

**MANEJO DO CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.
BASEADO NA ÁRVORE INDIVIDUAL****MANAGEMENT OF DIAMETER GROWTH OF THE INDIVIDUAL TREE OF *Araucaria
angustifolia* (Bert.) O. Ktze.**Leif Nutto¹**RESUMO**

Neste trabalho, foi analisado o potencial do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em diferentes sítios, com o objetivo de obter informações para o manejo dessa espécie em florestas heterogêneas inequiâneas, visando à produção de madeira de alta qualidade em árvores pré-selecionadas. O material usado constitui-se de 400 árvores de florestas nativas e plantios, crescendo sob condições e tratamentos variáveis nos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. O método usado para investigar a relação entre a largura da copa e o dap foi baseado na projeção horizontal da copa da árvore individual. Usando 16 amostras de 25 árvores, foram estudados vários estágios de desenvolvimento. Para cada amostra, foi feito um mapa de distribuição das árvores e das projeções das copas para avaliar o efeito da competição. O estudo mostra que existe uma estreita relação entre a largura da copa e o dap, que pode ser usada para o desenvolvimento de novas ferramentas de decisão aplicáveis em árvores individuais para o manejo de araucária em florestas heterogêneas inequiâneas ou para a produção de madeira de alta qualidade com árvores pré-selecionadas. Também, mostrou-se uma estreita correlação entre o crescimento de diâmetro e a qualidade do sítio, pois a expansão máxima da copa depende da qualidade deste, indicando que ele deve ser considerado como fator limitante para o manejo do crescimento.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*, espaço vital, projeção da copa, crescimento diamétrico.

ABSTRACT

In this study the potential of diameter growth of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. at different sites in Southern Brazil was analyzed. The objectives were to obtain information for the management of this species in uneven-aged mixed stands for high value timber production focused on future crop trees. The material consisted of 400 trees of native forests and plantations growing under varying site conditions and treatments in the states of Santa Catarina, Parana and Rio Grande do Sul. The research method applied was an ex-post facto (observational) one that is based on an explorative data analysis of data taken from 16 temporary sample plots, each consisting of 25 araucarias. For each plot it was made a stem and crown distribution map. The study shows that crown width is a very good estimator for diameter growth and it is closely related to the easy measurable variable diameter at 1.30 m. This relationship was used to develop decision tools based on the management of the growing space of the individual tree. The maximum crown expansion at a

1. Engenheiro Florestal, Dr. Pesquisador Visitante no Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). nutto@uni-freiburg.de

given age and therefore also the maximum radial increment are strongly related to site quality. That means that site quality has to be considered as a limiting factor for the production goals in araucaria stands. Decision tools have to be adapted to these circumstances.

Key words: *Araucaria angustifolia*, growing space, crown projection, diameter growth.

INTRODUÇÃO

As matas com araucária caracterizaram, no passado, 20 milhões de hectares da paisagem no sul do Brasil. Mas, a crescente necessidade de terras para a agricultura e pecuária, como também as amplas possibilidades da utilização do Pinheiro-do-Paraná, tem conduzido, desde a metade do século passado, a exploração e destruição dessas matas de uma forma tão intensa como 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 & SIQUEIRA, 1980).

Ameaçada de extinção, o manejo e a utilização da madeira dessa espécie estão sob várias restrições, com o fim de 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 uma certa percentagem de áreas foi reservada legalmente para a araucária. Em consequência dos desconhecimentos ecológicos 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. Nas florestas nativas dominadas pela araucária, o manejo é muito restritivo para proteger esses últimos refúgios que restaram. A questão é, se essa forma de proteção conduz ao resultado desejado. A história mostrou que uma restrição no uso de um recurso natural raramente é aceita pela população, quando existe a necessidade de seu uso como matéria-prima ou como fonte de rendimento. A proteção, via proibição do uso, significa uma desvalorização do bem que, em muitos casos, tem como consequência a perda de interesse na conservação da matéria-prima. Por causa disso, formas de manejo que consideram ambos os objetivos, lucro e conservação, geralmente são de maior eficiência (NAUBER, 1995).

Para tais formas de manejo, entretanto, ainda faltam conhecimentos básicos. Tratamentos visando à colheita seletiva de árvore singulares, com um determinado diâmetro-meta em ecossistemas de florestas permanentes, exigem programas de produção orientados para cada estágio e para os objetivos propostos. Informações sobre o crescimento da árvore individual são indispensáveis ao mesmo tempo em que a modelagem das relações de crescimento devem ter uma base de dados considerando tais fatores. Uma abordagem possível para tal situação é o uso do espaço vital. Esse método oferece uma grande flexibilidade, tanto na modelagem, como no desenvolvimento de ferramentas de decisão.

Neste trabalho, são analisadas as relações entre o dap, como variável de fácil medição, para estimar o tamanho do espaço vital que a araucária precisa para ter um crescimento de diâmetro determinado. De grande importância para o manejo do espaço, vital é a influência da qualidade do

sítio, que é considerado como fator limitante da expansão máxima da copa num determinado momento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Caracterização da espécie

O gênero de *Araucaria* da família *Araucariaceae* só ocorre no hemisfério Sul, com duas das 14 espécies na América Sul (WHITMORE, 1975), sendo *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. a de maior importância no mercado mundial. Isso pode ser reconhecido pelos nomes multinacionais que existem: Parana pine (Inglês), Brasilkiefer (Alemão), Araucaria du Brésil (Francês), Pino misionero (Espanhol) e Pinheiro-do-Paraná (Português) (LAMPRECHT, 1986). Por causa da ameaça de extinção, o volume de exportação de araucária foi contingenciado pelo IBAMA (1998). Entre 1995 e 1998 somente um volume de 52.000 m³ por ano foi liberado para a exportação.

Segundo HUECK (1972), a região da ocorrência natural da espécie limita-se entre as latitudes de 15° e 30° sul, e longitudes de 43° e 57° oeste, com maior distribuição nos Estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e menores áreas na província de Misiones (Argentina) e nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

A araucária encontra-se em altitudes entre 600 e 800 m, subindo até 1200 e 1800 m na Serra da Mantiqueira. O clima na área de ocorrência natural é classificado como temperado, no qual a temperatura média anual varia de 13 a 18°C, caracterizados por verões frescos e invernos relativamente frios até -8°C e também ocorrendo poucas geadas (GOLFARI, 1967).

Segundo DE HOOGH (1981) os povoamentos de bom crescimento geralmente encontram-se em latossolos, essencialmente determinados pela boa estrutura do solo, enquanto litossolos e solos hidromórficos, em consequência das restrições físicas e fisiológicas para o desenvolvimento radicial, produzem condições de crescimento extremamente pobres. O nutriente mais importante que limita o crescimento de araucária é o N, seguida pela oferta de P. De menor importância são os nutrientes K, Ca, Cu e B. Por causa disso, o melhor crescimento da espécie observa-se em áreas de agricultura abandonadas, florestas nativas e secundárias.

