

Nota Científica

Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*

Rodrigo Geroni Mendes Nascimento^{1,2}; Sebastião do Amaral Machado¹; Décio José de Figueiredo¹; Alan Lessa Derci Augustynczyk^{1,2}; Ricardo Cavalheiro^{1,3}

¹Universidade Federal do Paraná - UFPR – Av. Pref. Lothário Meissner, 632. Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil, geronimendes@hotmail.com; samachado@ufpr.br; deciofig@ufpr.br; alanlda@hotmail.com; cavalheiro1@hotmail.com; ²Bolsista CNPq; ³Bolsista Pet/Sesu.

Resumo - Esta pesquisa teve como objetivo estudar as relações entre o DAP e as variáveis diâmetro de copa, diâmetro de toco e o diâmetro à altura do peito sem casca de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Os dados das variáveis mencionadas provieram de 162 pinheiros distribuídos em toda amplitude diamétrica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista com 15,24 hectares, situado na região urbana de Curitiba, Paraná. Todas as relações testadas resultaram em equações preditivas com bons valores para o Índice de Schlaegel, $Syx_{\%}$, valor de F e valor de ρ para os coeficientes, bem como bom desempenho na análise gráfica dos resíduos.

Termos para indexação: Diâmetro de copa, diâmetro de toco, equações preditivas.

Dendrometric relationship of *Araucaria angustifolia*

Abstract - The objective of this research was to study the relationship between the DBH with crown diameter, stump diameter and inside bark diameter at breast height of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. The data from the mentioned variables came from 162 Araucaria distributed in the whole amplitude of diameter at breast height in a Mixed Ombrophylous Forest fragment with 15,24 hectares located at the Curitiba urban region, State of Parana, Brazil. All the fitted relationships resulted in predictive equations with good values for the Schlaegel Index, $Syx\%$, value of F and value of ρ for the coefficients, as well as good performance in the graphic analysis of residual.

Index terms: Crow diameter, stump diameter, predictive models.

A redução drástica das florestas primárias de araucária resultaram em muitas áreas, normalmente fragmentadas, que, com o passar do tempo, possibilitaram a regeneração do pinheiro do paraná, formando-se assim Florestas Ombrófilas Mistas secundárias dispersas por toda a área de ocorrência dessa importante espécie. Um exemplo desses fragmentos é o Capão da Engenharia Florestal, situado no Campus III Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os pinheiros de segunda geração têm atualmente entre 100 e 120 anos de idade, constituindo-se em um fragmento representativo dos capões dessa tipologia florestal.

O desenvolvimento das relações dendrométricas tem sido feito para facilitar os trabalhos do inventário florestal, intimamente vinculado à teoria da amostragem (Péllico Netto & Brena, 1997). Assim os engenheiros florestais têm criado essas relações previamente à realização do inventário florestal para tornar esta

atividade mais rápida e menos onerosa. No entanto, pesquisas dessa natureza são raras ou inexistentes para Florestas Ombrófilas Mistas secundárias.

Este estudo teve como objetivo estudar as relações entre o diâmetro à altura do peito com casca (DAP) e as variáveis dendrométricas da araucária, tais como diâmetro de copa (d_{copa}), diâmetro de toco (d_t) e o diâmetro à altura do peito sem casca ($d_{\text{p}_{\text{sc}}}$), bem como apresentar modelos matemáticos que descrevam essas relações dendrométricas e contribuam com os estudos relacionados à espécie em seu habitat.

O fragmento de floresta, atualmente denominado “Capão da Engenharia Florestal”, foi alvo desse estudo. A área do capão é de 15,24 ha, dos quais 12,96 ha são ocupados por Floresta Ombrófila Mista (FOM) e 2,28 ha são formados por Floresta Ombrófila Mista Aluvial situada ao longo do riacho que margeia o capão em todo seu limite sul (Rondon Neto et al., 2002).

Esse fragmento de FOM foi submetido a um censo (entre 2006 e 2007), sendo dividido em blocos de 50 m x 50 m. Dentro desses blocos foram medidas todas as árvores com DAP acima de 10 cm, as quais foram identificadas, plaqueteadas e georreferenciadas.

