

## **ESTIMATIVA DO DAP A PARTIR DO DIAMETRO DE COPA OBTIDO EM FOTOS AÉREAS PARA *Araucaria angustifolia***

### **ESTIMATE OF DBH FROM CROWN DIAMETER OBTAINED FROM AERIAL PHOTOS TO *Araucaria angustifolia***

Gerson dos Santos Lisboa<sup>1</sup>, Attilio Antonio Disperati<sup>2</sup>, João Roberto dos Santos<sup>3</sup>, Thiago Floriani Stepka<sup>4</sup>,  
Vagner Alex Pesck<sup>5</sup>

<sup>1,4</sup> UFPR, Curso de Pós-Graduação em, Ciências Florestais, UFPR, R. Lothário Meisser, 3400, 80.210-170 – Curitiba, Paraná, Brasil, <sup>1</sup>gerson.lisboa@gmail.com; <sup>4</sup>tfstepka@yahoo.com.br

<sup>2,5</sup> UNICENTRO, Curso de Pós-Graduação em, Ciências Florestais, PR- 153, KM 7, Bairro: Riozinho, 84.500-000 - Irati, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>disperati@avalon.sul.com.br, <sup>5</sup>vagneralex@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, jroberto@dsr.inpe.br

#### **RESUMO**

A presente pesquisa analisa a cobertura de copas de *Araucaria angustifolia*, que ocupam os estratos superiores de um fragmento natural de Floresta Ombrófila Mista, por meio de fotografias aéreas 70 mm colorida normal em escala 1:2.000. A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional de Irati – PR, a qual é uma Unidade de Conservação do ICMBio, no município de Fernandes Pinheiro – PR. O trabalho de campo foi efetuado por meio de medição do diâmetro de copa (DC) e do diâmetro à altura do peito (DAP) de 159 exemplares de Araucária cujos valores médios resultantes foram de 61 cm e de 14,21 m para o DAP e DC, respectivamente. Posteriormente realizou-se a fotointerpretação em fotografias aéreas em escala 1:2000, utilizando-se estereoscópico de espelho para melhor visualização 3D das copas das araucárias. Para o ajuste dos dados de DAP em função do DC obtido na fotografia, e para a estimativa do DAP em função do DC obtido no campo foram testadas seis equações matemáticas. A melhor equação, baseada no coeficiente de determinação, no erro padrão de estimativa e na análise gráfica dos resíduos, para ambos os ajustes foi o modelo de Prodan. Os resultados das estimativas do DAP em função do DC obtido na fotografia e obtido no campo, foram bastante semelhantes com ligeira vantagem para a estimativa do DAP em função do DC obtido na fotografia, ou seja, confirmando-se assim a idéia de que o DC copa extraído de fotografias aéreas de grandes escalas pode gerar informações valiosas do diâmetro, e conseqüentemente da área transversal e área basal de uma floresta, constituindo-se de uma importante informação para estudos preliminares ou que requerem um número menor de informações.

*Palavras-chave:* Diâmetro de copa, fotointerpretação florestal, floresta com Araucária.

#### **ABSTRACT**

This research analyzes the canopy cover of *Araucaria angustifolia*, which occupies the upper strata of a natural fragment of Araucaria Forest, through aerial photographs 70 mm normal color scale 1:2.000. The study area is located on National Forest Irati - PR, which is a conservation of ICMBio in the county of Fernandes Pinheiro - PR. The field work was done by measuring the crown diameter (CD) and the diameter at breast height (DBH) of 159 specimens of Araucaria whose values derived averages of 61 cm and 14,21 m for DBH and CD, respectively. Subsequently, the aerial photographs were interpreted using mirror stereoscopic for better 3D viewing and measuring of the crowns of Araucaria. To adjust the data according to the DBH obtained in CD photo, and to estimate the DBH as a function of CD obtained in the field, were tested six mathematical equations. The best equation, based on the coefficient of determination, the standard error of estimation and graphical analysis of the residual, for both settings was the model of Prodan. The results of the estimates of DBH as a function of DC obtained in the photograph and obtained in the field were very similar with slight advantage for the estimation of the DBH as a function of DC in the air photo, thus confirming the idea that the DC extracted from aerial photographs of large scales can generate valuable information in diameter, and consequently basal area of a forest, becoming an important information for preliminary studies or

requiring a smaller number of information.