Manejo e ferramentas de informações baseadas na árvore individual

A araucária, considerando somente a produção de volume, perde economicamente para gêneros exóticos de crescimento extremamente rápido. A justificativa para o uso da araucária é encontrado nas seguintes vantagens: espécie de alto valor ecológico; ocorre em florestas nativas; minimização do risco de produção por causa da boa adaptação de espécies nativas; e, madeira de alta qualidade e valor nos mercados nacionais e internacionais. Em consequência disso, espécies nativas como a araucária devem ser manejadas com o objetivo de produzir madeira de alta qualidade, de modo sustentável e ecologicamente adaptado, seja em florestas nativas ou artificiais (STERBA, 1989).

O manejo florestal, orientado em sistemas ecológicos com explicações do crescimento baseadas em fatores biológicos, exige uma nova forma da modelagem na engenharia florestal: o uso de modelos de crescimento para árvores singulares que oferecem a vantagem de serem aplicados na produção de madeira de alta qualidade ou em florestas heterogêneas mistas (PRETZSCH, 1995).

Ferramentas de decisão para o manejo do crescimento de diâmetro, baseadas em modelos espaciais da árvore individual, já foram desenvolvidas por SPIECKER (1991) e NUTTO (1999) para a espécie carvalho (*Quercus* sp.). Os trabalhos de DURLO (1996) e DURLO & DENARDI (1998) representam tentativas do manejo das espécies *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma* em florestas secundárias através do espaço vital da árvore singular.

Primeiras abordagens para avaliar a relação entre a largura da copa e o crescimento de diâmetro para a araucária foram feitos em diferentes zonas climáticas por LONGHI (1980), SEITZ (1986) e WACHTEL (1990). Todas confirmaram uma alta correlação entre as duas variáveis, mas até hoje os resultados não foram usados para desenvolver novas ferramentas de decisão para intervenções silviculturais.

Classificação e importância da qualidade do sítio

Um dos fatores mais importantes para o planejamento florestal é a classificação do sítio que determina o crescimento máximo, por isso, considerado o fator limitante principal para a produção e a rentabilidade. Também já foi provada a influência da qualidade do sítio na poda natural, com conseqüências na produção de madeira de qualidade (NUTTO 1999, NUTTO & SPIECKER, 2000)

Vários métodos podem ser aplicados para classificar um sítio, mas um dos mais empregados na Engenharia Florestal, por causa da facilidade de determinação, é a relação entre altura e idade que representa uma boa medida da qualidade do sítio (FAO, 1981). A classificação do sítio pelo uso da altura "dominante" tem a vantagem de ser pouco influenciado pelo espaçamento e, portanto, pelos desbastes realizados num período de rotação. Entretanto, deve ser considerado que curvas de altura, em razão da idade, não permitem interpretações causais sobre os fatores limitantes do crescimento.

Para a araucária, as curvas hipsométricas das tabelas de produção de SCHNEIDER & OESTEN (1999), incluindo uma grande variedade de sítios, oferecem uma boa classificação da qualidade do sítio pela relação de altura e idade no sul do Brasil. As curvas hipsométricas desenvolvidas por DE HOOGH *et al.* (1978) não representaram tão bem os dados observados neste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O material usado para este estudo foi escolhido pelos critérios qualidade do sítio, idade, tratamentos aplicados e espaçamentos iniciais. As amostras localizam-se aproximadamente entre os coordenados: 29°27' Sul e 50°25' oeste, na Floresta Nacional de São Francisco de Paula (RS); 27°34' Sul e 50°22' oeste, nas áreas da empresa CELUCAT em Correia Pinto (SC); e, 25°28' sul e 52°54' oeste, nas florestas da empresa ARAUPEL em Quedas do Iguaçu (PR). Nessas empresas e

na Floresta Nacional, também existem pequenos restos de florestas nativas dominadas por araucária.

Os tratamentos aplicados nos plantios variam entre sem-intervenção, desbaste seletivo e desbaste sistemático. Os espaçamentos iniciais dos plantios variaram entre 2 x 1,5 m, 2 x 2 m e 3 x 2m. Além disso, também foram feitos levantamentos em florestas nativas, dominadas por araucária, e de árvores isoladas, em sítios distintos, quer dizer, árvores crescendo sem manejo. Na Tabela 1 encontram-se os valores dendrométricos mínimos e máximos medidos para cada amostra.

TABELA 1: Valores mínimos e máximos das variáveis medidas.

Amostra / área	n/p/s ¹	Idade ² (anos)	dap min-max (cm)	Altura (h ₁₀₀) min-max ³ (m)	Área da projeção da copa (m ²)	Índice do sítio ⁴
FLONA de São Francisco de Paula, RS	p	33	8,4 - 26,0	13,6	1,2 - 14,6	17
	p	33	12,0 - 29,1	15,6	1,3 - 18,6	20
	p	35	8,4 - 15,0	10,1	1,8 - 11,8	13
	p	35	12,0 - 45,0	18,2	2,6 - 53,0	22
CELUCAT, SC	p	26	13,1 - 33,6	19,4	2,2 - 28,6	28
	n	-	15,9 - 70,3	12,9 - 26,8	6,6 - 144,4	-
	p	28	14,6 - 30,6	19,0	2,8 - 29,4	27
	s	-	9,5 - 128,3	5,0 - 38,4	7,2 - 391,6	-
ARAUPEL, PR	p	21	7,6 - 21,6	12,6	1,6 - 10,5	21
	n	-	4,9 - 51,9	4,9 - 21,2	2,1 - 49,3	-
	p	7	6,4 - 15,8	9,2	2,2 - 6,0	34
	p	10	7,6 - 20,4	13,4	2,6 - 13,4	34
	p	23	10,0 - 22,7	15,3	2,3 - 14,0	24
	p	32	24,8 - 47,7	22,8	6,9 - 50,4	29
	p	24	25,5 - 42,5	23,42	12,2 - 35,2	34
p	49	36,5 - 60,6	30,4	26,7 - 95,8	32	

Em que: ¹n/p/s = nativa/plantação/solitária; ²idade obtida pelo ano de plantação; ³altura mínima e máxima para as árvores solitárias e as florestas nativas (somente as araucárias); ⁴Segundo SCHNEIDER & OESTEN, h₁₀₀ em relação da idade.

Hipóteses de trabalho

A fonte de energia de uma árvore é a luz do sol que é transformada pelo processo da fotossíntese em energia química. A copa, órgão da árvore responsável por esse processo, é de importância fundamental. Por tal razão, pode-se inferir que o tamanho da copa está relacionado com o crescimento diamétrico da árvore.

