coletados dados de um povoamento natural de *Araucaria angustifolia*, em uma propriedade particular, no município de Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul, situada na localidade do Salso, coordenada geográfica 26° 14' 52"

S e 66° 16' 52" W numa altitude de 338 m. A propriedade possui 7,08 hectares, permeados com fragmentos florestais, grande densidade de indivíduos de araucária, folhosas e campos naturais. A vegetação do local é descrita como Floresta Estacional Decidual (VELOSO e GÓES FILHO, 1982; TEXEIRA et al., 1986).

O solo da região pertence à unidade de mapeamento Carajá, classificado como Argissolo vermelho-amarelo eutrófico abrupto. Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais, a argila de atividade baixa e horizonte superficial (EMBRAPA, 1999).

A temperatura média anual é de 16,8° C. A precipitação média anual é de 1.665 mm. Pode ocorrer chuva torrencial de até 119 mm, em 24 horas e geadas de abril a novembro. Os períodos de secas mais frequentes verificam-se entre os meses de novembro a março.

### **Levantamento dos dados dendrométricos**

Na Serra do Sudeste, devido à legislação florestal vigente, e, obedecendo a critérios de distribuição aleatória dos indivíduos, reserva permanente, área de reserva legal, cursos d'água e aproveitamento de espécies florestais nativas, elaborou-se o relatório para "Retirada de Árvores Ameaçadas de Extinção", conforme formulário da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/RS), obtendo-se a liberação de corte de três árvores para realizar a análise dendrocronológica.

No Planalto das Missões e Encosta Superior do Nordeste: foram traçadas três

linhas, com 150 metros de comprimento cada, sobre o mapa da classificação natural de sítios realizada no povoamento em 1989, de forma que cada linha ficasse sobre uma das classes naturais de sítio em estudo. Sobre cada linha foram locadas quatro unidades amostrais, dispostas de maneira equidistante. Dessa forma totalizou-se doze unidades amostrais para as três classes naturais de sítio em estudo.

Nestes locais, foram instaladas unidades amostrais temporárias. O método de Bitterlich foi utilizado para a locação das unidades amostrais, sendo as árvores selecionadas com probabilidade proporcional ao seu diâmetro (Amostra por Contagem Angular (ACA)). Os diâmetros de todas as árvores de cada ACA foram obtidos nas alturas de 1,30 m a partir do solo e a área basal por hectare (G) foi obtida através da multiplicação do número de árvores selecionadas em cada ACA pelo fator de área basal considerado no estudo igual a quatro.

Em cada ACA foram abatidas quatro árvores médias por região fitogeográfica para a realização da análise de tronco e posterior reconstituição do crescimento da altura ao longo do tempo. Para isso, foram utilizadas as normas de coleta de informações dendrométricas descritas por Schneider et al. (1988), tendo sido essas árvores, selecionadas e abatidas dentro das parcelas.

As árvores amostradas foram seccionadas em toras em comprimento previamente definido. De cada árvore foram extraídos discos na altura de 0,10 m, 1,3 m, 3,3 m e os demais, de 2 em 2 metros até o topo. Estes discos tinham cerca de 5 cm de espessura que foram secos em estufa e, posteriormente

lixados, com lixas de várias gramaturas, até a visualização integral de todos os anéis de crescimento. Em cada disco foram tomadas as medidas em quatro raios, sendo o primeiro num ângulo de 45° a partir do maior raio da fatia e os demais a 90° um do outro. Os anéis de crescimento foram identificados com auxílio de lupa e suas espessuras medidas com o auxílio de mesa de medição micrométrica acoplada a um computador.

A identificação dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com algumas das técnicas utilizadas para identificar os anéis verdadeiros, segundo Schweingruber (1996), que descreveu também, no trabalho, os problemas que podem ocorrer na identificação dos anéis de crescimento anuais como: existência de anéis muito tênues próximos à medula, de difícil identificação visual, e existência de falsos anéis causados por estresse.

Com a medição dos raios das fatias no aparelho Lintab II, foram gerados arquivos de dados com informações de controle das árvores e das dimensões dos raios. Posteriormente, este arquivo de dados foi transformado, pelo Programa ANARC.EXE, num arquivo do tipo NOME. DAT. Esse arquivo de dados transformado foi lido no Programa ANATRON.EXE que realiza os cálculos dendrométricos por idade, gerando diâmetro, altura, área basal, volume e seus incrementos, além do fator de forma.

### **Crescimento em altura em função da idade**

Para estudo do crescimento em altura em função da idade, foram utilizados os dados da análise de tronco, sendo

testado e selecionado um dos modelos de regressão apresentados na tabela 1.

