

MODELAGEM DO ESPAÇO DE CRESCIMENTO PARA ARAUCÁRIA

MODELLING GROWING SPACE FOR ARAUCARIA

Emanuel Arnoni Costa¹ César Augusto Guimarães Finger² Frederico Dimas Fleig³

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com objetivo de modelar o espaço de crescimento para árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Um total de 869 araucárias foram amostradas em três municípios no sul do Brasil, sendo 175 árvores com crescimento livre de competição nos municípios de Canoinhas-SC e Lages-SC, e 694 sob influência da competição em floresta natural nos municípios de São Francisco de Paula-RS e Lages-SC. Em cada árvore, foi medido o diâmetro a altura do peito, altura total e raios de copa seguindo as direções dos pontos cardeais. O diâmetro de copa foi determinado dobrando o valor do raio médio. Três modelos foram ajustados e avaliados quanto ao ajuste, precisão e análise gráfica dos resíduos, segundo o município e a condição de crescimento. Na comparação das equações, a análise de covariância não indicou diferença significativa entre nível e inclinação das equações de diâmetro de copa de árvores livres e sob competição nos diferentes locais em que os dados foram amostrados. Uma única equação foi definida para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito para a espécie.

Palavras-chave: pinheiro-do-paraná; diâmetro de copa; superfície da copa.

ABSTRACT

This study was developed in order to model the growing space for *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze trees. A total of 869 Parana pine trees were sampled in three municipalities in southern Brazil, being 175 trees with free growing of competition in the municipalities of Canoinhas (SC state) and Lages (SC state), and 694 under influence of competition in natural forest in the municipalities of São Francisco de Paula (RS state) and Lages (SC state). In each tree was measured diameter at breast height, total height and crown rays following the directions of the cardinal points. The crown diameter was determined by doubling the value of the average radius of the crown. Three models were fitted and evaluated the fit statistics, accuracy and residual graphical analysis, according to the municipality and growth condition. When comparing the equations, covariance analysis indicated that there is no significant difference between the level and slope of the crown diameter equations of open growth trees and under competition in different places where data were sampled. A single equation was defined to estimate the crown diameter as a function of the diameter at breast height for this species.

Keywords: Parana-pine; crown diameter; crown surface.

INTRODUÇÃO

O espaço de crescimento faz referência à disponibilidade de todos os recursos necessários para uma árvore existir em um determinado sítio (FOLI et al., 2003) e a extensão desse espaço pode ser influenciada pelas árvores circunvizinhas que limitam o crescimento lateral (KAMAL et al., 2004). Em nível de árvore

1 Engenheiro Florestal, Dr., Pós-Doutorando Júnior do CNPq, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. emanuelarmonicost@hotmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. cesarfinger.ufsm@gmail.com

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. dimasfleig@uol.com.br

Recebido para publicação em 3/10/2015 e aceito em 9/03/2017

individual, o espaço de crescimento pode ser definido pela área de projeção horizontal da copa (ASSMANN, 1970).

A área de projeção horizontal da copa sobre o solo pode ser obtida com a medição dos raios de copa, sendo a regularidade da copa determinante, pois copas assimétricas requerem a medição de maior número de raios para obter acurácia na estimativa da área de projeção horizontal da copa (COSTA; FINGER; CUNHA, 2013). A forma direta de determinação da área de projeção horizontal da copa, realizada mediante fotografias aéreas e imagens de satélites, pode não ser acurada em povoamentos densos, mistos e inequidanos (CÔRTE; CANALEZ; SANQUETTA, 2007; SANQUETTA; CORTE; JACON, 2011), sendo, neste caso, necessária a determinação indireta com a medição dos raios de copa no campo, atividade trabalhosa, que consome muito tempo e exige operadores treinados para minimizar erros sistemáticos.

Para determinar a área de projeção horizontal da copa, normalmente, é realizada a estimativa com modelos de regressão, que pode ser aplicado tanto em povoamentos puros equidanos como em povoamentos mistos inequidanos (GROTE, 2003). Para a modelagem do diâmetro de copa, a variável independente comumente usada é o diâmetro a altura do peito, devido à alta correlação existente entre elas (BECHTOLD, 2003; LOCKHART; WEIH; SMITH, 2005; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ; CAÑELLAS; MONTERO, 2007). Os modelos de diâmetro de copa são úteis para definir o número máximo de futuras árvores por unidade de área no momento em que um diâmetro predeterminado for alcançado (NUTTO; SPATHELF; ROGERS, 2005; SCHULER et al., 2013).