A relação entre a dimensão da copa e o diâmetro na altura de 1,30 m (dap) da araucária já foi descrito por vários autores (LONGHI, 1980; SEITZ, 1986; WACHTEL, 1990). De acordo com esses autores, nesse trabalho é aceita a hipótese de que tal relação pode ser expressa pela função: largura da copa = f (d_{1,3}), em que, a largura da copa serve como parâmetro apropriado para estimar o espaço vital (bidimensional). Com a ajuda dessa função, tratamentos silviculturais baseadas no regulamento da dimensão da copa podem ser desenvolvidos. Um fator importante, que também deve ser considerado para essas formas de manejo, é a qualidade do sítio que pode influenciar o

desenvolvimento da copa (NUTTO & SPIECKER, 2000). Uma função da seguinte forma é assumida: $ir_{1,3 \text{ max}} = f(\text{IS})$, em que: $ir_{1,3 \text{ max}}$ = incremento radial anual médio na altura de 1,30 m (calculado do $d_{1,3}$ com casca e da idade); IS = Índice de Sítio (baseada na relação de idade e altura dominante (h_{dom}), SCHNEIDER & OESTEN, 1999).

Com a primeira função, o crescimento em diâmetro pode ser manejado, e a segunda define os limites por causa da qualidade do sítio, dentro dos quais o manejo pode ocorrer (SPATHELF *et al.*, 2000).

Seleção das amostras e medições

Para que os resultados deste estudo fossem representativos para a araucária, a base de dados incluiu vários sítios com florestas nativas e artificiais, sob tratamentos em 3 regiões climáticas distintas, várias classes de diâmetro e altura, além de árvores crescendo com pouca ou sem concorrência, para estimar o fator limitante do sítio.

Uma pesquisa sobre o desenvolvimento da copa em dependência do espaço vital requer que se considere a situação de competição da árvore individual. Para obter informações sobre as árvores vizinhas e facilitar a amostragem, é aconselhável reunir várias árvores numa unidade. Depois de um estudo preliminar foi calculado, por meio de um método iterativo, a variação dos parâmetros e o número de árvores para obter resultados estatisticamente seguros. Foi verificado que um número de 25 árvores por amostra seria o suficiente. A primeira árvore de cada amostra foi escolhida por acaso com ajuda de um ângulo e uma distância, gerados aleatoriamente por um computador, partindo de um ponto qualquer da estrada florestal. Dessa árvore, para a qual foram dadas as coordenadas (0/0), foram localizadas as outras árvores por meio do Azimute e da distância. Em cada árvore, foram medidas o dap, a altura total e a projeção da copa. Essa foi medida por meio de oito raios com ângulos variáveis, usando um inclinômetro (SUUNTO) para projetar os pontos que representam melhor a forma real da projeção da copa no solo, em seguida tais pontos são determinados pela distância e o Azimute da árvore (SPIECKER, 1983). Esse método resulta em melhor precisão e efetividade dos resultados com árvores de copas assimétricas (RÖHLE 1986, SPIECKER 1991). Com tais dados, foram gerados mapas da distribuição e da projeção da copa (Figura 1).

Dos polígonos obtidos da projeção da copa, foi calculada a área pelo método triangular (RÖHLE, 1986). Transformando as áreas dos polígonos em círculos, a largura média da copa podia ser calculada. Depois, uma parte de árvores para cada amostra foi destacada com uma linha desenhada à mão, e foi calculada a área desse polígono com a ajuda de um digitalizador. Da diferença entre tal polígono e a soma das áreas das copas dentro dele foi calculada a porcentagem da cobertura do dossel.

Esse valor é de grande importância, porque nem toda área à disposição das árvores, é usada pelas copas. Sempre tem uma área sem-produtividade, por meio de vários fatores (SPIECKER 1991, NUTTO 1999), que devem ser considerados usando modelos espaciais dependentes da distância. Assim, como pode ser observado na Figura 1, a área total deve ser descontada da área inprodutiva (área sem-cobertura) para obter a área produtiva real a ser utilizada na modelagem.

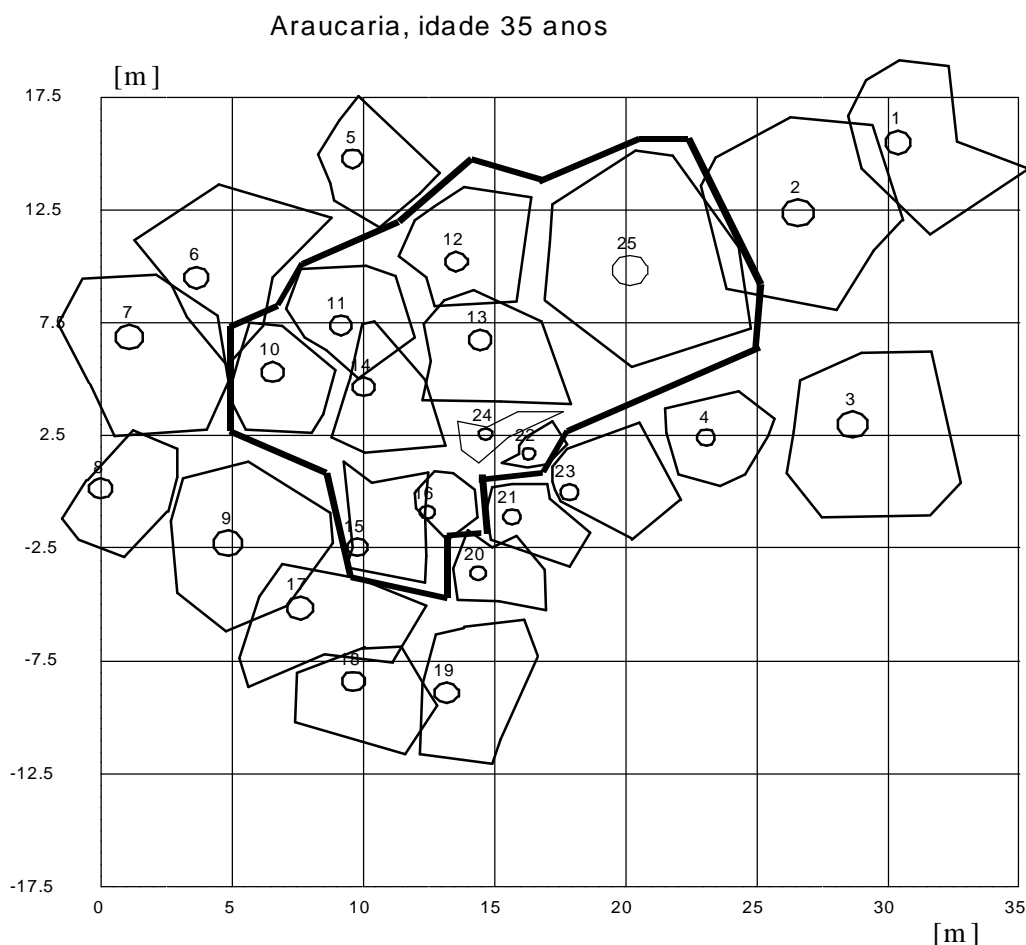


FIGURA 1: Mapa de distribuição das árvores com as projeções das copas. Com ajuda da área destacada (simbólica), foi calculada a porcentagem de cobertura das árvores dominantes (classes 1 a 3) em relação à área total.