### Critério de seleção de equações

Na seleção das equações levaram-se em consideração as estatísticas do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, coeficiente de variação e valor de F. Para a seleção do modelo foi utilizado o valor ponderado destes escores estatísticos, atribuindo-se valores ou pesos, de 1 à 10, às estatísticas calculadas. Neste processo, as estatísticas

foram ordenadas de acordo com sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente e pesos crescentes para as demais equações (*ranking*), conforme definido por Thiersch (1998).

O valor ponderado de uma equação é obtido pela multiplicação do número de registros quantificados para cada colocação pelo seu respectivo peso, sendo expressa por:

$$VP = \sum_{i=1}^n Nr_i * P_i$$

**Tabela 1.** Equações testadas para o crescimento da altura em função da idade

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t}$	Schumacker
2	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman
3	$\ln h = b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman modificada
4	$h = \frac{t^2}{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan
5	$h = \frac{t^2}{b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan modificada
6	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t} + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
7	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$	Moissev
8	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$	Gram
9	$h = b_0 \cdot (1 - \exp(-b_1 \cdot t))^{b_2}$	Chapman-Richards
10	$h = A \cdot (1 - \exp(-k \cdot t))$	Mitscherlich

Nota: h: altura em metros; t: idade em anos;  $b_0, b_1, \dots$  = coeficientes das equações; ln = logaritmo neperiano.

Fonte: Loetsch et al. (1973); Mitscherlich e Sonntag (1982); Richards (1959); Prodan (1968); Kiviste et al. (2002).

Sendo:  $P_i$  = peso da  $i$ ésima colocação;  $Nr_i$  = número de registros que obtiveram a  $i$ ésima colocação;  $VP$  = valor ponderado da equação.

A equação selecionada foi a que apresentou o menor valor ponderado dos escores estatísticos determinados.

Após a seleção da melhor equação para estimar o crescimento em altura em função da idade, para os dados obtidos na análise de tronco, foram criadas variáveis dummy que assumiram valores de 0 e 1, conforme a região em que se localizavam as araucárias amostradas, como segue:

$D_i=1$ , se a árvore estiver presente na região/local  $i$ ;

$D_i=0$ , se a árvore estiver ausente nessa região/local  $i$ .

Com isso foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as três ( $n$ ) regiões/locais que tem  $R^n$  funções lineares múltiplas, conforme Schneider (1997):

$$R^1 : \hat{Y}_1 = b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + K + b_{1m}x_m$$

$$R^2 : \hat{Y}_2 = b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + K + b_{2m}x_m$$

$$R^3 : \hat{Y}_3 = b_{31}x_3 + b_{32}x_2 + K + b_{3m}x_m$$

Assim, todas as funções de regressão individuais foram expressas em função de uma regressão linear múltipla, chamada de modelo máximo, representada por:

$$R : \hat{Y} = b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + K + b_{1m}x_{1m} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + K + b_{2m}x_{2m} + K + b_{31}x_{31} + b_{32}x_{32} + K + b_{3m}x_{3m}$$

Sendo:

$$X_{11} = D_1X_1, X_{12} = D_1X_2, K, X_{1m} = D_1X_m;$$

$$X_{21} = D_2X_1, X_{22} = D_2X_2, K, X_{2m} = D_2X_m;$$

$$X_{31} = D_3X_1, X_{32} = D_3X_2, K, X_{3m} = D_3X_m.$$

Após a determinação do modelo máximo com as variáveis dummy, foi realizado o teste de condicionante de regressões parciais considerando cada região/local. A avaliação da significância do modelo foi realizada pelas estatísticas, coeficiente de determinação, coeficiente de variação e erro padrão da estimativa.

A análise da existência de diferença no crescimento da altura em função da idade entre as regiões, foi realizada pela razão F calculada na análise de variância, obtido pelo programa estatístico SAS (Statistic Analyses System). Por meio dessa análise, foi possível verificar a necessidade ou não de ajustar equações de crescimento diferenciadas para cada região.

Cada região ficou denominada da seguinte forma:

D1= dummy 1, Serra do Sudeste;

D2= dummy 2, Planalto Médio;

D3= dummy 3, Encosta Superior do Nordeste.

## Resultados e discussão

### Seleção das equações de altura para Serra do Sudeste

Na análise do crescimento em altura no tempo, foram empregados os modelos matemáticos conforme apresentados na tabela 1. As estatísticas e os coeficientes dos modelos encontram-se discriminados na tabela 2.