Nesse censo foi contabilizada a presença de 349 indivíduos de *Araucaria angustifolia*. Foram utilizados nesta pesquisa os dados da medição das circunferências à altura do peito (CAP) com casca, dos diâmetros de copa (d_{copa}), das circunferências de toco (d_t) e das duplas espessuras de casca (E). As Caps e as circunferências dos tocos foram medidas com fita métrica, sendo posteriormente convertidas em DAP e d_t . A altura adotada para a medição do toco foi de 16 cm (Johnson & Weigel, 1990).

As duplas espessuras de casca foram medidas com um medidor de espessura de casca e o diâmetro de copa foi obtido pela média de quatro medidas da projeção dos raios de copa (norte, sul, leste e oeste), multiplicado por dois, somado ao DAP da árvore mensurada.

Para todas as relações dendrométricas estudadas foram utilizados modelos criados e ajustados pelo software *Table Curve 2D*, bem como modelos clássicos encontrados para essas relações apresentados em trabalhos como o de Dolph (1989), Johnson & Weigel (1990), Ojasvi et al. (1991), entre outros.

Para efetuar a comparação e determinação do melhor modelo para representar a relação dendrométrica de cada relação em análise, foram estimados o coeficiente de determinação ajustado e corrigido, conhecido como Índice de Schlaegel (IA), o erro padrão da estimativa em porcentagem ($\text{syx}_{\%}$), valor de F, valor de ρ para o coeficiente b_1 e procedida a análise gráfica dos resíduos.

Junto a essa análise estatística, verificou-se a qualidade do modelo quando plotado sobre os dados observados, verificando se há tendências ou possuem bom ajuste ao longo de toda a dispersão dos dados observados.

Os modelos que proporcionaram os melhores ajustes para a relação diâmetro de copa sobre DAP ($d_{\text{copa}} \text{dap}^{-1}$), bem como o ajuste da equação da reta, estão apresentados na Tabela 1 com as suas estatísticas de ajuste e precisão.

Para todos os modelos apresentados na Tabela 1 o valor de ρ para os coeficientes foi significativo, bem como o valor de F. Na Figura 1 está apresentado o gráfico de resíduos bem como a linha estimativa traçada sobre os dados observados, apresentando a tendência da relação $d_{\text{copa}} \text{dap}^{-1}_{cc}$ para o melhor modelo.

A linha estimativa gerada pelo melhor ajuste para a relação $d_{\text{copa}} \text{dap}^{-1}_{cc}$ é levemente curvilínea, assumindo essa característica de forma clara (Figura 1), sendo evidenciada pelas estatísticas de ajuste e precisão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos ajustados, coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão, com respectivos ordenamentos (classificação) para a relação $d_{\text{copa}} \text{dap}^{-1}_{cc}$.

Classificação	Modelos	b_0	b_1	IA	syx (m)	syx%	F_{calc}
1°	$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 \sqrt{d a p_{cc}}$	-12,5649	3,0860	0,6530	1,8516	19,16	306,87
2°	$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 \frac{\sqrt{d a p_{cc}}}{\text{Ln}(d a p_c)}$	-5,1695	0,5197	0,6525	1,8529	19,17	306,21
3°	$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 [\text{Ln}(d a p_{cc})]^2$	-12,1019	1,4003	0,6522	1,8538	19,18	305,78
4°	$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 \frac{d a p_{cc}}{\text{Ln}(d a p_{cc})}$	-5,3143	1,1326	0,6515	1,8556	19,20	304,86
6°	$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 d a p_{cc}$	-1,5577	0,2135	0,6497	1,8604	19,25	302,46