Árvores livres, que crescem sem a influência de árvores competidoras, apresentam dimensão máxima para algumas variáveis morfométricas (HASENAUER, 1997), sendo um referencial quanto ao potencial da espécie quando comparado com árvores que crescem sob competição. Assim, conhecer a morfologia de árvores livres auxilia na elaboração de estratégias de manejo (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

A função que descreve a dimensão máxima do diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito obtido em árvores livres de competição permite obter o “Fator de Competição de Copas” (FCC), que, segundo Krajicek, Brinkman e Gringrick (1961), é uma medida de densidade própria de um povoamento independentemente da idade e da qualidade do sítio. Assim, é possível determinar o número de árvores por hectare a ser empregado na confecção dos diagramas de manejo da densidade (MÁRQUEZ-LINARES; ALVAREZ-ZAGOYA, 1995).

Apesar da importância do diâmetro de copa na quantificação da área de projeção horizontal da copa, ele habitualmente não é mensurado em inventários florestais, embora seja de enorme aplicação no monitoramento de florestas, pois informa a zona de influência da copa (sobreposição) (RUSSELL; WEISKITTEL, 2011; MCINTOSH; GRAY; GARMAN, 2012) e o grau de concorrência da árvore (GILL; BIGING; MURPHY, 2000; GETZIN et al., 2008).

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo foi modelar o espaço de crescimento para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Especificamente, objetivou-se: (a) determinar o modelo estatístico que descreve a relação entre o diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito; (b) avaliar o paralelismo e a coincidência das linhas de regressão averiguando a existência de relação comum do diâmetro de copa em árvores que crescem com competição em floresta natural e para árvores crescendo sem competição.

MATERIAL E MÉTODOS

Árvores crescendo livres de competição foram amostradas nos municípios de Canoinhas-SC e Lages-SC, e as árvores sob competição em floresta natural nos municípios de Lages-SC e São Francisco de Paula-RS. Para os municípios estudados, o clima, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido, sem estação seca e com verão temperado (Cfb). A temperatura anual média (TAM), em °C, a precipitação anual média (PAM), em mm, a altitude média em relação ao nível médio do mar, em m, e as coordenadas geográficas (ALVARES et al., 2013), indicam a variação nos locais de amostragem (Tabela 1).

TABELA 1: Localização e características climáticas das áreas estudadas.
 TABLE 1: Location and climate characteristics of the studied areas.

Municípios	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	TAM	PAM
Canoinhas	CN	-26°10'	-50°22'	831,0	17,2	1607,4
Lages	LG	-27°48'	-50°19'	987,0	15,2	1684,7
São Francisco de Paula	SFP	-29°26'	-50°35'	854,0	15,0	2016,4

Em que: TAM = temperatura anual média (°C); PAM = precipitação anual média (mm).

As araucárias foram amostradas de forma intencional visando cobrir toda amplitude de distribuição diamétrica que ocorre nos locais estudados. Árvores situadas no interior da floresta natural e sob influência da competição foram 552 em Lages-SC e 142 em São Francisco de Paula-RS. As árvores crescendo livres de competição foram 63 em Canoinhas-SC e 112 em Lages-SC.

Cada árvore teve o diâmetro a altura do peito (DAP) medido com fita diamétrica, a altura total (h) com o hipsômetro Vertex IV, quatro raios de copa para árvores sem competição e oito raios de copa para árvores sob competição no interior da floresta. Foram medidos os raios de copa tendo como referência o eixo central da árvore no nível do DAP com o seu prolongamento do raio de copa em cada uma das posições cardeais: norte (N), nordeste (NE), leste (L), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SO), oeste (O) e noroeste (NO). A bússola permitiu orientar adequadamente a direção de cada posição.