Os resultados da tabela 2 demonstram que todas as equações testadas tiveram excelente coeficiente de determinação ajustado, com valores superiores a 0,92, coeficientes de variação



**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento da altura em função da idade, para a Serra do Sudeste

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	3,0347	-13,371	-	-	0,9237	0,1872	8,15	1768,7
2	-2,6409	2,3445	-0,2366	-	0,9731	0,1111	4,83	2645,8
3	-	0,4652	0,0807	-	0,9936	0,1916	8,34	11406,5
4	16,7226	0,1714	0,0474	-	0,9813	5,7063	8,35	3822,3
5	-	1,4111	0,0280	-	0,9921	7,1238	10,43	9182,4
6	0,7152	-5,6983	0,6009	-	0,9669	0,1233	5,37	2131,4
7	-0,3460	0,2189	-0,0052	0,00004	0,9773	0,1022	4,45	2093,4
8	-1,8361	1,5553	-0,0276	-	0,9776	0,1014	4,41	3188,6
9	18,5443	0,0734	2,3375	-	0,9945	0,9575	3,73	8836,0
10	23,6237	0,0231	-	-	0,9902	1,2809	10,76	7376,0

Nota: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

Fonte: Os autores

entre 3,73% a 10,76% e erros padrões da estimativa entre 0,1014 à 7,1238. Os modelos mais exatos foram o de Chapman-Richards (Equação 9), que apresentou coeficiente de determinação ajustado de 0,9945 e valor de coeficiente de variação de 3,73%, o modelo de Backman modificado (Equação 3), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9936 e coeficiente de variação de 8,34%; e, o modelo de Prodan modificado (Equação 5), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9921 e coeficiente de variação de 10,43%.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo de crescimento em altura foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos, para seleção da melhor equação de altura, conforme a tabela 3.

Então pelo critério do VP, foi escolhido o modelo de Chapman-

Richards, expresso pela equação 9, pois apresentou menor valor do VP, igual a 12, além do maior coeficiente de determinação ajustado e menor coeficiente de variação.

### Seleção da equação de altura para o Planalto Médio

Com os dados da análise de tronco testou-se o mesmo conjunto de equações para a região do Planalto Médio, cujas estatísticas obtidas para os modelos podem ser vistos na tabela 4.

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações de altura testadas apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado, com valor superior a 0,88 e coeficientes de variação baixos, entre 3,50% a 12,09%. Estas equações de altura também apresentaram baixos valores para o erro padrão da

**Tabela 3.** Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	Cv%	F	
1	10	5	6	10	31
2	8	3	4	7	22
3	2	6	7	1	16
4	5	9	8	5	27
5	3	10	9	2	24
6	9	4	5	8	26
7	7	2	3	9	21
8	6	1	2	6	15
9	1	7	1	3	12
10	4	8	10	4	26

Nota:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Fonte: Os autores

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade, para o Planalto Médio

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	3,3139	-16,5161	-	-	0,8810	0,0955	3,64	1096,4
2	-3,1824	2,9336	-0,3482	-	0,8831	0,0946	3,61	560,1
3	-	0,9090	-0,0302	-	0,9985	0,1019	3,89	49821,8
4	19,8734	-0,4516	0,0552	-	0,9351	6,0000	11,48	1067,4
5	-	1,0698	0,0286	-	0,9878	6,3300	12,09	6049,1
6	2,9512	-14,5962	0,0872	-	0,8805	0,0957	3,65	546,4
7	1,1425	0,0836	-0,0008	-0,000005	0,8898	0,0919	3,50	399,4
8	-1,3517	1,4821	-0,0305	-	0,8856	0,0936	3,57	573,8
9	25,7813	0,0327	0,045	-	0,9889	1,5551	11,68	6507,7
10	26,6797	0,0297	-	-	0,9888	1,5625	12,02	6444,9

Nota:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  = coeficientes.

Fonte: Os autores

estimativa, com exceção das equações 4 e 5, o que indica pouca dispersão relativa entre os valores observados e estimados.

De acordo com as estatísticas obtidas destacaram-se as equações de Backman modificada (Equação 3),

que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9985, baixo erro padrão da estimativa de 0,1019, baixo coeficiente de variação de 3,89% e valor de F de 49821,8 altamente significativo, o modelo de Chapman-Richards (Equação 9), com um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9889; erro padrão da estimativa de 1,5591, coeficiente de variação de 10,90% e valor de F de 6603,8, e o modelo de Mitscherlich (Equação 10), que apresentou coeficiente de determinação ajustado de 0,9888, erro padrão da estimativa de 1,5625, coeficiente de variação de 12,02% e valor de F de 6444,9, altamente significativo.

Devido a não haver uma definição clara sobre o melhor modelo, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP) para selecionar o melhor modelo para descrever o crescimento em altura em função da idade, conforme a tabela 5.