Nos povoamentos plantados, as árvores foram classificadas segundo KRAFT (1902) como mostra Tabela 2. Essa classificação foi feita principalmente para florestas homogêneas e equiâneas e não é totalmente apropriada para classificar árvores em florestas estruturadas, por isso, tal método não foi aplicado nas florestas nativas.

TABELA 2: Classe social de árvores segundo a classificação de KRAFT.

Classe	Descrição
1	árvores pré-dominantes
2	árvores dominantes
3	árvores co-dominantes (intermediárias)
4	árvores dominadas
5	árvores (completamente) suprimidas com copas vivas ou quase-mortas

Foram também determinados o sexo das árvores (em que foi possível), o estado da copa (vitalidade em classes 1 a 3) e a forma da copa, segundo SEITZ (1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise estatística e definição do modelo de crescimento em diâmetro

A análise de correlação das variáveis de todas as 400 árvores de araucária medidas neste trabalho mostrou uma correlação significativa entre as variáveis área da projeção da copa e área basal da árvore individual. Como essas variáveis são de determinação mais difícil, sendo por isso pouco aplicadas na prática da Engenharia Florestal, foram utilizadas a largura da copa e o dap por apresentarem unidades métricas (m ou cm) compatíveis para a estimativa por regressão linear. Na Tabela 3, é mostrado o resultado da análise de correlação dessas variáveis.

TABELA 3: Coeficiente de correlação de PEARSON, $\text{Prob} > |R|$ com $H_0: R_{h_0}=0 / N=400$

Variáveis	Área da projeção da copa	Área basal	Largura da copa (lc)
Área basal	0,94	-	-
Largura da copa (lc)	0,94	0,89	-
dap	0,90	0,93	0,96

Todas as variáveis apresentam correlação significativa entre si a um nível de 1% de probabilidade. A análise de regressão com os dados originais sendo a largura da copa a variável dependente e o dap como variável independente, uma variação não-constante.

A distribuição dos resíduos (Figura 2) mostra que a suposição de variância constante não é atendida. Esta indica que termos lineares e quadráticos devem ser incluídos no modelo. Depois de uma transformação de largura da copa (lc) para \sqrt{lc} e a adição de um termo quadrático, obteve-se uma distribuição normal com uma média igual a zero (Figura 3).

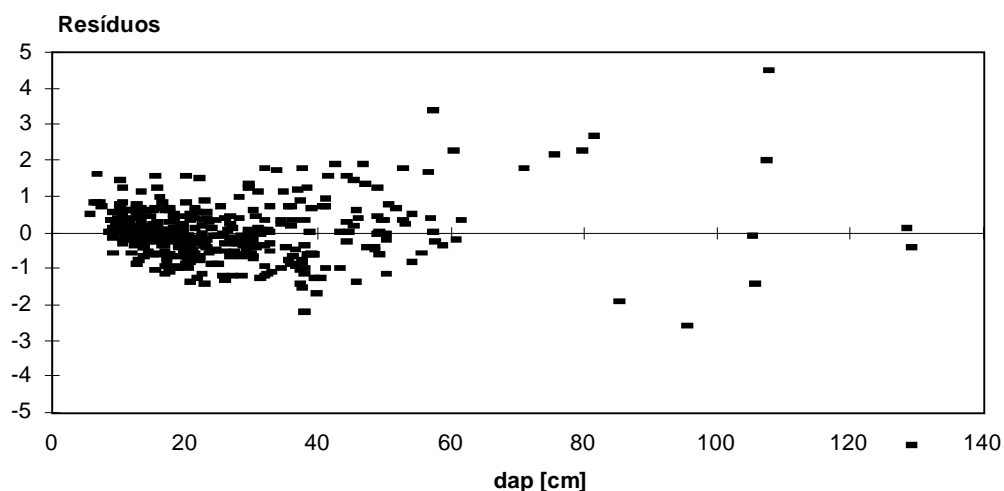


FIGURA 2: Resíduos com os dados originais largura da copa (lc) como variável dependente e o dap como variável independente, com variância não-constante.

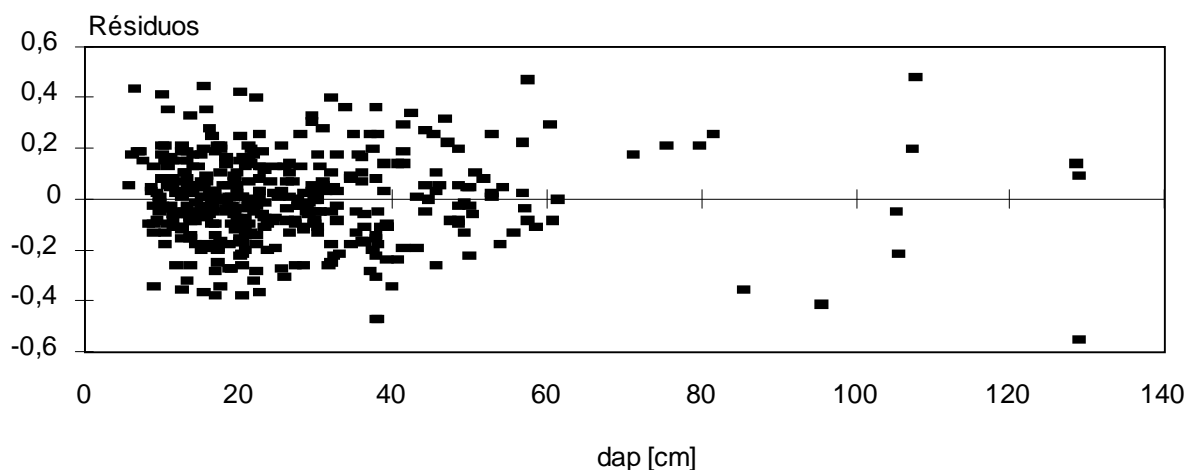


FIGURA 3: Resíduos após a transformação da variável largura da copa (lc) e a adição de um termo dap^2 .

A normalidade dos resíduos foi testada por meio da estatística do χ^2 que indicou que pode ser suposta uma distribuição normal dos resíduos.

Os resultados da análise de variância (Tabela 4) mostram que o erro-padrão da estimativa diminui com a adição do termo quadrático do dap , e aumenta o coeficiente de determinação de 0,88 para 0,93. Isso significa que esse modelo além de considerar todos os pressupostos da análise de regressão, ainda explica 5% a mais da variação total da regressão, portanto, superior ao modelo simples.

TABELA 4: Análise de variância.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob>F	CV	R ²
Modelo	2	147,064	73,532	2524,863	0,0001	8,405	0,93
Erro	397	11,562	0,02912				
Total	399	158,626					

Em que: FV = Fonte da variação; GL = Graus da liberdade; SQ = Soma dos quadrados; QM = Quadrado Médio; F = Estatística F de Snedecor; CV = Coeficiente de Variação, R² = Coeficiente de determinação.