O diâmetro de copa (dc) foi calculado duplicando o valor do raio médio de copa (rcm) pela seguinte expressão 1:

$$rcm = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k rc^2} \quad (1)$$

Em que: rcm = raios de copa médio, em m; rc = raio de copa segundo as posições cardeais, em m; k = número de posições cardeais medidas.

O espaço de crescimento da árvore amostrada em hectare foi calculado pela expressão 2:

$$Ec = \frac{dc^2 \cdot \pi}{40000} \quad (2)$$

Em que: Ec = espaço de crescimento por hectare; dc = diâmetro de copa em m; $\pi = 3,1416$.

O número de árvores representado por hectare foi calculado pela expressão 3:

$$N / ha = \frac{1}{Ec \cdot Sc} \quad (3)$$

Em que: N/ha = número de árvores por hectare; Ec = espaço de crescimento por hectare; Sc = sobreposição de copas considerando a correção para espaçamento hexagonal regular (0,8660), conforme mencionado por Schneider e Schneider (2008).

A área basal por hectare foi calculada pela expressão 4:

$$G = (DAP^2 \pi / 40000) \cdot N/ha \quad (4)$$

Em que: G = área basal, em m²/ha; DAP = diâmetro a altura do peito, em cm; N/ha = número de árvores por hectare.

Para descrever a relação entre o diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito, foram testados três modelos de regressão, de acordo com Costa (2011):

$$dc = a_0 + a_1.DAP + \varepsilon; \quad (5)$$

$$dc = a_0 + a_1.DAP^2 + \varepsilon; \quad (6)$$

$$dc = a_0 + a_1.ln (DAP) + \varepsilon. \quad (7)$$

Em que: dc = diâmetro de copa, em m; DAP = diâmetro a altura do peito, em cm; a_0 , a_1 = coeficientes de regressão estimados; ln = logaritmo natural; ε = erro residual.

Na seleção dos modelos processados no Sistema de Análise Estatística (SAS INSTITUTE, 2004), foram considerados o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) e a análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados para verificar a performance da equação selecionada.

A análise de covariância foi usada para verificar a existência de diferença entre níveis (a_0) e inclinações (a_1) das equações ajustadas (MILLIKEN; JOHNSON, 2002), para a variável diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito dos modelos para árvores livres e sob competição. Quando não ocorreu diferença estatística dessa relação em árvores livres e sob competição, foi definido um diâmetro de copa potencial que delimita a dimensão máxima para a espécie. Por questão de praticidade, o diâmetro de copa potencial foi delimitado analiticamente, com base no ajuste dos dados observados do diâmetro de copa em função do DAP para todas as árvores estudadas, sendo assim, calculou-se um novo intercepto que adicionou em mais 2,5 vezes do valor estimado para esta equação. O valor de 2,5 vezes foi usado, pois, analiticamente verificou-se que o mesmo abrangia a maior parte da amplitude dos dados observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grupo de araucárias crescendo livre de competição e com competição na floresta cobriu uma larga amplitude de distribuição diamétrica, entre 14,5 a 59,2 cm em árvores de crescimento livre e entre 9,9 a 97,1 cm, em árvores sob competição na floresta. As araucárias da floresta apresentaram maior variação do diâmetro de copa ($CV\% \geq 34,2$), devido à maior amplitude de diâmetro a altura do peito e diferentes dimensões e níveis de competição das copas, conforme relatado por Costa (2015) para os mesmos locais estudados (Tabela 2).

TABELA 2: Estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas de araucária de crescimento livre e com competição na floresta nos diferentes municípios amostrados.

TABLE 2: Descriptive statistics of dendrometric variables of araucaria in open growth and under competition in forest for different sampled municipalities.

Tipo	Município	n	Variável	Mínimo	Média	Máximo	CV%
Livre	LG	112	DAP	18,0	40,9	59,2	23,5
			h	7,3	12,4	17,3	20,5
			dc	4,4	9,4	15,2	24,1
	CN	63	DAP	14,5	36,2	59,2	33,6
			h	8,3	15,5	23,3	23,7
			dc	3,6	8,5	14,7	32,8
Floresta	LG	552	DAP	9,9	40,7	85,8	36,1
			h	7,2	17,1	24,9	19,7
			dc	2,3	9,9	22,7	34,2
	SFP	142	DAP	11,8	52,5	97,1	40,1
			h	12,0	20,4	27,8	13,5
			dc	2,4	11,6	21,8	40,0

Em que: LG = Lages-SC; CN = Canoinhas-SC; SFP = São Francisco de Paula-RS; n = número de árvores; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura total (m); dc = diâmetro de copa (m); CV% = coeficiente de variação em porcentagem.