Pelo critério do VP, o modelo de Backman modificado (Equação 3), foi considerado o mais preciso, pois apresentou o menor valor, igual a 14 pontos, aliado a elevado coeficiente de determinação ajustado e baixo coeficiente de variação.

### Seleção da equação de altura para Encosta Superior do Nordeste

Na tabela 6, são apresentados os resultados das estatísticas de ajuste das equações de altura em função da idade, conforme tabela 1, testados para a região da Encosta Superior do Nordeste.

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações de altura apresentaram altos coeficientes de determinação ajustado, com valores superiores a 0,94 e coeficientes de variação entre 0,86% a 7,98% e erros padrões da estimativa pequenos.

De acordo com as estatísticas obtidas, destacaram-se as equações

**Tabela 5.** Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	9	4	4	5	22
2	8	3	3	8	22
3	1	6	6	1	14
4	5	9	7	6	27
5	4	10	10	4	28
6	10	5	5	9	29
7	6	1	1	10	18
8	7	2	2	7	18
9	2	8	8	2	20
10	3	7	9	3	22

Nota:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Fonte: Os autores

**Tabela 6.** Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em altura em função da idade, para Encosta Superior do Nordeste

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	3,3387	-13,7635			0,9473	0,0597	2,15	3868,81
2	-1,9573	2,3581	-0,2749	-	0,9493	0,0586	2,11	2012,88
3	-	1,1149	-0,0808	-	0,9994	0,0665	2,39	189297
4	6,4538	0,3628	0,0369	-	0,9864	3,0977	6,04	7794,24
5	-	0,8347	0,0292	-	0,9969	3,2019	6,24	34998,1
6	2,8352	-9,9231	0,1771	-	0,9916	0,0239	0,86	12644,1
7	0,9738	0,1394	-0,0034	0,000029	0,9503	0,0580	2,09	1371,47
8	-0,4559	1,1819	-0,0226	-	0,9493	0,0586	2,11	2015,49
9	23,3414	0,0444	0,03	-	0,9942	1,2761	7,98	19033,1
10	23,5996	0,044	-	-	0,9946	1,2225	7,64	20750,5

Nota:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  = coeficientes.

Fonte: Os autores

de Backman modificada (Equação 3), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9994, bem como um baixo erro padrão da estimativa de 0,0665, coeficiente de variação baixo de 2,39% e alto valor de F de 189297, e o modelo de Prodan modificado (Equação 5), com um valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9969, valor do erro padrão da estimativa de 3,2019, coeficiente de variação de 6,24% e valor de F de 34998,1, e o modelo de Mitscherlich (Equação 10), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9946, erro padrão da estimativa de 1,2225, coeficiente de variação de 7,64% e valor de F de 20750,5, altamente significativo.

Para a escolha do melhor modelo de crescimento da altura em função da idade, foi determinado o Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP), conforme a tabela 7. Pelo critério do Valor Ponderado

dos Escores Estatísticos (VP), o modelo de Hoerl (Equação 6) foi o melhor, pois apresentou o menor VP, igual a 12 pontos.

### Análise comparada do crescimento em altura nas regiões estudadas

Com as equações selecionadas foram geradas as estimativas de altura ao longo do tempo, conforme tabela 8 e geradas as curvas de crescimento em altura em função da idade conforme figura 1, para as três regiões. Observa-se que o crescimento segue o padrão sigmoidal, no qual a velocidade de crescimento aumenta rapidamente até atingir um valor máximo denominado de ponto de inflexão da curva; a partir daí, a velocidade de crescimento decresce gradualmente, passa por uma assíntota e atinge um valor mínimo. Nota-se que a curva tende ao início da assíntota,

**Tabela 7.** Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações testadas

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	10	5	5	7	27
2	9	4	4	9	26
3	1	6	6	1	14
4	6	7	7	6	26
5	2	8	8	2	20
6	5	1	1	5	12
7	7	2	2	10	21
8	8	3	3	8	22
9	4	10	10	4	28
10	3	9	9	3	24