*Keywords:* Crown diameter, forest photointerpretation, araucária forest.

## INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma grande diversidade biológica, contando com cerca de 20% do número total de espécies do planeta distribuídas por mais de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, em diferentes biomas terrestres, costeiros e marinhos, produtos da grande variação climática e geomorfológica. Os diferentes biomas encontram-se bastante reduzidos e degradados, devido ao avanço da fronteira agrícola e a extração descontrolada de espécies de interesse econômico, sem a devida reposição (MAZZA, 2006).

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária é um dos mais exuberantes ecossistemas do Brasil. Ela abriga uma das poucas coníferas de ocorrência subtropical no hemisfério Sul do continente americano: a Araucária brasileira, conhecida como pinheiro brasileiro ou Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia* Bertoloni Otto Kuntze). A floresta com Araucária não foi respeitada ao longo do processo de colonização do sul do país, o que levou à redução drástica de sua ocorrência. O processo de geração de riqueza e desenvolvimento econômico experimentado na região foi acompanhado pela dilapidação da maior parte do patrimônio ecológico desse ecossistema. Ao longo do processo histórico de ocupação do sul do Brasil, assistiu-se a uma rápida eliminação de sua cobertura florestal, produto dos ciclos econômicos, particularmente o da exploração da madeira, o do café e, mais recentemente, o da soja (SANQUETTA, 2005).

A *Araucaria angustifolia*, de acordo com KLEIN (1960), é a árvore mais alta da Floresta Ombrófila Mista, cujas copas umbeliformes, verde-escuras, formam uma cobertura arbórea muito característica, distinguindo-se facilmente à distância.

Embora a *Araucaria angustifolia* apresente predominância no estrato superior da floresta, os estratos médio e inferior possuem grande diversidade de espécies que se regeneram nesse ambiente. Esses estratos são importantes centros de dispersão de um grande número de espécies, principalmente, das pertencentes às famílias Myrtaceae e Lauraceae, como descrevem RAMBO (1951) e KLEIN (1984). A *Araucaria angustifolia* (Bertoloni Otto Kuntze), “Araucariácea” ou simplesmente Pinheiro-do-Paraná já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente (SOUSA, 2000).

Neste contexto, segundo NOVO (2001), a primeira fotografia de que se tem notícia foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 e já em 1840 o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos. O desenvolvimento foi tão rápido, que já em 1858 o Corpo de Engenharia da França estava utilizando fotografias aéreas tomadas a partir de balões para o mapeamento topográfico de amplas áreas do território francês.

Em 1956 foram iniciadas as primeiras aplicações sistemáticas de fotografias aéreas como fonte de informação para o mapeamento de formações vegetais nos Estados Unidos. No Brasil datam a partir de 1958 as primeiras fotografias aéreas em escala 1:25.000 obtidas com o propósito de levantar características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba (NOVO, 2001).

A partir de pares de fotografias aéreas verticais com sobreposição estereoscópica é possível realizar a medição de características físicas de povoamentos florestais (por ex.: a altura total, diâmetro de copa, densidade de copas, etc.), que por sua vez podem se relacionar com outras características do povoamento (por ex.: volume de madeira em pé por hectare) ou serem usadas simplesmente para caracterizar qualitativamente um povoamento florestal (AVERY e BURKHART, 1994).

Neste aspecto, MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003), relatam que apesar de pouco usado, algumas pesquisas demonstram que o método da relação de diâmetro de copa com o diâmetro a altura do peito (DAP), tem mostrado haver boa correlação entre estas variáveis, sendo que para este método é necessário a utilização de fotografias aéreas em grande escala (acima de 1:10.000).

A partir do diâmetro de copa das árvores obtidas em fotografias aéreas, é possível realizar estimativas confiáveis do diâmetro a altura do peito. O DAP, segundo MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003) é uma das mais importantes, pois constitui uma medida básica e necessária para o cálculo da área transversal, área basal, volume etc.