A tentativa de aumentar ainda mais o coeficiente de determinação, adicionando outras variáveis ao modelo não deu resultado, pois nenhuma outra variável foi capaz de explicar ainda mais a variação observada ao nível de significância de 0,5%. Isso indica que a qualidade do sítio e a idade do material usado para a modelagem não influenciam o modelo descrito abaixo.

Assim, pode-se concluir que o modelo $\sqrt{lc} = 0,939 + 0,0473dap - 0,000154dap^2$ é significativo (Tabela 5) e explica uma alta percentagem da variação existente (Figura 4).

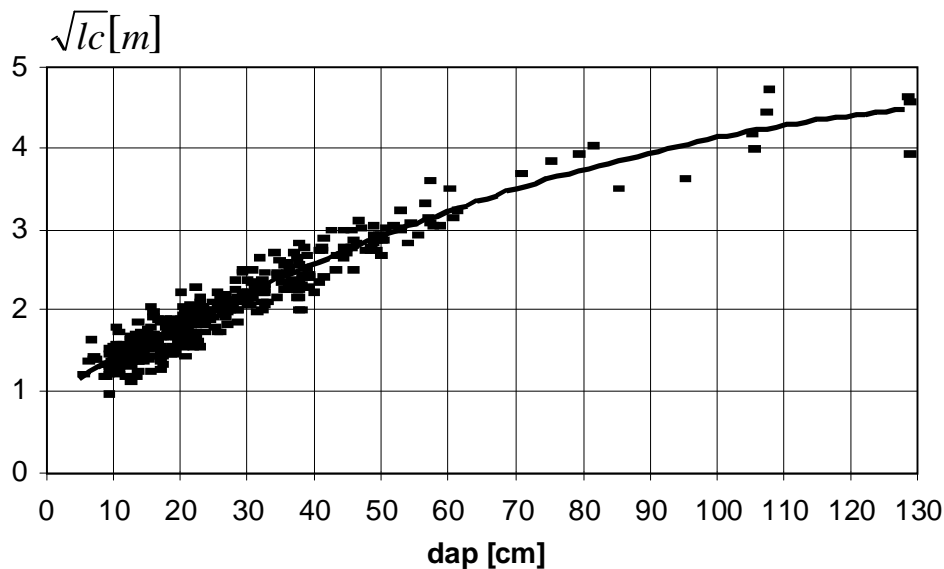


FIGURA 4: Largura da copa (lc) em função do dap ($R^2 = 0,93$).

TABELA 5: Parâmetros estimados do modelo.

Variável	GL	Parâmetro estimado	Erro padrão	T para H0: parâmetro=0	Prob > T
intercepto	1	0,938897	0,02351402	39,929	0,0001
dap	1	0,047328	0,00123322	38,377	0,0001
dap ²	1	-0,000154	0,00001153	-13,314	0,0001

Modelo do crescimento radial máximo em relação com a qualidade do sítio

O modelo do crescimento do dap em relação à largura da copa não inclui qualidade do sítio e somente é capaz de estimar o espaço vital que uma árvore precisa para ter um certo diâmetro. Como foi colocado na hipótese de trabalho, a expansão máxima da copa de uma árvore em um certo tempo, é determinada pelos recursos naturais que o sítio oferece para o crescimento. Para planos de manejo silviculturais, é de grande importância incluir o tempo, isto é, o período de rotação, pois esse é um dos fatores que mais influenciam a rentabilidade de um investimento. A qualidade do sítio é um fator que influencia o crescimento diamétrico, como é mostrado na Figura 5. Entre o incremento radial máximo e o índice do sítio, existe uma estreita relação para 8 classes de sítio (13 até 32), com o coeficiente de determinação igual a 0,9144 que pode ser descrita pela função:

$$ir \max = 3,2067 - 0,1945 \cdot IS + 0,0119 \cdot IS^2$$

Em que: ir max = incremento radial máximo; IS = Índice de sítio (SCHNEIDER & OESTEN, 1999).

As condicionantes da regressão foram testadas e indicam que o modelo representa significativamente e com alta precisão a relação descrita acima.

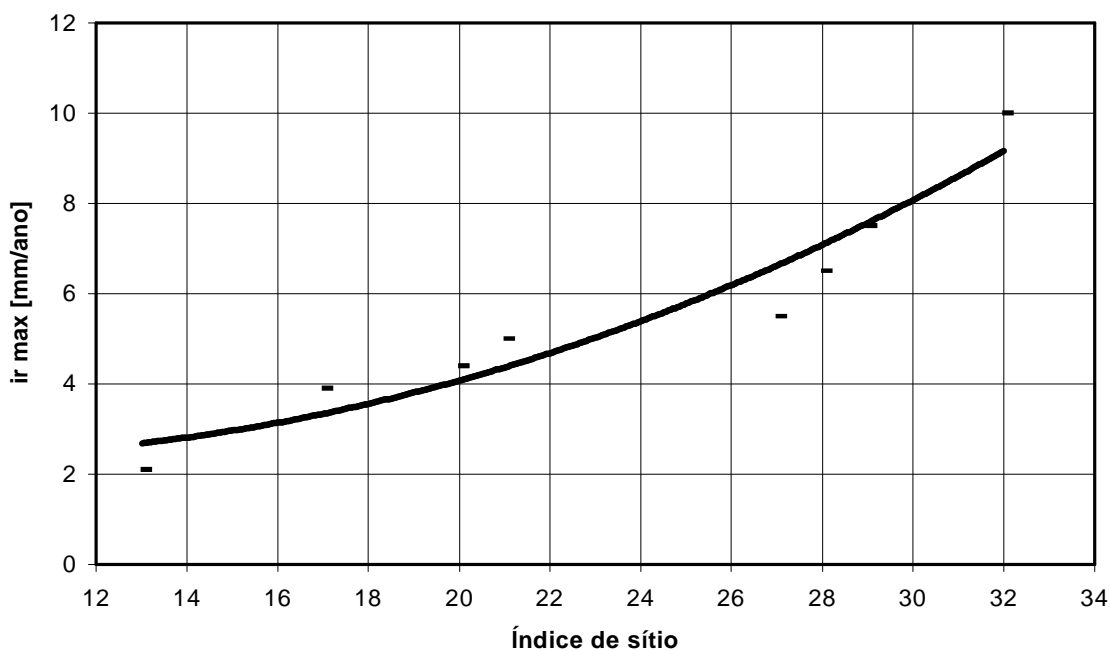


FIGURA 5: Relação entre o índice de sítio e o incremento radial máximo à altura do peito (ir max).