Nota:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Fonte: Os autores

**Tabela 8.** Estimativa do crescimento em altura por idade na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste

Idade (ano)	Serra do Sudeste			Planalto Médio			Encosta Superior do Nordeste		
	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
2	0,18	0,09	-	0,21	0,10	-	0,13	0,07	-
4	0,76	0,19	0,58	0,84	0,21	0,64	1,82	0,46	1,69
6	1,66	0,28	0,90	1,88	0,31	1,04	4,48	0,75	2,65
8	2,78	0,35	1,12	3,23	0,40	1,35	7,12	0,89	2,65
10	4,02	0,40	1,24	4,79	0,48	1,56	9,49	0,95	2,37
12	5,31	0,44	1,29	6,43	0,54	1,64	11,57	0,96	2,08
14	6,58	0,47	1,28	8,04	0,57	1,61	13,38	0,96	1,81
16	7,82	0,49	1,23	9,56	0,60	1,52	14,97	0,94	1,59
18	8,98	0,50	1,16	10,94	0,61	1,38	16,38	0,91	1,41
20	10,05	0,50	1,08	12,15	0,61	1,22	17,63	0,88	1,25
22	11,04	0,50	0,99	13,20	0,60	1,05	18,76	0,85	1,13
24	11,94	0,50	1,90	14,11	0,59	0,90	19,78	0,82	1,02
26	12,74	0,49	0,81	14,87	0,57	0,77	20,71	0,80	0,93
28	13,46	0,48	0,72	15,52	0,55	0,65	21,56	0,77	0,85
30	14,10	0,47	0,64	16,07	0,54	0,55	22,35	0,74	0,79
32	14,67	0,46	0,57	16,53	0,52	0,46	23,08	0,72	0,68
34	15,17	0,45	0,50	16,92	0,50	0,39	23,76	0,70	0,63
36	15,60	0,43	0,44	17,24	0,48	0,33	24,39	0,68	0,59
38	15,99	0,42	0,38	17,52	0,46	0,28	24,99	0,66	0,56
40	16,32	0,41	0,34	17,75	0,44	0,23	25,54	0,64	0,53
42	16,62	0,40	0,29	17,95	0,43	0,20	26,07	0,62	0,50

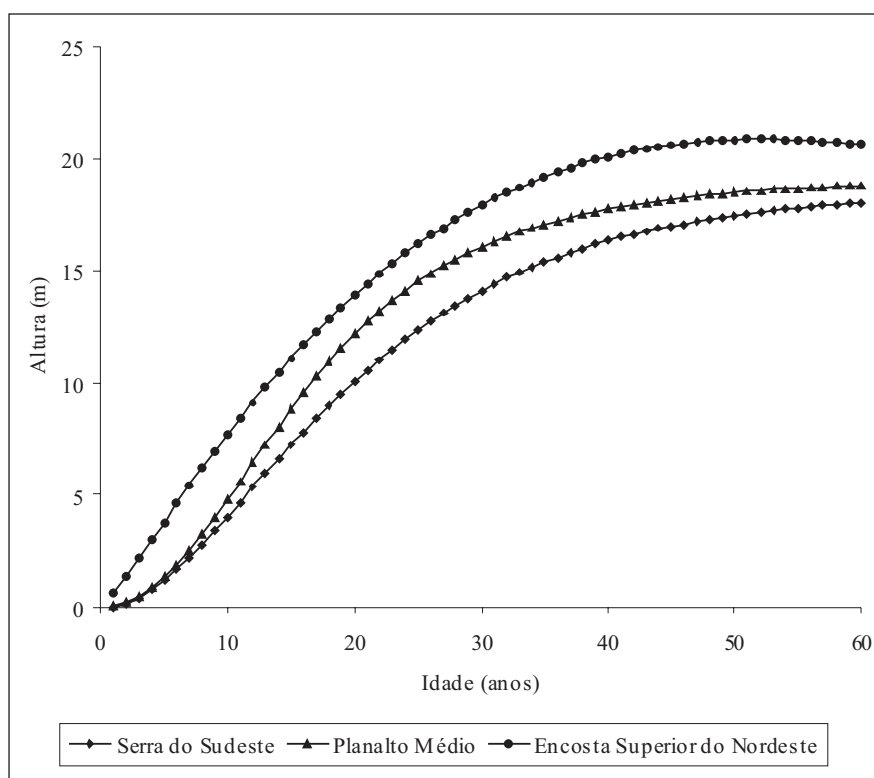
(continua...)

Idade (ano)	Serra do Sudeste			Planalto Médio			Encosta Superior do Nordeste		
	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)	H (m)	IMA (m/ano)	ICA (m/ano)
44	16,87	0,38	0,26	18,12	0,41	0,17	26,57	0,60	0,47
46	17,10	0,37	0,22	18,26	0,40	0,14	27,05	0,59	0,45
48	17,29	0,36	0,19	18,38	0,38	0,12	27,50	0,57	0,43
50	17,46	0,35	0,17	18,48	0,37	0,10	27,93	0,56	0,41
52	17,60	0,34	0,15	18,56	0,36	0,09	28,34	0,54	0,39
54	17,73	0,33	0,13	18,64	0,35	0,07	28,73	0,53	0,38
56	17,84	0,32	0,11	18,70	0,33	0,06	29,10	0,52	0,36
58	17,94	0,31	0,10	18,75	0,32	0,05	29,47	0,51	0,35
60	18,02	0,30	0,08	18,80	0,31	0,05	29,81	0,50	

Nota: DAP = diâmetro à altura do peito em centímetro; IMA = incremento médio anual em centímetros por ano; ICA = incremento corrente anual em centímetros por ano.