$F_{\text{tab}} = 3,8999$

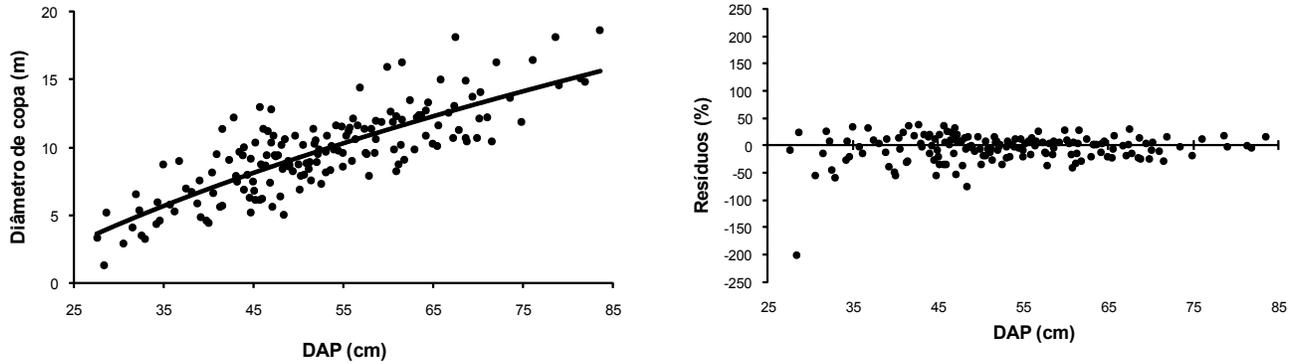


Figura 1. Linha estimativa sobre os dados observados e gráfico de resíduos do modelo de melhor ajuste para a relação d_{copa}/dap_{cc} .

Vários ensaios sobre a relação do diâmetro do fuste com diâmetro de copa mostram que existe uma alta correlação entre eles. Na maioria dos casos, esta relação é linear. Segundo Oliveira (1982), em muitos casos, a relação diâmetro de copa sobre dap_{cc} é levemente

curvilínea, porém aproximando-se a uma linha reta, como no presente estudo.

Os modelos que apresentaram os melhores ajustes para a relação DAP com casca e sem casca sobre diâmetro de toco ($dap_{cc} d_t^{-1}$ e $dap_{sc} d_t^{-1}$), estão apresentados na Tabela 2 junto as suas estatísticas de ajuste e precisão.

Tabela 2. Modelos ajustados, coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão, com respectivos ordenamentos (classificação) para as relações dap_{cc}/d_t e dap_{sc}/d_t .

Relação entre dap_{cc} e diâmetro de toco							
Classificação	Modelos	b_0	b_1	IA	syx (cm)	syx%	F_{calc}
1ªa	$d a p_{cc} = b_0 + b_1 \sqrt{d_t} \cdot Ln(d_t)$	-14,1026	2,0031	0,8987	3,7894	7,188	1439,66
2ªa	$d a p_{cc} = \{b_0 + b_1 \cdot [Ln(d_t)]^2\}^2$	0,1294	0,4121	0,8987	3,7907	7,191	1438,59
3ªa	$d a p_{cc} = b_0 + b_1 \frac{d_t}{Ln(d_t)}$	-12,4979	4,2119	0,8985	3,7929	7,195	1436,71
4ªa	$d a p_{cc} = b_0 + b_1 \sqrt{d_t}$	-45,7447	12,3122	0,8976	3,8094	7,226	1422,89
7ªa	$d a p_{cc} = b_0 + b_1 d_t$	3,0464	0,7666	0,8972	3,8169	7,240	1416,71
Relação entre dap_{sc} e diâmetro de toco							
Classificação	Modelos	b_0	b_1	IA	syx (cm)	syx%	F_{calc}
1ªb	$d a p_{sc} = b_0 + b_1 \frac{d_t}{Ln(d_t)}$	-18,7868	4,1289	0,9014	3,6587	8,102	1483,78
2ªb	$d a p_{sc} = \{b_0 + b_1 \cdot [Ln(d_t)]^2\}^2$	-0,8357	0,4363	0,9013	3,6605	8,106	1482,12
3ªb	$d a p_{sc} = b_0 + b_1 \sqrt{d_t} \cdot Ln(d_t)$	-20,3451	1,9631	0,9012	3,6629	8,112	1479,99
4ªb	$d a p_{sc} = b_0 + b_1 d_t$	-3,5594	0,7516	0,9005	3,6753	8,139	1468,93
5ªb	$d a p_{sc} = [b_0 + b_1 \cdot Ln(d_t)]^2$	-8,3746	3,6325	0,9002	3,6811	8,152	1463,87