Com isso, esta pesquisa teve como objetivo realizar o ajuste de modelos matemáticos para a estimativa do diâmetro a altura do peito (DAP) para *Araucaria angustifolia* em função do diâmetro de copa medido em campo e obtido também por meio de fotografias aéreas em escala 1:2.000.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada na Floresta Nacional (FLONA) de Irati, estado do Paraná, uma Unidade de Conservação do Instituto Chico Mendes de Conservação (ICMBIO) localizada nos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, entre as coordenadas E=538.217,9 a E=549.784,5 e N=7.188.444,2 a N=7.201.876,4 do sistema UTM/ Fuso 22. A FLONA de Irati foi criada em 1942, com área total de 3.495 hectares, sendo que 36% (1.272,9 hectares) correspondem a floresta nativa com predominância de Araucária e com o sub-bosque rico em espécies folhosas como Canelas, Imbuías, Angico, entre outras. Trata-se de uma área protegida por mais de 60 anos, sem similar na região.

Em 2002, 25 parcelas permanentes de 1 ha cada (100 m x 100 m) foram instaladas e medidas, em pesquisa conduzida pelo Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO, na área com Floresta Ombrófila Mista (1272,9 ha) da Floresta Nacional de Irati, com a finalidade principal de estudar a dinâmica desse importante ecossistema florestal do sul do país.

As parcelas permanentes (Figura 1) foram divididas em quatro parcelas de 0,25 ha (50 m x 50 m) e finalmente para facilitar a numeração e o mapeamento das árvores (X, Y), foram ainda subdivididas em cinco faixas de controle de 10 m x 50 m (0,05 ha).

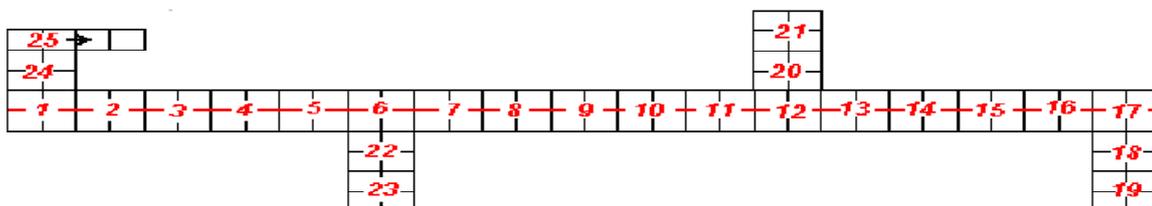


Figura 1. Croqui do experimento.

Figure 1. Layout of the experiment.

A coleta de dados, na área total do experimento, foi realizada em 2002, 2005 e 2008, onde todas as árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) igual ou superior a 10 cm foram medidas, numeradas e posicionadas espacialmente em um sistema cartesiano (X, Y) de coordenadas locais.

Após isso, para a obtenção de fotografias aéreas foi necessário levantar as principais características das copas de Araucária nas fotografias aéreas (individuais e em agrupamentos), procurando compilar estes dados em mapas que mostrem sua distribuição espacial sobre a superfície, bem como a cobertura florestal da mesma.

A interpretação visual das copas de Araucária foi realizada com auxílio de estereoscópio de espelho (modelo ST-40) e binocular com três vezes de aumento, obtendo assim a visão tridimensional da floresta. Foram utilizados os pares estereoscópicos de fotografias 1:2.000 e realizado os delineamentos dos objetos de interesse (estradas, árvores, etc.), adotando-se convenções para cada um deles. Após o término da fotointerpretação, foi utilizada toda seqüência de fotografias e montados mosaicos não controlados (Figura 2).



Figura 2. Mosaico não controlado em escala 1:2.000.  
Figure 2. Uncontrolled mosaic in scale 1:2.000.

Através de parâmetros fotointerpretativos (cor, formato e área da copa) foram realizadas as “Identificações” das copas de Araucária e também do sub-bosque numa classificação do estado do povoamento florestal.