Fonte: Os autores

**Figura 1.** Crescimento em altura, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste



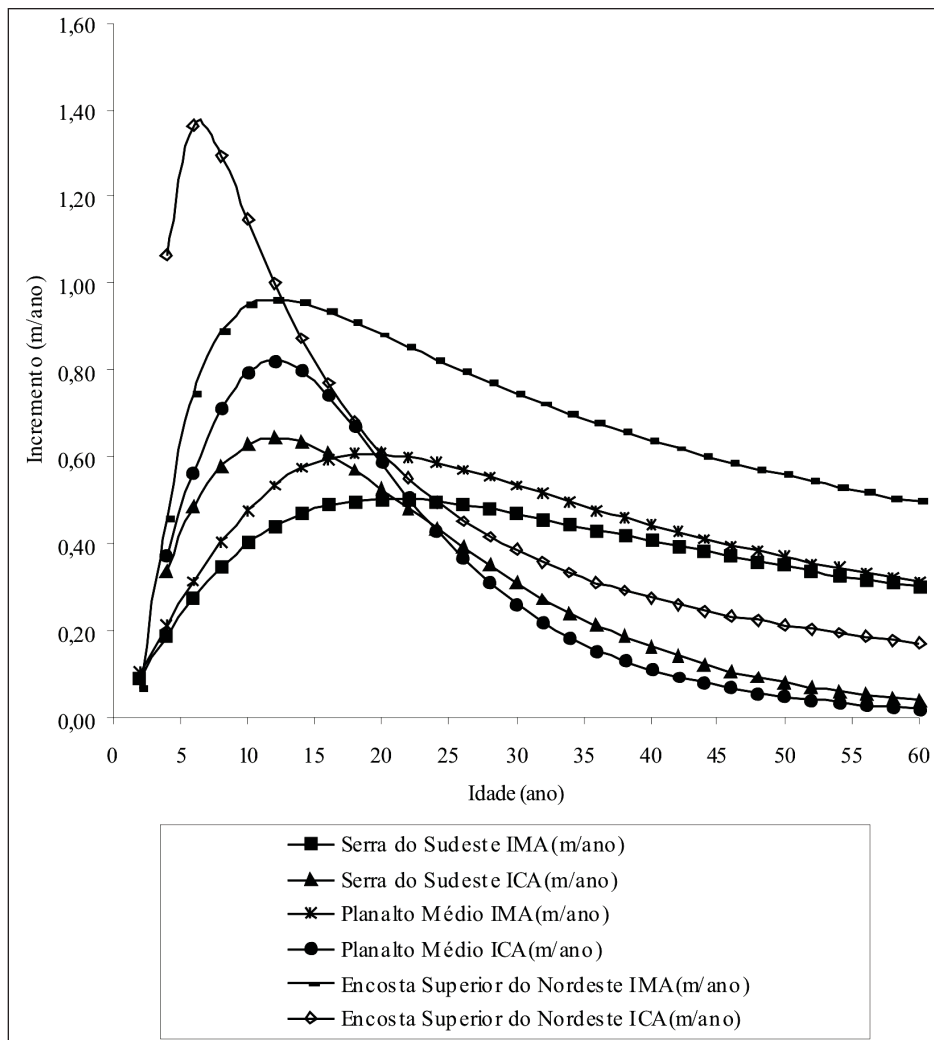
Fonte: Os autores

aos 60 anos, indicando a maturidade que segundo Odum (1988) é o limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante, que é chamado de capacidade máxima de suporte.

Com os valores do incremento médio e corrente anual em diâmetro por idade da tabela 8, foi gerada a figura 2,

onde se observa o máximo incremento médio anual em altura de 0,50 m/ano, aos 22 anos, na Serra do Sudeste; de 0,61 m/ano, aos 20 anos, no Planalto Médio; e de 0,96 m/ano, aos 13 anos, na Encosta Superior do Nordeste, indicando serem estas as idades de maximização do crescimento em altura da araucária, nestas regiões estudadas.