No primeiro modelo, o crescimento diamétrico é relacionado com a largura da copa, isto é, com o tamanho desta. Diminuindo ou aumentando o espaço vital com desbastes, a árvore cresce mais ou menos rápido. O crescimento diamétrico pode ser manejado pela competição. Em sítios de qualidade mais alta o espaço adicional oferecido pelos desbastes é ocupado mais rápido pelas árvores liberadas, por causa do maior potencial de expansão da copa. Isso indica que não somente o crescimento vertical (crescimento em altura), mas também o potencial do crescimento horizontal (expansão da copa), são influenciados pela qualidade do sítio. Com tais modelos podem ser desenvolvidas informações de decisão para o manejo do espaço vital de árvores individuais (Tabela 6).

A Figura 6 mostra a largura máxima da copa que pode ser atingida em um determinado tempo, dependendo da qualidade do sítio.

O desenvolvimento da copa pode ser conduzido entre os limites representados pelas curvas, regulando a competição por meio de desbastes. Para diminuir o crescimento em diâmetro, o dossel deve ser mantido fechado, significando alta competição pelo espaço vital entre as árvores. Isso naturalmente exige uma certa densidade inicial, caso contrário, o crescimento não pode ser mantido abaixo de um alto nível por meio do manejo do espaçamento. Nesse sentido, os sítios de alta qualidade oferecem mais liberdade no tratamento silvicultural, porque o crescimento de diâmetro pode ser manejado entre limites mais amplos do espaçamento.

TABELA 6: Informações de decisão para o manejo da largura de copa, dependendo do diâmetro-objetivo num determinado período de rotação e índice de sítio.

idade [anos]	IS 15 ir=3	lc	N	IS 19 ir=4	Lc	N	IS 23 ir=5	lc	N	IS 26 ir=6	lc	N	IS 28 ir=7	lc	N	IS 30 ir=8	lc	N	IS 32 ir=9	lc	N		
10	6	1,8	3145	8	2,1	2311	10	2,3	2098	12	2,6	1508	14	3,0	1132	16	3,3	936	18	3,6	786		
15	9	2,2	2106	12	2,6	1508	15	3,1	1926	18	3,6	786	21	4,2	578	24	4,7	461	27	5,3	363		
20	12	2,6	1508	16	3,3	936	20	4,0	1060	24	4,7	461	28	5,5	337	32	6,3	257	36	7,2	197		
25	15	3,1	1060	20	4,0	637	25	4,9	637	30	5,9	293	35	6,9	214	40	8,0	159	45	9,1	123		
30	18	3,6	786	24	4,7	461	30	5,9	424	36	7,2	197	42	8,5	141	48	9,8	106	54	11,1	83		
35	21	4,2	578	28	5,5	337	35	6,9	293	42	8,5	141	49	10,0	102	56	11,6	76	63	13,1	59		
40	24	4,7	461	32	6,3	257	40	8,0	214	48	9,8	106	56	11,6	76	64	13,3	58	72	15,1	45		
45	27	5,3	363	36	7,2	197	45	9,1	159	54	11,1	83	63	13,1	59	72	15,1	45					
50	30	5,9	293	40	8,0	159	50	10,2	123	60	12,5	65	70	14,7	47	80	16,8	36					
55	33	6,5	241	44	8,9	129	55	11,3	98	66	13,8	54	77	16,1	39								
60	36	7,2	197	48	9,8	106	60	12,5	80	72	15,1	45											
65	39	7,8	168	52	10,7	89	65	13,6	65	78	16,4	38											
70	42	8,5	141	56	11,6	76	70	14,7	55														
75	45	9,1	123	60	12,5	65	75	15,7	47														
80	48	9,8	106	64	13,3	58	80	16,8	41														

Em que: lc = largura da copa (m), para um grau de cobertura de 80 % pelo dossel, ir = incremento radial médio (mm/ano); IS = índice de sítio máximo; dap = diâmetro à altura do peito; N = número máximo de araucárias por hectare (com uma área de cobertura de 80 % do dossel).

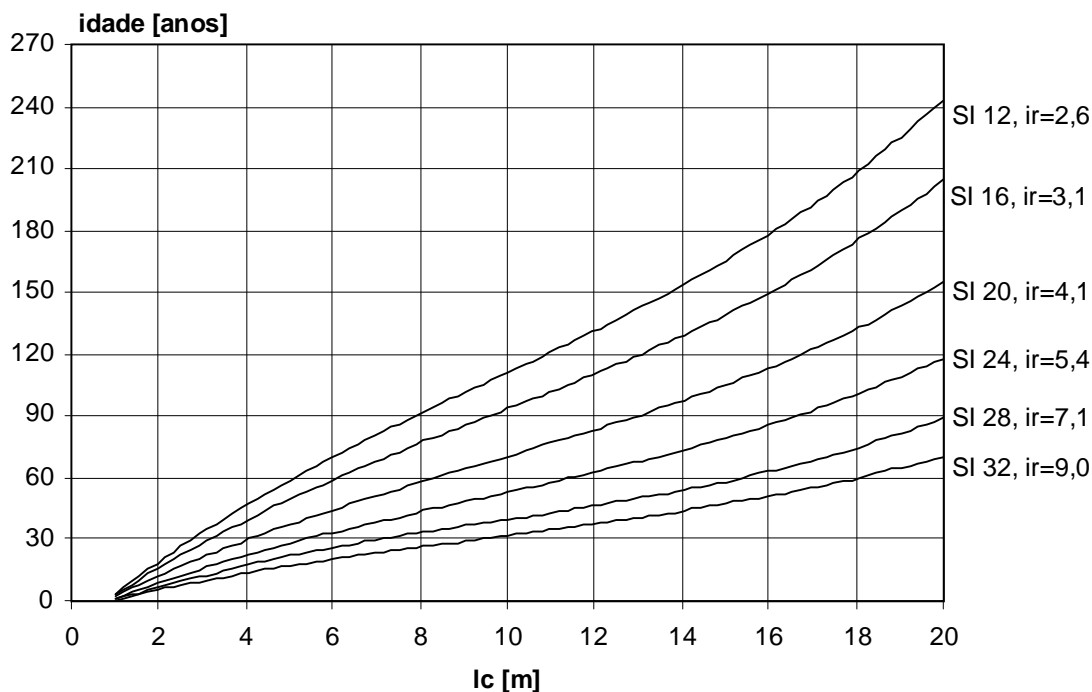


FIGURA 6: Desenvolvimento máximo da largura da copa (lc) com o tempo (idade), dependendo da qualidade do sítio (SI, com correspondente incremento radial máximo). As curvas seguem um polinômio de 3º grau. Isso indica uma possível correlação entre a dinâmica da expansão da copa e a culminação do crescimento em altura.

Discussão dos resultados

A classificação do sítio por meio de curvas monomórficas tem que ser aplicada cuidadosamente, como mostrou o trabalho de WEBER-SCHEEREN *et al.* (1999), por causa da presença de árvores com diferentes tendências de crescimento. SEITZ (1986) explica essa variação pela grande variabilidade genética da araucária. Por isso, a classificação dos sítios das amostras com ajuda da altura dominante, como feito no presente estudo, tem que ser observada com uma certa crítica.