As Araucárias selecionadas, dentro do experimento, foram medidas no campo e nas respectivas fotografias aéreas, em que a medição do diâmetro das copas das Araucárias foi realizada em campo utilizando-se uma trena de 50 metros e bússola, já a medição dos diâmetros de copa nas fotografias realizou-se com auxílio de um escalímetro.

Em campo, o processo consistiu em medir o diâmetro da copa considerando sua projeção no solo (Figura 3). Geralmente, as copas das Araucárias apresentam formato circular, mas, em determinadas situações em campo, observou-se o formato em elipse.



Figura 3. Projeção da copa e medição do diâmetro no sentido Norte - Sul e Leste - Oeste.  
Figure 3. Projection of the crown tree and measurement of the diameters in the NS and EW directions.

Para os ajustes dos modelos, foram utilizados os dados provenientes do diâmetro de copa (medido em campo), e os respectivos DAP's e os diâmetros das copas obtidos nas fotografias, com os respectivos DAP's obtidos em campo de 159 árvores. Com isso, foi possível realizar um comparativo de qual variável (diâmetro de copa na fotografia, ou diâmetro de copa medido a campo) podem estimar mais precisamente o DAP.

A qualidade de ajuste de cada modelo foi verificada por meio do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado), o valor do erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ) e análise gráfica dos resíduos. A Tabela 1 mostra os seis modelos que usualmente são usados para a estimativa da altura total em função do DAP, mais que neste estudo foram adaptados para estimar o DAP em função do diâmetro de copa.

Tabela 1. Modelos adaptados para realizar as estimativas do DAP em função do diâmetro de copa.  
 Table 1. Models adapted to make estimates of DAP as a function of canopy diameter.

Modelo	Formulação	Autor
1	$DAP = \beta_0 + \beta_1(dc)$	Modelo da Linha Reta
2	$DAP = \beta_0 + \beta_1(dc) + \beta_2(dc^2)$	Modelo Parabólico
3	$DAP = \beta_0 + \beta_1(dc^2)$	
4	$DAP = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{dc}\right)$	Cutis
5	$DAP = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{dc}\right) + \beta_2\left(\frac{1}{dc^2}\right)$	
6	$DAP = \frac{dc^2}{\beta_0 + \beta_1(dc) + \beta_2(dc^2)}$	Prodan

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Das 159 árvores medidas em campo, obteve-se variação do DAP de 29 a 95 cm e diâmetro de copa variando de 5,5 a 24,25m.

Com isso realizou-se a estimativa dos modelos matemáticos, gerando os resultados que estão dispostos nas Tabelas 2 e 3. Na Tabela 2, estão registradas as estatísticas e coeficientes dos modelo da estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em fotografias aéreas em escala 1:2000.

Tabela 2. Estatísticas e coeficientes dos modelos ajustados para estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em fotografias aéreas em escala 1:2.000.

Table 2. Statistics and coefficients of the adjusted models to estimate the DAP as a function of canopy diameter obtained from aerial photographs at 1:2.000 scale.

Modelo	Coeficientes do modelo			R <sup>2</sup> ajustado	Syx%
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$		
1	-	-	-	-	-
2	33,2866	0,22286	0,112399	0,60753	14,546
3	36,8439	0,111178	-	0,60548	14,584
4	-	-	-	-	-
5	75,4315	-29,5569	-2018,56	0,44039	17,369
6	1,37271	-0,01113	0,010036	0,63615	14,005

Analisando-se a Tabela 2, percebe-se que o erro padrão da estimativa (Syx), indica o desvio padrão da distribuição dos estimadores em diversas amostragens, variou de 14,005% a 17,36%. A determinante principal da precisão é a quantidade de dispersão na população, ou seja, quanto maior a dispersão, menor a precisão das estimativas. Na tabela, também é possível perceber que os modelos 1 e 4 não convergiram para o banco de dados testados.

Também na Tabela 2, pode-se observar que dentre os 6 modelos testados, o modelo de Prodan (modelo 6) apresentou resultados mais significativos. O modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,63615. O coeficiente de determinação R<sup>2</sup> ajustado indica a proporção da variação total na variável dependente y que é explicada pela variação da variável independente x. Se R<sup>2</sup> é próximo de 1, isso significa

que a variação explicada responde por uma grande percentagem da variação total. O  $R^2$  ajustado descreve 0,63615 a 0,44039, ou seja, indicam que aproximadamente 63% e 44% da variação em  $y$  está relacionada com a variação de  $x$ .