**Figura 2.** Incremento médio e corrente anual em altura por idade, *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste (SS), Planalto Médio (PM) e Encosta Superior do Nordeste (ESN)



Fonte: Os autores

### Análise comparativa do crescimento em altura utilizando-se variável dummy

Este estudo foi realizado com o objetivo de comprovar estatisticamente as diferenças de crescimento e de selecionar uma equação de crescimento de altura em função da idade, com o uso de variáveis dummy, para *A. angustifolia*, nas regiões da Serra do Sudeste (*dummy* 1), Planalto Médio (*dummy* 2) e Encosta Superior do Nordeste (*dummy* 3). Devido ter sido selecionada para cada região uma equação diferente para estudo do crescimento, optou-se pelo uso da equação de Backman para realizar as comparações com a utilização de variáveis “dummy”, porque foi a que se mostrou mais eficiente. Este

método permite identificar diferenças de crescimento para as regiões estudadas, indicando a necessidade ou não de ajustar equações de crescimento separadamente para cada local, minimizando-se erros de estimativa.

Após a inclusão de variáveis dummy, a equação de Backman foi reajustada, sendo os resultados da análise de variância apresentados na tabela 9.

A análise de variância, apresentada na tabela 9, indicou que todas as variáveis, independentes do modelo máximo, foram significativas, com altos valores de F calculado, comprovando a existência de diferenças no crescimento em altura em função da idade entre as regiões estudadas. Observa-se que houve diferença no ritmo de crescimento da espécie na Serra do Sudeste, que é constatado pela

**Tabela 9.** Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy, para crescimento em altura em função da idade da *Araucaria angustifolia*

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	50,7117	8,4519	1284,5	0,0001
ln(t)	1	40,0469	40,0469	6086,3	0,0001
ln <sup>2</sup> (t)	1	2,5747	2,5747	391,3	0,0001
D1	1	5,2049	5,2049	791,04	0,0001
D2	1	1,3865	1,3865	210,7	0,0001
D3	0	0	0	-	-
ln(t) x D1	1	1,2209	1,2209	185,6	0,0001
ln(t) x D2	1	0,2776	0,2776	42,2	0,0001
ln(t) x D3	0	0	0	-	-
Erro	495	3,2570	0,0066		
Total	501	53,9688			

Nota: ln(t)= logaritmo neperiano; t= idade em anos; D1; D2; D3= variáveis dummy 1, 2 e 3; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F calculado; Pr>F= nível de significância de F; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinação; CV= coeficiente de variação; S<sub>yx</sub>= erro padrão da estimativa.

Fonte: Os autores



significância da interação entre a idade X dummy 1, com probabilidade <0,0001, o que também, ocorreu no Planalto Médio, com significância na interação entre a idade X dummy 2, com probabilidade <0,0001, representada pela diferença angular da equação.

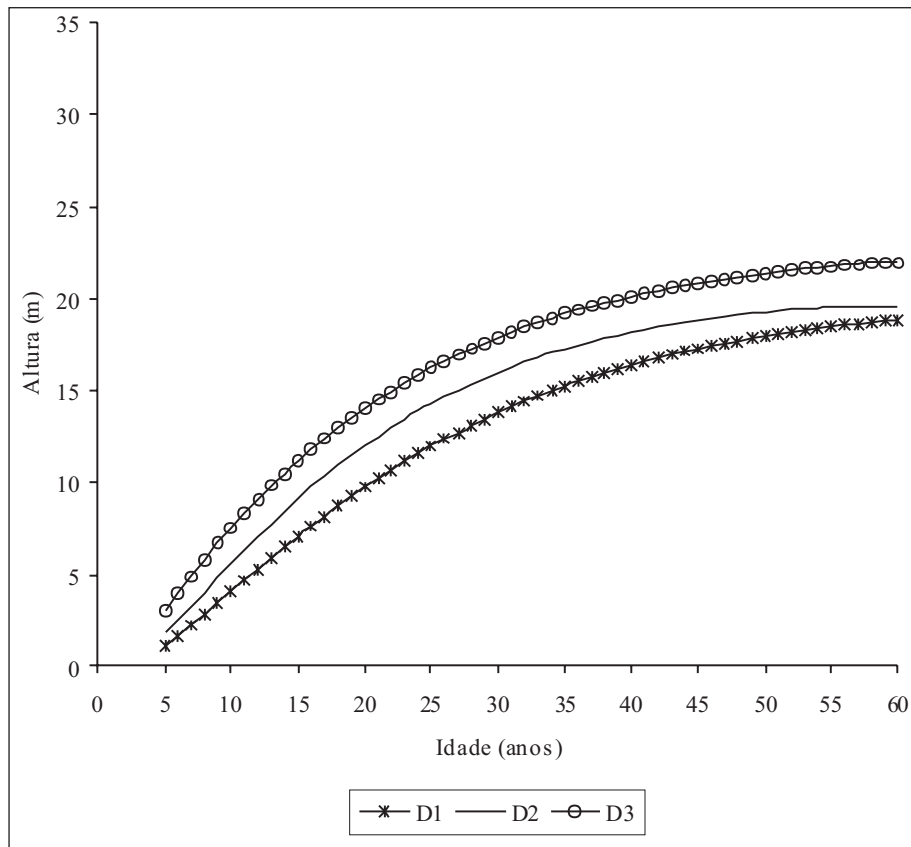
O modelo genérico final para estimar o crescimento em altura, em função da idade para as três regiões estudadas, simultaneamente, passou a ser representado por:

A equação de Backman testada com variáveis dummy apresentou bom ajuste, com um valor de coeficiente de determinação de 0,93, baixo coeficiente de variação de 3,06% e baixo valor do erro padrão da estimativa de 0,0816.