$F_{tab} = 3,8999$

Todos os modelos listados na Tabela 2 apresentaram valores altamente significativos para o valor de ρ para os coeficientes, sendo todos lineares em sua forma de ajuste. O melhor modelo para a relação $dap_{cc} d_t^{-1}$ teve um coeficiente de determinação ajustado e corrigido (IA) de 0,8987, apresentando um erro padrão da estimativa de 7,188%, bem como valores de F altamente significativos.

Na relação dendrométrica $dap_{sc} d_t^{-1}$, os valores de IA e $syx\%$ foram superiores a relação anterior. Todos os ajustes apresentados na Tabela 2 para a relação $dap_{sc} d_t^{-1}$ apresentaram coeficientes de determinação ajustados

e corrigidos (IA) superiores a 0,9 e erro padrão da estimativa inferiores a 8,2 %. A Figura 2 apresenta os gráficos gerados pelos melhores ajustes para as duas relações dendrométricas, bem como o gráfico de resíduos de cada modelo em análise.

As linhas estimativas geradas pelas equações 1ª e 1ª são ligeiramente curvilíneas (Figura 2). Os gráficos de resíduos na Figura 2 para as duas relações são parecidos nos dois modelos em análise, apresentando uma distribuição dos resíduos muito próxima da homogênea, indicando alta qualidade dos modelos escolhidos.