Para complementar a análise, pode-se observar na Figura 4 a distribuição gráfica dos resíduos dos 4 modelos testados que convergiram.

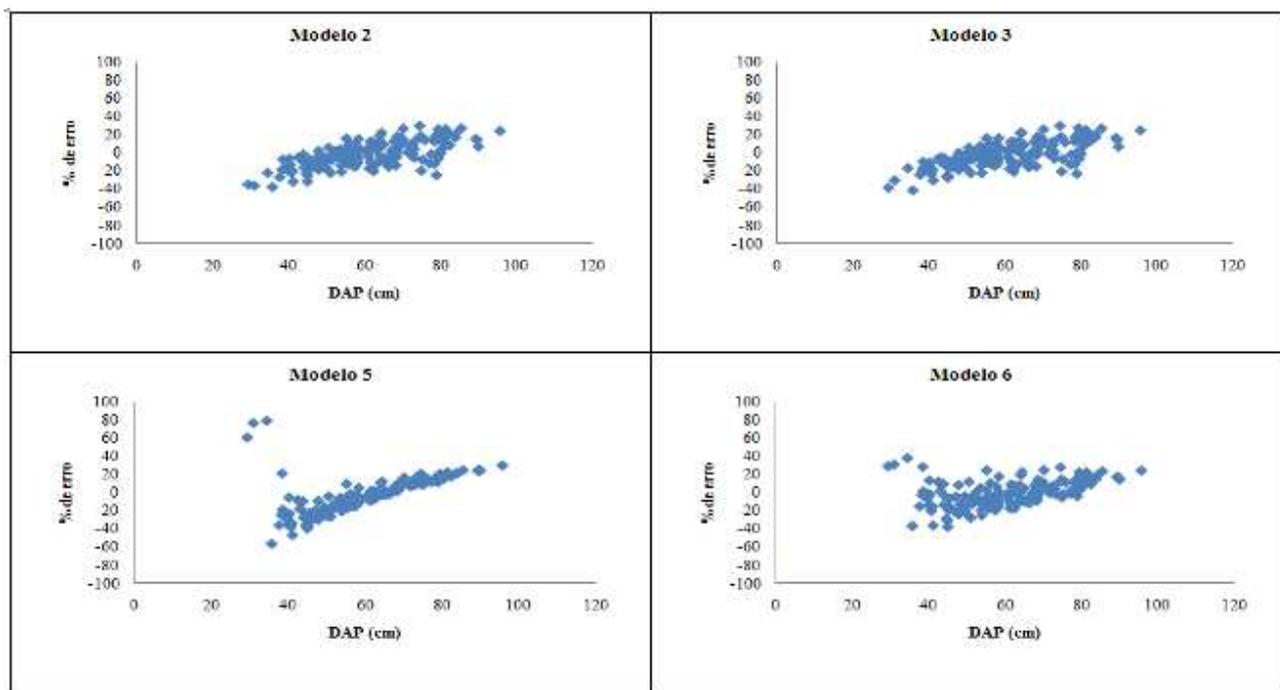


Figura 4. Distribuição gráfica dos resíduos dos ajustes que convergiram, para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em fotografias aéreas em escala 1:2000.

Figure 4. Distribution of residual graphic fits that converged, for the estimation of the DAP as a function of canopy diameter obtained from aerial photographs at 1:2000 scale.

Na Figura 4 os pontos do gráfico distribuem-se de forma aleatória, que corresponde ao resíduo, sustentando a independência dos erros. A análise gráfica dos resíduos, indicou que os resíduos distribuem-se aleatoriamente. Porém o modelo 6, que apresentou as melhores estatísticas, percebendo-se uma ligeira superestimativa dos DAP's nas primeiras classes de DAP e resíduos mais próximos de zero para as estimativas nas classes de maior tamanho. Com essas observações, percebe-se que a análise gráfica dos resíduos foi uma ferramenta de grande importância para a seleção de modelos matemáticos de regressão, permitindo melhor a visualização da distribuição dos resíduos em todo o conjunto de dados, para todos os modelos testados.