Com o modelo máximo obtido, os valores da variável altura foram recalculados e plotados em função da idade, observando-se as diferenças no crescimento em altura para as três regiões fitogeográficas, conforme figura 3.

$$\ln h = -2,8234 + 2,9484 \cdot \ln(t) - 0,3739 \cdot \ln^2(t) - 1,2916 \cdot D1 - 0,6151 \cdot D2 + 0,3043 \cdot \ln(t) \cdot D1 + 0,1488 \cdot \ln(t) \cdot D2$$

**Figura 3.** Valores de altura estimados pela equação de Backman, com variáveis dummy, em função da idade, Serra do Sudeste (D1), Planalto Médio (D2) e Encosta Superior do Nordeste (D3)



Fonte: Os autores

## Conclusões

Com os resultados obtidos, conclui-se que as equações de Chapman-Richards, Backman modificada e de Hoerl, foram as mais exatas para estimar o crescimento em altura em função da idade, para araucária, nas regiões estudadas.

O uso das variáveis dummy permitiu verificar a existência de diferenças no crescimento em altura por idade da *Araucaria angustifolia* em cada local,

indicando a necessidade do ajuste de equações separadas para cada região, o que minimiza erros de estimativa de crescimento.

Os resultados obtidos indicam que o incremento médio anual em altura foi de 0,50 m/ano, aos 22 anos, na Serra do Sudeste; de 0,61 m/ano, aos 20 anos, no Planalto Médio; e de 0,96 m/ano aos 13 anos, na Encosta Superior do Nordeste, o que aponta ótimo crescimento nestas três regiões, indicando ter a espécie potencial para investimento comercial.

## Referências

ALEMDAG, I. S. National side-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canadá. *Canadian Journal of Forest Research*, v.21, n.10, p.1466-1474, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação dos solos*. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS - IPA. Seção de Ecologia Agrícola. *Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 1989. 3 v., 296 mapas, 28 tab

KIVISTE, A.; GONZÁLES, J. G.; ALBORECA, A. R.; GONÇÁLEZ, A. D. R. *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 2002. 190p.

LOETSCH, F.; ZOHER, F.; HALLER, K. E. *Forest inventory*. Berlim: BLV. v.2. 1973. 469p.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONFERÊNCIA IUFRO “PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO *Araucaria*”, 1989, Curitiba. *Anais...Curitiba*, 1980. p.4-9.

MITSCHERLICH, G.; SONNTAG, G. Paperversuche: Modell für eine regenerata und Neupotz-papel-ertragstafel im Oberheingebiet. *Allg. Forst und Jg.*, n.153, p. 213-219. 1982.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.

NEWBERRY, J. D.; PIENAAR, L. V. *Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash pine plantations on the lower coastal plain of Georgia and North Florida*. Georgia: School of Forest Resources, University of Georgia, 1978. 48p. (Research Paper, 4).

ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.

OLIVEIRA, R. A. de. *Classificação de sítios em plantações de eucalipto pelo método de índices de local e por classe de solo e de precipitação*, 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais.

PRODAN, M. *Forest biometrics*. Ney York: Pergamon Press. 1968. 447 p.

RALSTON, C. W. *Evaluation of forest site productivity*. In: ROMBERGER, T. A., MIKOLA, P. International review of forest research. New York: Academic Press, v.1, p.171-201, 1964.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. *J. Agr. Pres.* USDA. v.46, n. 7, p.62-638. 1959.

SCHNEIDER, P. R.; BRENA, D. A.; FINGER, C. A. *Manual para coleta de informações dendrométricas*. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC. 1988. 28 p.

SCHWEINBRUGER, F. H. *Tree rings and environment dendroecology*. Viena: Haupt. 1996. 609p.

TEIXEIRA, M. B.; COURA NETO, A. B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, A. L. R. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: *Levantamento de recursos naturais*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1986, v.33, p.541-632.

THIERSCH, A. *Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de Eucalyptus camaldulensis*. 1997. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais.

VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. *Boletim Técnico Projeto Radambrasil*, Série Vegetação v.1, p.1-80, 1982.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. *Forest Science*, v.39, n.3, p.594-616, 1993.