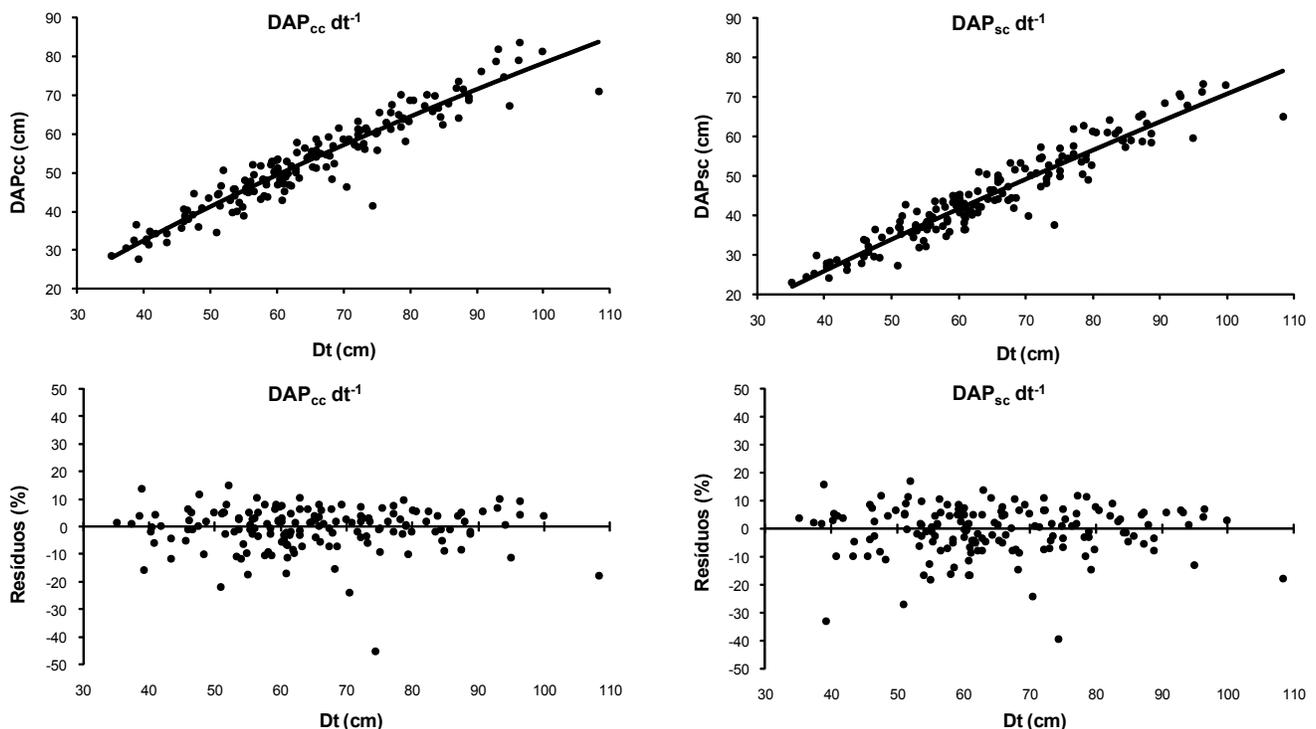


Figura 2. Linhas estimativas sobre os dados observados e gráficos dos resíduos para relação dap_{cc}/d_t e dap_{sc}/d_t

Ojasvi et al. (1991) desenvolveram modelos geométricos e de regressão linear multivariada para estimar o DAP de *Quercus alba* e *Quercus nigra* na Península Baixa de Michigan, EUA. A primeira classe de modelos não considerava a altura do toco, a segunda considerava as alturas do toco de 15 cm e 30 cm acima do solo. Esses autores concluíram que as duas classes de modelos eram eficientes na estimativa de DAP, porém os geométricos tinham uma vantagem por utilizarem menos variáveis e serem mais flexíveis em suas estimativas.

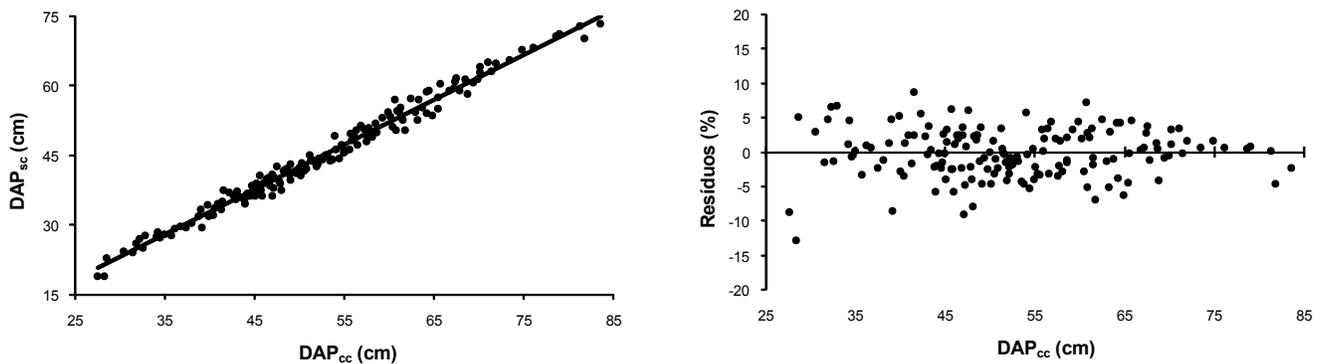
Os modelos que proporcionaram os melhores ajustes, bem como suas estatísticas de ajuste e precisão para relação do DAP sem casca sobre o com casca ($dap_{sc} dap_{cc}^{-1}$), estão apresentadas na Tabela 3. Os resultados mostram que todos os modelos tiveram bom ajuste e precisão, com I.A. altos e $syx\%$ sempre menores do que 3,5% e com valores de ρ significativos para os coeficientes das equações ajustadas (Tabela 3).

O modelo que melhor representa a relação $dap_{sc} dap_{cc}^{-1}$ é a equação da reta (Figura 3).