Por outro lado, na Tabela 3, pode ser observado as estatísticas e coeficientes dos modelos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em campo.

Tabela 3. Estatísticas e coeficientes dos modelos ajustados para estimativa do DAP em função do diâmetro de copa real medido em campo.

Table 3. Statistics and coefficients of the adjusted models to estimate the DAP as a function of crown diameter measured in the field.

Modelo	Coeficientes do modelo			R <sup>2</sup> ajustado	Syx%
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$		
1	15,9499	3,16948	-	0,59167	14,860
2	2,98481	5,11469	-0,06866	0,59501	14,799
3	38,0625	0,107256	-	0,55775	15,465
4	95,0069	-449,823	-	0,52639	16,055
5	87,2536	-304,432	-620,291	0,49329	16,553
6	-0,0716	0,176645	0,004147	0,59408	14,816

Os resultados descritos na Tabela 3 foram bastante semelhantes aos descritos na Tabela 2, porém, neste caso, todos os modelos testados convergiram e os resultados foram bastante semelhantes entre eles. Da mesma forma que no ajuste do DAP em função do diâmetro de copa obtido na fotografia, nesta modalidade de ajuste aqui testada, o modelo 6 também obteve o melhor desempenho, com um R<sup>2</sup> ajustado de 0,59408 e Syx% de 14,816. Porém na distribuição gráfica dos resíduos para estes ajustes (Figura 5), os resíduos apresentam-se de forma menos tendenciosa.