O modelo da largura da copa, em relação com o crescimento em diâmetro, pode ser comparado com três outros modelos já existentes (Figura 7 e Tabela 7). Enquanto o modelo de WACHTEL (1990) segue a função do modelo desenvolvido neste trabalho, os de LONGHI (1980) e SEITZ (1986) mostram um crescimento de diâmetro mais baixo com a mesma largura da copa. A diferença entre o modelo de LONGHI pode ser explicado com o uso de outro método: só foram medidos dois diâmetros da copa que, segundo HUBER & RÖHLE (1985), geralmente causa uma estimativa acima da verdadeira largura da copa, enquanto o cálculo da largura da copa por meio de suas projeções com oito raios, igual ao método usado por Wachtel e neste estudo, é de maior precisão.

TABELA 7: Comparação das equações e métodos usados para o desenvolvimento de modelos para estimar a relação entre a largura da copa e o dap.

Autor	Equação	Método de medição da copa
LONGHI (1980)	$lc = 0,128 + 0,233dap$	2 diâmetros da copa na extensão mais larga
SEITZ (1986)	$lc = -0,706 + 0,242dap$	-
WACHTEL (1990)	$lc = 0,92392 + 0,1372dap$	8 raios da copa com ângulos fixos
NUTTO	$\sqrt{lc} = 0,939 + 0,0473dap - 0,000154dap^2$	8 raios da copa com ângulos variáveis

O modelo de WACHTEL confirma isso, porque mesmo com uma base de dados bem-diferente daquela usada neste trabalho, mostra quase os mesmos resultados na modelagem. Enquanto isso, o modelo de SEITZ representa um caso especial cuja base de dados consiste de 20 projeções de copas de árvores de uma floresta nativa crescendo sem competição. Comparativamente, neste trabalho, também foi analisada tal situação, mas não se obteve diferença significativa, o que pode ser explicado pelas árvores terem sido liberadas há pouco tempo. Nesse caso, muitas vezes, observa-se um crescimento da copa forçado no tempo segundo o desbaste, em que a árvore conquista o espaço vital e só depois dessa fase, o crescimento em diâmetro aumenta (NUTTO, 1999). Assim, nos anos seguintes à liberação, a relação entre a largura da copa e o dap é perturbada e só recupera depois de certo tempo. Uma outra explicação seria a teoria de MAYER (1958), como também de STERBA & AMATEIS (1998) que acharam uma produtividade da copa menor de árvores dominantes, quer dizer, o crescimento diamétrico é reduzido em relação à área da copa.

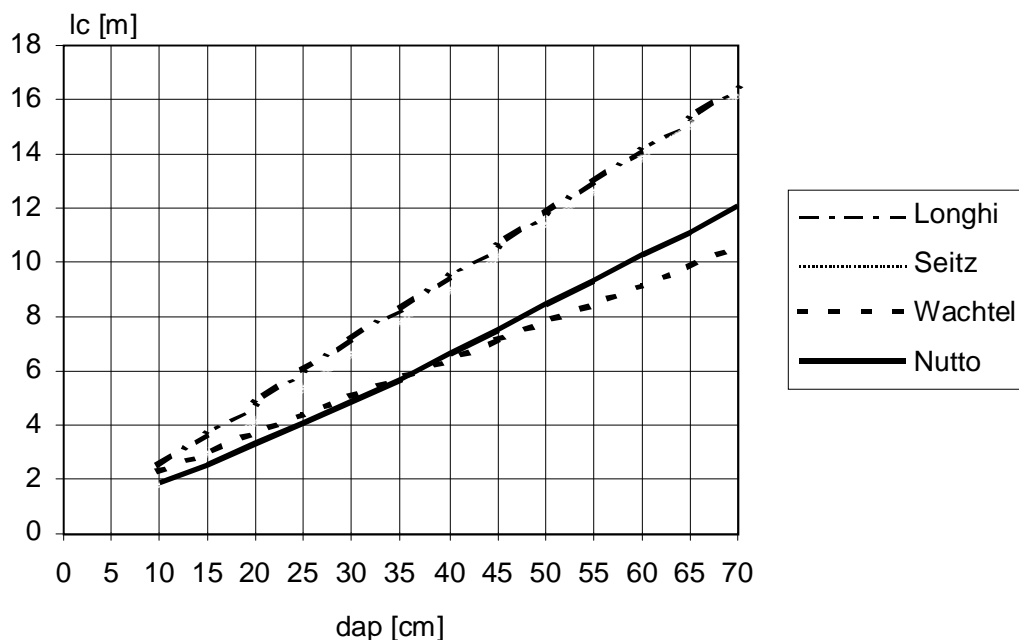


FIGURA 7: Comparativo da relação entre a largura da copa (lc) e o dap com os modelos de LONGHI (1980), SEITZ (1986) e WACHTEL (1990).

A diferença entre os modelos, obviamente, é causada por uma diferença entre a relação da largura da copa e do dap que afetando o número de árvores que cabem num hectare nos diferentes estágios de desenvolvimento. A Figura 8 mostra que, mesmo as curvas se aproximando com o dap maior, a diferença relativa de N/ha chega a alcançar até 100% entre os dois modelos escolhidos.

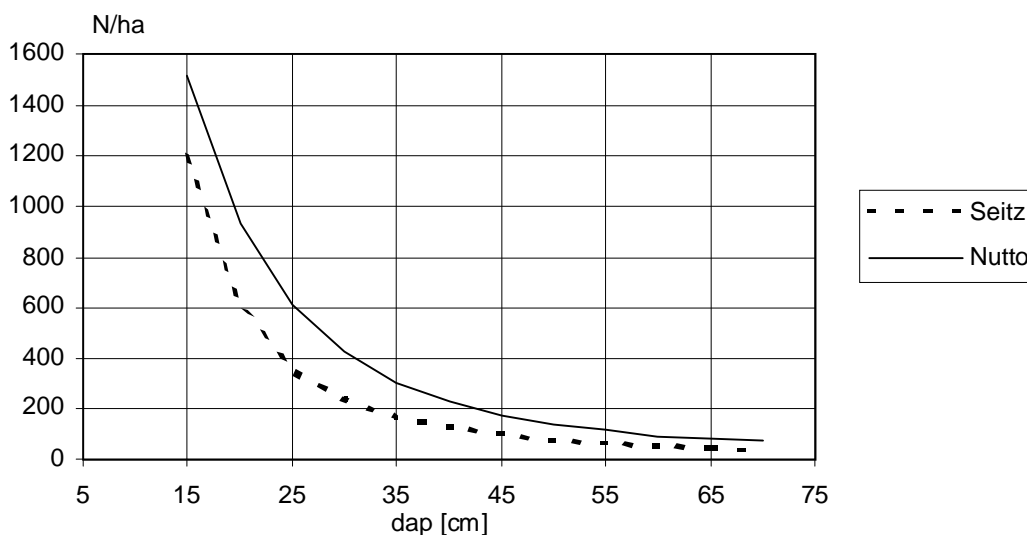


FIGURA 8: Comparação do número de árvores por hectare (N/ha) sobre o dap dos modelos de SEITZ (1986) e deste trabalho.