Dos modelos testados para descrever a relação diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito (Tabela 3), a equação linear simples (5) alcançou os maiores valores de R^2 e menores valores de Syx%,

tanto para o grupo de árvores de crescimento livre, quanto para árvores da floresta independentemente do município, sendo este selecionado para descrever esta relação em araucária. O mesmo modelo apresentou melhores estatísticas para o ajuste dos dados agrupados (Todas), das árvores de crescimento livre quanto em competição.

TABELA 3: Coeficientes de regressão e estatísticas de ajuste e precisão das equações testadas para descrever a relação entre o diâmetro de copa em função do DAP de araucária.

TABLE 3: Regression coefficients and fit statistics of equations tested to describe the relation between the crown diameter as a function of DAP of araucaria.

Tipo	Município	Equação	\hat{a}_0	\hat{a}_1	R ²	Syx%
Livre	LG	5	1,2487 (0,0140)	0,1993 (<0,0001)	0,719	12,8
		6	5,1541 (<0,0001)	0,0024 (<0,0001)	0,703	13,1
		7	-18,5832 (<0,0001)	7,6015 (<0,0001)	0,705	13,1
	CN	5	1,1502 (0,0305)	0,2030 (<0,0001)	0,784	15,3
		6	4,5608 (<0,0001)	0,0027 (<0,0001)	0,743	16,8
		7	-14,6231 (<0,0001)	6,5572 (<0,0001)	0,772	15,8
	Todas	5	1,2086 (0,0007)	0,2007 (<0,0001)	0,756	13,6
		6	4,8721 (<0,0001)	0,0025 (<0,0001)	0,729	14,4
		7	-16,1256 (<0,0001)	6,9513 (<0,0001)	0,739	14,1
Floresta	LG	5	1,3149 (<0,0001)	0,2112 (<0,0001)	0,838	13,7
		6	5,5341 (<0,0001)	0,0023 (<0,0001)	0,794	15,5
		7	-17,7364 (<0,0001)	7,6082 (<0,0001)	0,797	15,4
	SFP	5	0,8947 (0,0280)	0,2032 (<0,0001)	0,853	15,4
		6	5,5656 (<0,0001)	0,0019 (<0,0001)	0,804	17,8
		7	-21,8254 (<0,0001)	8,6503 (<0,0001)	0,819	17,1
	Todas	5	1,4959 (<0,0001)	0,2030 (<0,0001)	0,841	14,5
		6	5,8713 (<0,0001)	0,0020 (<0,0001)	0,781	17,0
		7	-18,7077 (<0,0001)	7,8684 (<0,0001)	0,808	16,0

Em que: LG = Lages-SC; CN = Canoinhas-SC; SFP = São Francisco de Paula-RS; Todas = considerando todas as árvores livres ou em floresta; \hat{a}_0 , \hat{a}_1 = coeficientes de regressão estimados; R² = coeficiente de determinação; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; (Pr >|t|) = em parêntesis a probabilidade de significância para o valor de t dos coeficientes estimados.

Outros autores que descreveram a relação do diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito para a espécie verificaram tendência linear ou levemente curvilínea entre essas variáveis (LONGHI, 1980; SEITZ, 1986; WACHTEL, 1990; NASCIMENTO et al., 2010). A tendência linear simples observada na maioria dos trabalhos pode tornar-se quadrática (NUTTO; SPATHELF; ROGERS, 2005) com o aumento do porte das árvores (DAP > 90 cm, aproximadamente), mas isto não ocorreu com os dados do presente estudo.

A comparação entre as equações ajustadas para as árvores com e sem influência da competição (Tabela 4), feita pela análise de covariância, evidenciou não existir diferença significativa em nível e inclinação do modelo de diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito nos diferentes municípios: LG - CN e LG - SFP.

A inexistência de diferença significativa de nível e inclinação indicou regressões paralelas e coincidentes (Tabela 4), o que permitiu definir uma equação de regressão comum para o conjunto de árvores crescendo livre e com competição, cuja dispersão dos dados observados e linha do ajuste encontram-se na Figura 1a.

A equação dos dados agrupados apresentou ajuste expresso pelo R² = 0,833 e precisão, Syx% = 14,5, com distribuição gráfica dos resíduos homogênea, com grande parte dos erros entre ± 4 m, alcançando, em alguns casos, ± 6 m, mas sem tendência de superestimativa e subestimativa de valores (Figura 1b).

TABELA 4: Análise de covariância para nível ($\hat{\alpha}_0$) e inclinação ($\hat{\alpha}_1$) das equações lineares simples ajustadas para descrever o diâmetro de copa em função do DAP em araucária de crescimento livre e com competição na floresta.

TABLE 4: Covariance analysis for level ($\hat{\alpha}_0$) and slope ($\hat{\alpha}_1$) of simple linear equations adjusted to describe the crown diameter as a function of DAP in open growth and under competition araucaria in forest.

Tipo	Municípios	n-1	Nível ($\hat{\alpha}_0$) - Pr > F	Inclinação ($\hat{\alpha}_1$) - Pr > F
Livre	LG - CN	174	0,8903 ns	0,8396 ns
Floresta	LG - SFP	693	0,2655 ns	0,2706 ns
Livre - Floresta	Todas - Todas	868	0,5116 ns	0,8242 ns

Em que: LG = Lages-SC; CN = Canoinhas-SC; SFP = São Francisco de Paula-RS; Todas = considerando todas as árvores livres e na floresta; n = número de árvores; $\hat{\alpha}_0$, $\hat{\alpha}_1$ = coeficientes de regressão; Pr > F = probabilidade de significância para o valor de F; ns = não significante a (Pr. > 0,05).

A dependência do diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito também foi encontrada para araucária por Longhi (1980) - $R^2 = 0,846$, Seitz (1986) - $R^2 = 0,949$, Nutto, Spathelf e Rogers (2005) - $R^2 = 0,930$, Costa (2011) - $R^2 = 0,839$ e outros. Entretanto, para outras espécies florestais, esta relação pode não apresentar alta dependência (BECHTOLD, 2003; LOCKHART; WEIH; SMITH, 2005); sendo necessário, neste caso, incluir outras variáveis independentes no modelo, tais como: altura, altura de inserção de copa, comprimento de copa, classe de copa, área basal e número de árvores por hectare para alcançar maior precisão (GILL; BIGING; MURPHY, 2000; GROTE, 2003).

As árvores que crescem sem competição apresentaram diâmetro de copa semelhante ao encontrado em árvores de mesmo DAP, crescendo sob competição (Figura 1a), podendo ser definido um diâmetro de copa potencial que delimita a dimensão máxima para a espécie. Por questão de praticidade, o diâmetro de copa potencial foi definido analiticamente, por um novo intercepto adicionado em mais 2,5 vezes o valor do intercepto estimado para a equação ($\hat{\alpha}_0 = 1,3886 + [2,5.1,3886] = 4,8601$), conforme representado na Figura 1c. A subtração de 2,5 vezes o valor do intercepto estimado ($\hat{\alpha}_0 = 1,3886 - [2,5.1,3886] = -2,0829$) definiu a linha de mínimo, delimitado pelos menores valores observados de diâmetro de copa. O estabelecimento do diâmetro de copa potencial permite definir índices de competição que utilizam essa dimensão máxima (BELLA, 1971; ARNEY, 1973), o qual também pode ser empregado na confecção de diagramas de manejo da densidade (MÁRQUEZ-LINARES; ALVAREZ-ZAGOYA, 1995).

O diâmetro de copa calculado pela equação de regressão comum (para árvores de crescimento livre e com competição) apresentado neste estudo mostrou valores muito próximos aos encontrados por Longhi (1980) e Costa (2011), para árvores do interior da floresta e, por Seitz (1986) para árvores dominantes crescendo no interior da floresta (Figura 1c). As equações ajustadas por Wachtel (1990) e Nutto, Spathelf e Rogers (2005), ambas em árvores do interior de florestas, estimaram diâmetro de copa menores que as demais, ao longo das classes de DAP. Esta diferença pode estar relacionada com a tipologia florestal do local, a densidade da floresta, o grau de competição entre árvores (DANIELS; BURKHART; CLASON, 1986; GETZIN et al., 2008; PEDERSEN et al., 2013), o instrumento usado na medição da área de projeção horizontal da copa (BECHTOLD; MIELKE; ZARNOCH, 2002; FIALA; GARMAN; GRAY, 2006), entre outros fatores.

Com a equação do diâmetro de copa estimado para os dados deste estudo e definição analítica para o diâmetro de copa mínimo e o diâmetro de copa potencial (Figura 1c), foi possível simular o espaço de crescimento (E_c) de araucária nas classes de diâmetro a altura do peito, o número de árvores por hectare (N/ha), considerando o fator de redução para o espaçamento hexagonal (0,8660), e a área basal por hectare (G) para a situações de estoque na linha de diâmetro de copa mínimo, diâmetro de copa estimado e diâmetro de copa potencial (Tabela 5).

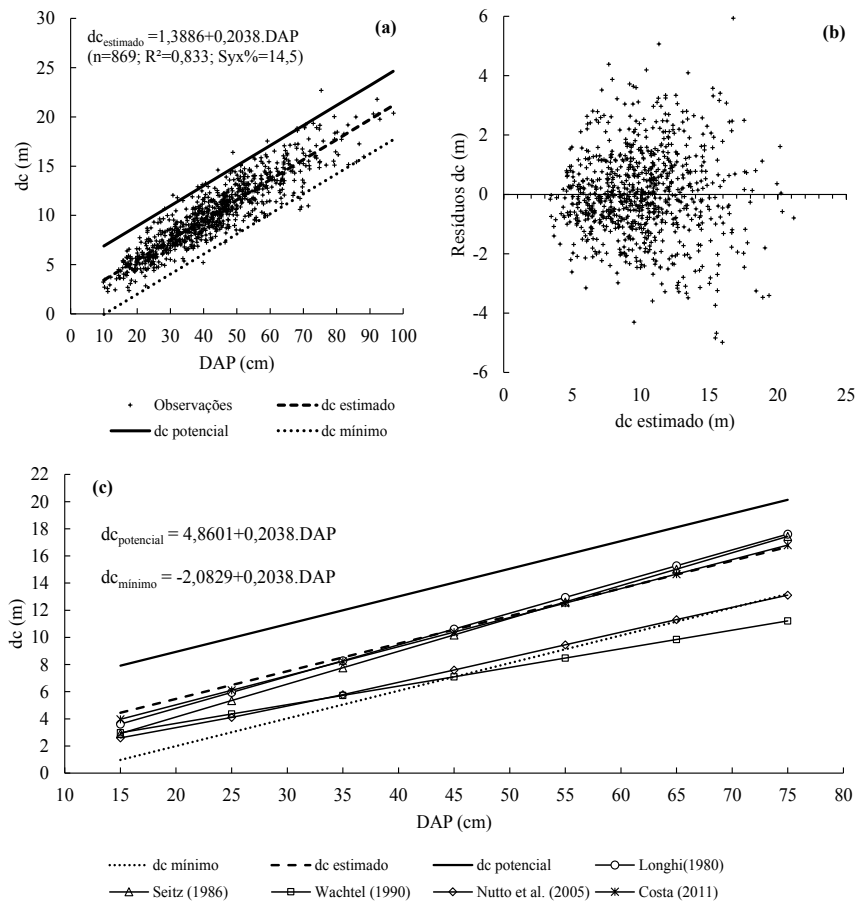


FIGURA 1: Relação diâmetro de copa em função de DAP em araucária: (a) - Valores observados e estimados em função do DAP; (b) - Distribuição dos resíduos em função do diâmetro de copa estimado; (c) - Tendência do diâmetro de copa estimado em função do DAP de outros autores para araucária no sul do Brasil.

FIGURE 1: Relationship of crown diameter with DBH of araucaria: (a) - Observed and estimated values in function of DAP; (b) - Distribution of residuals in function of estimated crown diameter; (c) - Tendency of estimated crown diameter as a function of DBH by other authors for araucaria in southern Brazil.

TABELA 5: Espaço de crescimento simulado empregando a tendência do diâmetro de copa mínimo, estimado e o potencial de *Araucaria angustifolia*.

TABLE 5: Space of simulated growth using the tendency of minimum, estimated and potential crown diameter of *Araucaria angustifolia*.

DAP	dc _{mínimo}				dc _{estimado}				dc _{potencial}			
	dc	Ec	N/ha	G	dc	Ec	N/ha	G	dc	Ec	N/ha	G
10	-	-	-	-	3,4	0,0009	1253	9,8	6,9	0,0037	309	2,4
20	2,0	0,0003	3705	116,4	5,5	0,0023	493	15,5	8,9	0,0063	184	5,8
30	4,0	0,0013	905	64,0	7,5	0,0044	261	18,5	11,0	0,0095	122	8,6
40	6,1	0,0029	399	50,2	9,5	0,0071	162	20,3	13,0	0,0133	87	10,9
50	8,1	0,0052	224	44,0	11,6	0,0105	110	21,5	15,0	0,0178	65	12,7
60	10,1	0,0081	143	40,4	13,6	0,0146	79	22,4	17,1	0,0229	50	14,2
70	12,2	0,0117	99	38,1	15,7	0,0192	60	23,1	19,1	0,0287	40	15,5
80	14,2	0,0159	73	36,6	17,7	0,0246	47	23,6	21,2	0,0352	33	16,5
90	16,3	0,0208	56	35,4	19,7	0,0306	38	24,0	23,2	0,0423	27	17,4
100	18,3	0,0263	44	34,5	21,8	0,0372	31	24,4	25,2	0,0500	23	18,1

Em que: DAP = classes de diâmetro a altura do peito (cm); dc = diâmetro de copa (m); Ec = espaço de crescimento (hectares); N/ha = número de árvores por hectare; G = área basal (m²/ha).

Os dados da Tabela 5 mostram valores de referência para árvores em classes de diâmetro a altura do peito, nas condições de dimensões mínimas, média e máxima, podendo ser utilizadas como referência pelo silvicultor (BROWN; DOLEY; KEENAN, 2004; HEMERY; SAVILL; PRYOR, 2005).

Deve-se, entretanto, ter presente que, em condições naturais, esta variação dimensional tem influência do ambiente e que árvores de mesmo diâmetro a altura do peito crescendo livre de competição apresentaram diâmetro de copa com dimensão muito semelhante a árvores crescendo sob competição no interior da floresta.

CONCLUSÕES

Mesmo com a grande variabilidade encontrada na forma e na dimensão das copas das araucárias decorrente do processo de crescimento e de competição no interior da floresta, o diâmetro de copa pode ser descrito por modelo linear simples, em função do diâmetro a altura do peito, com elevada precisão.

Não há diferença estatisticamente significativa quanto ao nível e à inclinação das equações ajustadas para o diâmetro de copa em função do diâmetro a altura do peito de araucária crescendo livre e sob influência da competição na floresta natural, podendo ser empregado um modelo de regressão comum para as duas situações.

A equação do diâmetro de copa potencial, descrita neste estudo, pode ter o intercepto alterado com facilidade, auxiliando as atividades de manejo florestal de araucária.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.
- ARNEY, J. D. **Tables for quantifying competitive stress on individual trees**. Victoria: Canadian Forestry Service, 1973.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BECHTOLD, W. A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the eastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 27, p. 269-278, 2003.
- BECHTOLD, W. A.; MIELKE, M. E.; ZARNOCH, S. J. Comparison of field methods and models to estimate mean crown diameter. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 19, n. 4, p. 177-182, 2002.
- BELLA, I. E. A new competition model for individual trees. **Forest Science**, Bethesda, v. 17, p. 364-372, 1971.
- BROWN, P. L.; DOLEY, D.; KEENAN, R. J. Stem and crown dimensions as predictors of thinning responses in a crowded tropical rainforest plantation of *Flindersia brayeyana* F. Muell. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 196, p. 379-392, 2004.
- CÔRTE, A. P. D.; CANALEZ, G. G.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da estrutura vertical e do dossel de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava, v. 3, n. 1, p. 13-25, 2007.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em araucária. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 429-438, 2013.
- COSTA, E. A. **Modelagem biométrica de árvores com crescimento livre e sob competição em floresta de araucária**. 2015. 235 f. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, 1986.
- FIALA, A. C. S.; GARMAN, S. L.; GRAY, A. Comparison of five canopy-cover estimation techniques in the western Oregon Cascades. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 232, p. 188-197, 2006.

- FOLI, E. G. et al. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 173, p. 79-88, 2003.
- GETZIN, S. et al. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2478-2485, 2008.
- GILL, S. J.; BIGING, G. S.; MURPHY, E. C. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 126, p. 405-416, 2000.
- GROTE, R. Estimation of crown radii and crown projection area from stem size and tree position. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 60, p. 393-402, 2003.
- HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 96, p. 197-206, 1997.
- HEMERY, G. E.; SAVILL, P. S.; PRYOR, S. N. Applications of the crown diameter-stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 215, p. 285-294, 2005.
- KAMAL, T. et al. Growing space requirement for *Tectona Grandis*, *Dipterocarpus Turbinatus* and *Syzygium Grande*: A modelling Approach of Bangladesh. **The Chittagong University Journal of Biological Sciences**, Chittagong, v. 28, p. 85-94, 2004.
- KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GRINGRICK, S. F. Crown competition: a measure of density. **Forest Science**, Bethesda, v. 7, n. 1, p. 35-42, 1961.
- LOCKHART, B. R.; WEIH, R. C.; SMITH, J. K. M. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species. **Journal of the Arkansas Academy of Science**, Russellville, v. 59, p. 110-115, 2005.
- LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no Sul do Brasil**. 1980. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.
- MÁRQUEZ-LINARES, M. A.; ALVAREZ-ZAGOYA, R. Construcción de una guía de densidade para *Pinus cooperi* var. *ornelasi* com base em la classe de copa em Durango, México. **Madera y Bosques**, Cidade do México, v. 1, n. 2, p. 23-36, 1995.
- MCINTOSH, A. C. S.; GRAY, A. N.; GARMAN, S. L. Estimating canopy cover from standard Forest Inventory Measurements in Western Oregon. **Forest Science**, Bethesda, v. 58, p. 154-167, 2012.
- MILLIKEN, G. A.; JOHNSON, F. E. **Analysis of messy data volume III: analysis of covariance**. Boca Raton: Chapman e Hall; CRC, 2002. 605 p.
- NASCIMENTO, R. G. M. et al. Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*. **Nota científica**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 369-374, nov./dez. 2010.
- NUTTO, L.; SPATHELF, P.; ROGERS, R. Managing diameter growth and natural pruning of Parana pine, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze., to produce high value timber. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 62, p. 163-173, 2005.
- PEDERSEN, R. O. et al. On the evaluation of competition indices - The problem of overlapping samples. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 310, p. 120-133, 2013.
- RUSSELL, M. B.; WEISKITTEL, A. R. Maximum and largest crown width equations for 15 tree species in Maine. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 28, p. 84-91, 2011.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forest in Spain. **Investigación Agraria Sistemas Recursos Forestales**, Madrid, v. 16, p. 76-88, 2007.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; JACON, A. D. Crown area and trunk diameter relationship for tree species at a mixed-araucaria natural forest in the mid-southern Parana state, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 63-72, 2011.
- SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. Cary: SAS Institute. 2004.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS; UFSM, 2008. 566 p.
- SCHULER, J. et al. Modelling growing space of four valuable broadleaved tree species in southern China. **Forest Science and Practice**, Berlin, v. 15, p. 167-178, 2013.
- SEITZ, R. A. Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern. **Annales des**

Sciences Forestières, Paris, n. 43, p. 327-338, 1986.

WACHTEL, G. **Untersuchungen zu struktur und dynamik eines araukarien-naturwaldes in Südbrasilien**. 1990. 180 f. Dissertation (Meister) - Universität Freiburg, Freiburg, 1990.