Tabela 3. Modelos ajustados, coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão, com respectivos ordenamentos (*rankings*) para a relação dap_{sc}/dap_{cc}

Classificação	Modelos	b_0	b_1	IA	syx (cm)	syx%	F_{calc}	FCM
1º	$d a p_{sc} = b_0 + b_1 d a p_{cc}$	-6,0302	0,9707	0,9834	1,501	3,34	9608,06	
2º	$\sqrt{d a p_{sc}} = b_0 + b_1 \sqrt{d a p_{cc}}$	-0,9033	1,0493	0,9834	1,503	3,34	9578,85	
3º	$d a p_{sc}^2 = b_0 + b_1 \cdot d a p_{cc}^2 \cdot Ln(d a p_{cc})$	-24,9621	0,1856	0,9833	1,507	3,35	9533,48	
4º	$Ln(d a p_{sc}) = b_0 + b_1 \cdot Ln(d a p_{cc})$	-0,6769	1,1311	0,9831	1,515	3,37	9425,97	1,00065
5º	$d a p_{sc} = \sqrt{(b_0 + b_1 \cdot d a p_{cc}^2)}$	-240,9745	0,8234	0,9829	1,529	3,40	9251,72	

$F_{tab} = 3,8999$

**Figura 3.** Linha estimativa sobre os dados observados e gráfico de resíduos para a relação $dap_{sc} \cdot dap_{cc}^{-1}$.

Dolph (1989) usando equações não lineares para estimar o DAP sem casca de *Abies magnifica* na Califórnia e na região sul de Oregon, EUA, concluiu que o modelo mais eficiente para representar essa relação é o que utiliza as variáveis índice de sitio e área basal na sua composição. Entretanto, segundo o mesmo autor, quando não há possibilidade de se quantificar essas variáveis, o modelo $DAP_x = b_0 DAP_c^{b_1}$ é o mais eficiente na predição do DAP sem casca, apresentando um syx próximo a 1 cm.

Como a forma de correlação entre as duas variáveis é linear positiva, a equação da reta apresentou um desempenho levemente superior aos demais modelos. A característica de maior flexibilidade dos demais modelos pode ter influenciado o resultado final para essa relação dendrométrica.

No âmbito geral desse estudo observou-se que dentre todas as variáveis estudadas, a que apresentou relação

mais forte com o DAP com casca foi o DAP sem casca, seguido pelo diâmetro do toco e por fim diâmetro de copa.

Os modelos criados pelo *software Table Curve 2D* apresentaram melhor desempenho do que os modelos tradicionais encontrados na literatura para todas as relações estudadas, apresentando bom desempenho nos critérios estatísticos adotados, bem como na representação gráfica das relações.

Referências

DOLPH, K. L. **Nonlinear equations for predicting diameter inside bark at breast height for young-growth Red Fir in California and Southern Oregon.** Berkeley: USDA, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 1989. 4p. (USDA. For. Serv. Res. Note PSW-RN-409)

JOHNSON, P. S.; WEIGEL, D. R. Models for estimating DBH from stump diameter for southern Indiana oaks. North. **Journal of Applied Forestry**. University of Missouri, Columbia, v. 7, n. 2, p. 79–81, jun. 1990.

OJASVI, P. R.; RAMM, C. W.; LANTAGNE, D. O.; BRUGGINK, J. Stump diameter and DBH relationships for white oak and black oak in the Lower Peninsula of Michigan. **Canadian journal of forest research**. Ottawa, n. 11, v. 21, p. 1596-1600, 1991.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; Características entre parâmetros dendrométricos em *Araucaria angustifolia* (Bert O. Ktze) utilizando fotografias aéreas. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 5, p. 69-105, dez. 1982.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, Paraná. Editorado pelos autores. 1997. 316 p.

RONDON NETO, R. M.; KOZERA, C.; ANDRADE, R. do R. de; CECY, A. T.; HUMMES, P. A.; FRITZSONS, E.; CALDEIRA, M. V. W.; MACIEL, M. de N. M.; SOUZA, M. K. F. de. Caracterização florística e estrutural de um fragmento de floresta ombrófila mista, em Curitiba, PR – Brasil. **Floresta**. Curitiba, v. 32, n. 1, p. 3-6, jan./jun. 2002.

Recebido em 08 de março de 2010 e aprovado em 10 de setembro de 2010