CONCLUSÕES

Entre os parâmetros largura da copa e o dap existe uma relação estreita. Usando tal relação, pode ser estimado o espaço vital de uma árvore. Assim, o crescimento em diâmetro da árvore pode ser conduzido pela regulação da concorrência, quer dizer por desbastes. Essa função oferece possibilidades básicas para tratamentos e desbastes da árvore individual. Assim, pode servir como base para o manejo de araucária em florestas heterogêneas inequiâneas ou para a produção de madeira de qualidade, com enfoque do manejo em poucas árvores pré-selecionadas (árvore-futuro).

O manejo baseado na condução do tamanho da copa é limitado pela qualidade do sítio. Não só o crescimento em altura depende dos fatores solo e clima, mas também a expansão horizontal máxima da copa. Para cada classe de sítio, deve ser considerado um incremento diamétrico máximo no manejo.

A diferença encontrada nos modelos da largura da copa e do dap na literatura, exige a confirmação do modelo determinado com outros dados e mais pesquisa sobre os métodos usados para medir e calcular a área da projeção da copa.

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Florestal Saulo José Barbieri, Chefe do Setor de Planejamento Florestal e ao Técnico Vilmar de Souza Brasil, ambos da Empresa ARAUPEL S.A. de Quedas do Iguaçu, PR.

Ao Engenheiro Florestal Flávio Mendes, da Empresa CELUCAT S.A. de Correia Pinto, SC.

Este trabalho foi realizado com a ajuda do Programa de Pós-doutorado HSP III do Governo Federal da Alemanha, sob coordenação do DAAD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABETZ, K. Zum Konzept einer Z-Baum-orientierten Kontrollmethode. **Allgemeine Forstzeitschrift**, n. 151, p. 65-68, 1980.
- DE HOOGH, R.J.; DIETRICH, A.B.; AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume e produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, n. 9, v. 36, p. 58-82, 1978.
- DE HOOGH, R.J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in Southern Brazil**. Freiburg: UF, 1981. 161 p. Dissertação (Doutorado) - Universität Freiburg, 1981.
- DURLO, M.A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilens**. Vienna: BOKU, 1996. 175 p. Dissertação (Doutorado) - Universität für Bodenkultur, 1996.
- DURLO, M.A.; DENARDI, E. Morfometria de *Cabralea canjerana* em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 44-55, 1998.

- FAO. **El eucalipto en la repoblación florestal**. Roma: FAO, 1981. 723p.
- GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.6, p. 7-62, 1967.
- HUBER, W.; RÖHLE, H. Untersuchungen zur Methode der Ablotung von Kronenradien und der Berechnung von Kronengrundflächen. **Forstarchiv**, n. 56, p.238-243, 1985.
- HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972. p. 206-239.
- IBAMA. **Relatório de comercialização de espécies contingenciadas**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/onda/tabelas/indice.htm>. 32 tabelas. Acesso em 1998.
- KLEIN, R.M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, n. 12, p. 17-48, 1960.
- KRAFT, G. Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben (1884). In: Die diesjährige Versammlung des Vereins Forstlicher Versuchsanstalten, von WIMMENAUER. **Allgemeine Forst- und Jagdzeitung**, p. 422-425, 1902.
- LAMPRECHT, H. **Waldbau in den Tropen**. Hamburg und Berlin: Paul Parey Verlag, 1986. 318 p.
- LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., no Sul do Brasil**. Curitiba: UFPR, 1980, 198 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Parana, 1980.
- MACHADO, S.A.; SIQUEIRA, J.D.P. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONFERÊNCIA IUFRO "PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO *Araucaria*", 1980, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1980. p. 4-9.
- MAYER, R. Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. **Allgemeine Forst- und Jagdzeitung**, n. 129, p.105-114, 151-163, 191-201, 1958.
- NAUBER, J. **Internationale Schutzkonzeptionen**. In: HERKENDELL, J.; PRETZSCH, J. (Hrsg.) Die Wälder der Erde: Bestandesaufnahme und Perspektiven. Beck: München., 1995. p.226-235.
- NUTTO, L. **Neue Perspektiven für die Begründung und Pflege von jungen Eichenbeständen**: Ergebnisse einer Untersuchung zur Kronenentwicklung, Astreinigung und Dickenwachstum junger Stiel- und Traubeneichen in Europa (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung Band 5. Freiburg i. Brsg, 1999. 190 p.
- NUTTO, L.; SPIECKER, H. Production of valuable wood: a software aided decision tool for managing oak stands (*Quercus petraea* Liebl. and *Q. robur* L.) in Europe. **Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis**, v. 37, p. 37-49, 2000.
- PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, n. 114, p. 188-209, 1995.
- RÖHLE, H. Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien. **Forstarchiv**, n. 57, p. 67-71, 1986.
- SCHNEIDER, P.R.. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998. 236 p.

- SCHNEIDER, P.R.; OESTEN, G. **Tabelas auxiliares para o manejo de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii* para a região do planalto médio do Rio Grande do Sul.** Sana Maria: UFSM, CEPEF, 1999. 118p.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. **Manejo sustentado de florestas inequidâneas heterogêneas.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 195 p.
- SEITZ, R.: Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern. **Annales des Sciences Forestières**, n. 43, p. 327-338, 1986.
- SPATHELF, P.; NUTTO, L.; SELING, I. Condução do crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* com base em árvores individuais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria. **Anais ...** Santa Maria, 2000, p. 471-490.
- SPEIDEL, G. **Planung im Forstbetrieb.** Hamburg: Paul Parey Verlag, 1972. 267 p.
- SPIECKER, H. Durchforstungsansätze bei der Eiche unter besonderer Berücksichtigung des Dickenwachstums. **Allgemeine Forst- und Jagdzeitung**, n. 154, p. 21-37, 1983.
- SPIECKER, H. **Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen.** Schriftenreihe der Landesforstverwaltung B.-W. 72, 1991. 155 p.
- STERBA, H. Concepts and techniques for forest growth models. In: CONFERÊNCIA IUFRO "ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GROWTH MODELS FOR MANAGEMENT DECISIONS", 1989, Vienna. **Anais ...** Viena, 1989. p. 13-20.
- STERBA, H.; AMATEIS, L. Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. **Can. J. For. Res.**, n. 28, p. 1344-1351, 1998.
- WACHTEL, G. **Untersuchungen zu Struktur und Dynamik eines Araukarien-Naturwaldes in Südbrasilien.** Freiburg: UF, 1990. 180 p. Dissertação (Doutorado) - Universität Freiburg, 1990.
- WEBER-SCHEEREN, L.; FINGER, C.G.; SCHUMACHER, M.V. *et al.* Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em três sítios naturais, na região de Canela – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 23-40, 1999.
- WHITMORE, T.C. **Tropical rain forests of Far East.** Oxford, 1975.