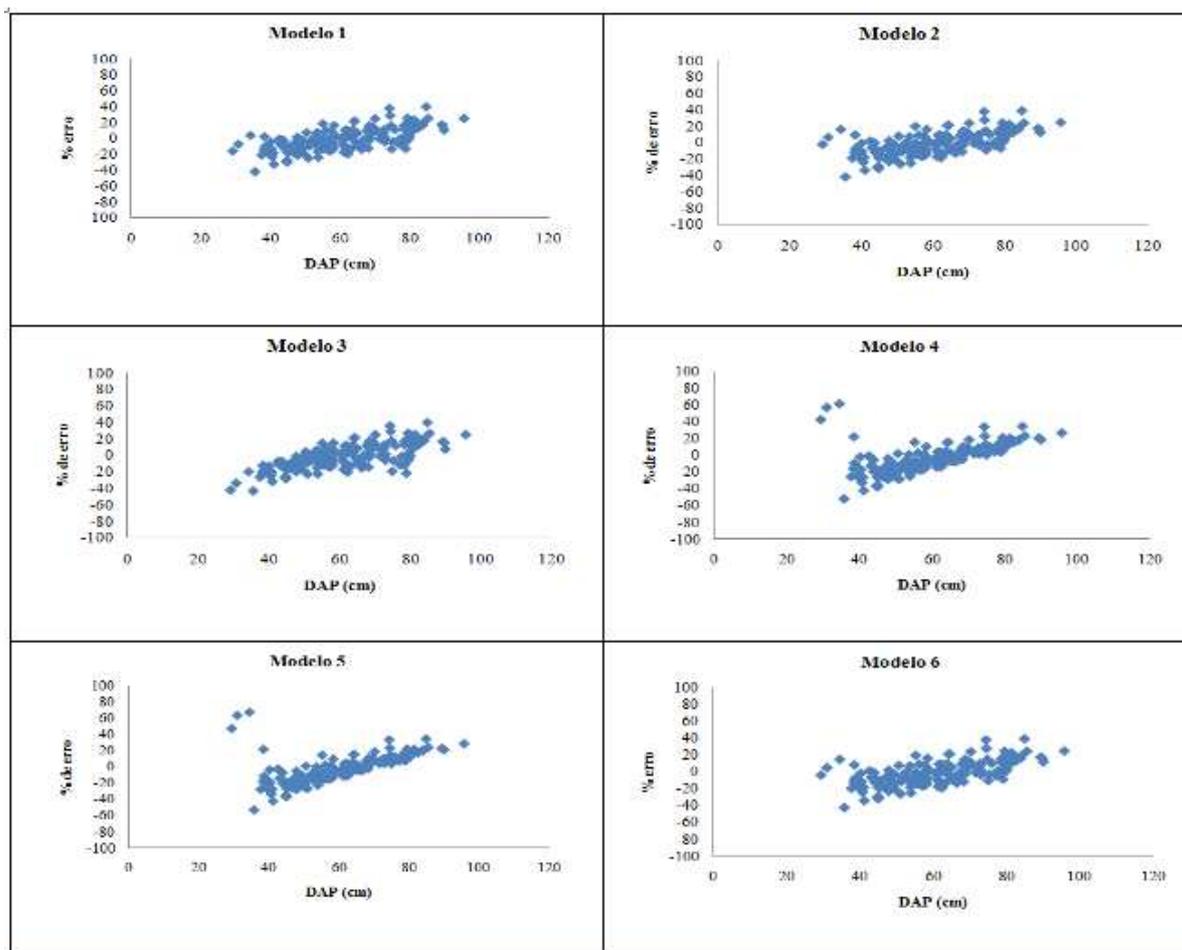


Figura 5. Distribuição gráfica dos resíduos dos ajustes para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em campo.

Figure 5. Distribution of residual graphic settings to estimate the DAP as a function of canopy diameter obtained in the field.

De maneira geral, os resultados das estimativas do DAP em função do diâmetro de copa obtido na fotografia e obtido no campo, foram bastante semelhantes com ligeira vantagem para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido na fotografia, ou seja, confirmando-se assim a idéia de que o diâmetro da copa extraído de fotografias aéreas de grandes escalas pode gerar informações valiosas do diâmetro e, conseqüentemente, da área transversal e área basal de uma floresta, constituindo-se de uma importante informação para estudos preliminares ou que não requerem grande número de informações.

## CONCLUSÕES

As medições em campo, efetuadas em 159 exemplares de Araucária, resultaram valores médios de DAP 61 cm, diâmetro da copa de 14,21 m;

Em relação a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em fotografias aéreas em escala 1:2000, o  $R^2$  ajustado variou de 0,440 a 0,639 e erro padrão variou de 14,005 a 17,369;

Para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa obtido em campo, o  $R^2$  ajustado variou de 0,493 a 0,594 e erro padrão variou de 14,799 a 16,553;

Para ambos os casos o modelo de Prodan obteve o melhor desempenho, com as melhores estatísticas e menos dispersão dos resíduos;

Desta forma, confirma-se a idéia de que o diâmetro da copa extraído de fotografias aéreas de grandes escalas pode gerar informações valiosas do diâmetro e, conseqüentemente, da área transversal e área basal de uma floresta.

## REFERÊNCIAS

- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. Forest Measurements. Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc. New York, 1994. ISBN 0070025568.
- KLEIN, R. M. Importância sociológica das mirtáceas nas florestas rio-grandenses. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 34, 1984, Manaus. Anais. Manaus: Sociedade Botânica do Brasil, 1984. p.367-375.
- KLEIN, R. M.. O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro. Sellowia, Itajaí, v. 12, n. 12. P.17-48, 1960.
- MACHADO, S. A., FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. Curitiba, 2003. 309p.
- MAZZA, Carlos Alberto da Silva. Caracterização ambiental da paisagem da Microregião Colonial de Irati e zoneamento ambiental da Floresta Nacional de Irati, PR. São Carlos/ SP: UFSCar, 2006. 147 p.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípio e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308p.
- RAMBO, B. O elemento andino pinhal rio-grandense. Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues, v.3, n.3, p.3-39, 1951
- SANQUETTA, C. R. Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das florestas de araucária. Data de publicação, 10 de agosto de 2005. Disponível na internet via URL: <http://www.comciencia.br/reportagens/2005/08/09.shtml>, acessado dia 13 de julho de 2007.
- SOUSA, V. A. Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze. 2000. 161 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen.