

CARACTERÍSTICAS ENTRE PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS
EM *Araucaria angustifolia* (Bert O. Ktze) UTILIZANDO
FOTOGRAFIAS AÉREAS
Correlations among dendrometrics parameters in *Araucaria
angustifolia*, using aerial photos

Yeda Maria Malheiros de Oliveira *

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivos principais:

a) verificar a possibilidade de se efetuar medições em árvores individuais de *Araucaria angustifolia* em povoamento natural, utilizando-se fotografias aéreas na escala: 1: 10000.

b) estudar e selecionar modelos de regressão para estimar o diâmetro à altura do peito, DAP, e o volume de madeira da espécie em função de características dendrométricas medidas nas fotografias aéreas.

Para tanto, foram coletados dados de *Araucaria angustifolia* em povoamento natural e realizaram-se medições de diâmetro de copa e altura das mesmas árvores, em fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:10000

A identificação da *Araucaria angustifolia* foi possível em função de características peculiares ao gênero e à espécie, não sendo possível, porém, na escala utilizada, a identificação de outras espécies. A medição do diâmetro de copa, DC, e altura, H, foi realizada com maior dificuldade para a primeira variável.

Dentre as variáveis estudadas para correlação, os mais altos coeficientes foram os obtidos através da variável combinada $\overline{H \times DC^2}$ tanto para DAP quanto para volume.

Considerando-se os modelos testados para a estimativa do DAP, os melhores resultados foram alcançados com a equação:

$$DAP = b_0 + b_1 DC + b_2 H + b_3 \overline{H \times DC}$$

Para a estimativa do volume, a equação:

$$V = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{H \times DC} + b_3 \overline{DC} \text{ foi a escolhida.}$$

Apresenta-se tabela de volume através de fotografias aéreas por via indireta e considerações sobre a possibilidade de utilização da competição de copas com um índice de densidade.

ABSTRACT

This paper describes a study carried out in order to:

a) verify the possibility to measure *Araucaria angustifolia* trees in natural stands, by using aerial photos in a scale of 1:10000; and,

* Baseado em dissertação de mestrado, desenvolvida na Universidade Federal do Paraná - Curso de Engenharia Florestal e apresentada em 10/80.

**Pesquisador da Unidade Regional de Pesquisa Florestal Centro-Sul (PNPF-EMBRAPA/IBDF)

b) study and select regression models conceived to estimate diameter at breast height, DHB, and volume, V, as a function of dendrometric variables easily observed in aerial photos.

Data were obtained in *A. angustifolia* natural stands located close to Curitiba, state of Paraná, in Southern Brazil. Crow diameter and height of individual trees were measured in panchromatic aerial photos in a scale of 1:10.000.

The identification of *A. angustifolia* in the photos was possible mainly, because of the crown characteristics of the genus and this species. Due to the scale used, however, the identification of hardwoods was not achieved at all.

Regarding the data analysis, the strongest correlation with DBH was obtained by using the combined variable $H \cdot \overline{DC}$ (height times average crown diameter). The product $H : \overline{DC}^2$ (height times squared average crown diameter) was the variable more closely associated with volume. The regression model $DBH = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H + b_3 H \cdot \overline{DC}$ was the best one to estimate diameter at breast height. The model chosen to estimate volume was $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \cdot \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$

An indirect aerial volume table was also built and the possibilities of using crown competition as a density index were studied and described.

PALAVRAS-CHAVE: *Araucaria angustifolia*; parâmetro dendrométrico; fotografia aérea.

1. INTRODUÇÃO

Há muitas décadas, as fotografias aéreas vêm sendo usadas como um instrumento para os Inventários Florestais, mais especificamente no mapeamento de tipos florestais, medições de áreas e na organização do levantamento.

A utilização das fotografias aéreas em avaliações volumétricas, entretanto, não tem sido incorporada de forma efetiva em regiões tropicais e subtropicais. Evidentemente, várias razões têm contribuído para tal situação, como por exemplo: composição destas florestas, desconhecimento de sua estrutura e restrições quanto à qualidade e escala das fotos.

Em regiões temperadas, principalmente no que tange a parâmetros de povoamentos, (como densidade e altura média) o campo das determinações volumétricas tem sido bastante desenvolvido, e, recentemente, verifica-se maior intensidade de trabalhos que visam as características mensuráveis ou interpretáveis, que forneçam a melhor predição do volume individual das árvores.

A *Araucaria angustifolia*, espécie utilizada no presente estudo, possui características que facilitam sua identificação, sendo a coleta dos dados através das fotografias também facilitada pela forma geométrica bastante definida, tonalidade peculiar e posição sociológica dominante.

O trabalho teve por objetivos:

- verificar a viabilidade de identificação de árvores de *A. angustifolia*, em povoamento natural, utilizando fotografias aéreas na escala 1:10000;
- estabelecer, para fins de estimativa, uma indicação da relação entre características medidas nas fotos e o DAP (diâmetro à altura do peito) e V (volume total) medidos no campo;

- estudar e selecionar modelos de regressão para estimar a altura do peito e o volume total de madeira em função das características dendrométricas medidas nas fotografias aéreas; e

- elaborar uma tabela de volume por fotografias aéreas, obtida por via indireta, e apresentar um índice de competição entre copas, proposto para avaliação da densidade.

A confirmação da possibilidade de as fotografias aéreas serem utilizadas como instrumento nas medições poderá agilizar a coleta de dados em áreas extensas, reduzir custos de obtenção de informações, assim como permitir uma opção para o levantamento, quando o material estiver disponível em escala compatível.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Avaliação volumétrica

Com relação aos métodos de estimativa do potencial madeireiro de uma determinada área através de aerofotointerpretação, GRIN-GRICH & MEYER (1955) indicam dois caminhos distintos:

a) determinação do volume de povoamento por meio de características definidas;

b) medição de características que possam conduzir a uma estimativa do volume de árvores individuais.

SPURR (1960) salienta que, em qualquer das metodologias utilizadas, a precisão obtida depende da exatidão com que se possa efetuar as medições nas fotografias, assim como a correlação que tenham com o parâmetro desejado.

2.1.1. Volume de árvores individuais.

Em inventários de campo, o volume de uma área florestal é obtido pela medição das variáveis adequadas em árvores (indivíduos). As variáveis mais importantes são: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura da árvore (H). Um procedimento similar pode ser adotado com fotografias aéreas (LOETSCH & HALLER 1972/3). Nestas, a medição direta do DAP torna-se impossível, principalmente em fotografias verticais (AL-DRED & SAYN-WITTGENSTEIN 1972) e, assim, a obtenção do volume depende da correlação entre esta variável (DAP) e as dimensões da copa, correlação que pode ser estabelecida para uma ou um grupo de espécies (AVERY 1957 & ALDRED 1976).

2.1.2. Relação diâmetro à altura do peito (DAP) e diâmetro da copa.

Em alguns estudos realizados anteriormente verificou-se que o diâmetro de tronco (geralmente expresso como DAP) é diretamente correlacionado com o diâmetro da copa. Em muitos casos, a relação é levemente curvilínea, aproximando-se, em forma, a uma linha reta. Ainda que ocasionalmente boas estimativas de DAP possam ser baseadas no diâmetro da copa, a dispersão é, em geral, razoavelmente grande resultado em que o erro padrão da estimativa é usualmente alto (SPURR 1960).

A forma da regressão varia de acordo com a espécie e a parte da população amostrada. Uma regra preliminar, aceita como verdadeira, é que, para classes de diâmetro médio de espécies norte americanas, o diâmetro do tronco em polegadas é

igual a 3/4 do diâmetro da copa em pés. Especificamente para pinus do sul dos Estados Unidos, MINOR (1951) sugere que o diâmetro do tronco em polegadas será aproximadamente igual à metade do diâmetro da copa em pés, acrescido de um fator de correção (normalmente cinco). Já AVERY (1958) construiu uma tabela de volume para coníferas e folhosas do sul dos E.U.A., baseando-se na premissa de que as copas das árvores estudadas tendiam a ocupar áreas próximas ao quadrado de seus diâmetros médios.

2.1.3. Relação DAP/Diâmetro de Copa na *Araucaria angustifolia*.

No Brasil, SILVA (1978) investigou a relação entre duas variáveis, em povoamentos naturais de *A. angustifolia*. Concluiu que as árvores deverão desenvolver grandes diâmetros, a fim de suportarem copas maiores, dependendo de sua posição sociológica. A regressão que melhor definiu a relação entre as referidas variáveis foi:

$$\overline{DC} = \frac{DAP}{b_0 + b_1 \times DAP}$$

onde \overline{DC} = diâmetro à altura do peito, em cm;
 \overline{DC} = diâmetro de copa, em m; e
 b_0, b_1 = coeficientes da regressão

A inclusão da idade, altura do tronco, comprimento da copa e do volume com casca, não promoveram redução no erro padrão da estimativa, que foi de 0,814. O coeficiente de correlação (R) obtido foi 0,71, referindo-se, porém, à variável DAP/DC.

VOLKART (1969) também realizou pesquisas em povoamentos naturais de *A. angustifolia*, na Província de Misiones, Argentina. Os gráficos confeccionados apresentaram tendências retilínea entre as duas variáveis (DAP e \overline{DC}). A comparação dos resultados dos dois estudos pode, então, levar à conclusão de que tal relação, a priori, seria próxima a uma reta. Entretanto tais resultados, dependeriam da posição sociológica do indivíduo no povoamento.

2.1.4. Estimativa do diâmetro do tronco (DAP) através do diâmetro de copas e altura.

Vários estudos já demonstraram a alta correlação entre o diâmetro das copas e o DAP. Entretanto, alguns autores sugerem que a inclusão da variável "altura" melhora a correlação com o DAP.

BONNOR (1964), ao construir uma tabela de volume para *Pinus resinosa* Ait incluiu na equação final de regressão a variável "altura x diâmetro de copas", atingindo um coeficiente de correlação (R) igual a 0,957, e erro padrão da estimativa, de $\pm 1,24$ ".

ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN (1972) após triagem preliminar das variáveis que mais contribuíram para a estimativa do DAP, concluíram pela interação $H \log AC$ (altura x área da copa) e $H \times \sqrt{AC}$ e $H \times AC$.

Para SMITH & CHIAM (1970), citando CHIAM, as medições das copas no campo e nas fotografias aéreas são altamente correlacionadas concluindo que a

interação de H e \overline{DC} (altura e diâmetro de copas) é a melhor indicadora da densidade e volume do povoamento.^{1/}

Para DAWKINS (1963), a interpretação mais prática entre diâmetro, do tronco (DAP) e o diâmetro da Copa (\overline{DC}), para árvores de regiões tropicais (e temperadas), com exceção dos extremos da distribuição de DAP (árvores muito grandes ou muito pequenas), é a linha reta:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$$

Onde:

DAP = diâmetro à altura do peito

\overline{DC} = diâmetro da copa

b_0, b_1 = coeficientes de regressão

Também para autores como HETHERINGTON (1967), AVERY & CANNING (1973) e SWELLENGREBAL (1959), a equação da linha reta foi a melhor expressão para representar aquelas variáveis. LUNA (1964), KRAJICEK (1961) e VEZINA (1962), também chegariam a resultados semelhantes.

GUPTA (1974) concluiu, para povoamentos de *Tectona grandis*, que o melhor ajuste foi a equação da forma $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$, ressaltando, porém, que a medição do diâmetro da copa em fotografias aéreas na amostra considerada (18.000 ha), frequentemente mostra uma correlação não significativa com o DAP, a altura e o volume, e pode ser omitida em determinados casos.

MINOR (1951) encontrou que a relação DAP/\overline{DC} é levemente curvilínea, mas aproxima-se em forma de uma linha reta. Assim, o modelo $DAP = b_0 + b_1 \overline{DC}$ expressa bem a relação das duas variáveis, quando as copas são pequenas ou médias (entre 1,5 a 6,0 m de diâmetro).

Já HOLLERWOGER (1964), para florestas de *Tectona* sp., em Java, concluiu que nos povoamentos maduros desta espécie, não existe relação direta entre os diâmetros da copa e do tronco. Sugere que isso se deva ao fato de que a *Tectona* sp. atingir seu diâmetro de copa máximo numa idade em que o DAP ainda está aumentando bastante. Concluiu também que para povoamentos jovens foi encontrada uma alta correlação para DAP/DC. Nos povoamentos maduros, encontrou boa correlação entre o DAP e a altura total das árvores.

BONNOR (1964), para a confecção da tabela de volume para *Pinus resinosa*, selecionou como a melhor equação para estimar o diâmetro do tronco:

^{1/} CHIAM, Y. C. **The use aerial photographs to distinguish between stocking and density of western hemlock stands on the University of British Columbia Research Forest, Haney, British Columbia.** Univ. of British Columbia, Faculty of Forestry, 1967. 234 p. "Tese M.F."

$$DAP = b_0 + b_1 DC.H + b_2 \overline{DC} + b_3 H$$

sendo:

DAP = diâmetro à altura do peito

\overline{DC} = diâmetro de copa

H = altura total de copa

Também visando estimativa do DAP, BONNOR (1967) concluiu que a equação da forma: $DAP = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC} + b_3 H \times DC$ foi a melhor para quatro espécies de coníferas, (*Pinus strobus*, *pinus banksiana*, *Picea glauca* e *Abies balsamea*) e cinco espécies de folhosas, (*Betula alleghanlensis*, *Betula papyrifera*, *Populus* spp., *Acer* spp. e *Fagus* spp). A mesma equação foi indicada por DILWORTH, citado por ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN (1972).^{2/}

DAWKINS (1963) sugere que, em função da espécie e condição de sítio, a relação \overline{DC} pode ser mais aproximada por:

$$\overline{DC} = b_0 + b_1 DAP + b_2 H$$

analisando que para um determinado diâmetro, as árvores mais altas têm copas menores que aquelas de altura mais reduzida. Deduz que tal situação decorre de que nem sempre sítios de alta qualidade são capazes de produzir, para diâmetros específicos, altas densidades em área basal, não obstante apresentem grandes alturas médias.

Já outros autores preferem considerar a área, e não o diâmetro de copa, como a variável mais altamente correlacionada com DAP e volume. ALDRED & SAIN-WITTGENSTEIN (1972) selecionaram para a estimativa do DAP as equações:

$$DAP = b_0 + b_1 H \log \sqrt{AC}$$

$$DAP = b_0 + b_1 H \sqrt{AC}$$

BONNOR (1967) considerou as variáveis área de copa e altura para a estimativa do DAP. A melhor correlação encontrada foi o produto da altura (H) pela área de copa (AC). O erro padrão da estimativa para *Pinus* sp., *Picea* sp. e folhosas estudadas foi de aproximadamente 2 cm. O modelo foi: $DAP = b_0 + b_1 H \times AC$

As tendências de erro, segundo o autor, expressas como proporção do diâmetro médio, foram de 3,5%. A uniformidade nos erros sistemáticos sugere que fatores como determinação inacurada de escala, operadores ou instrumentos, podem ter sido responsáveis por tais erros.

SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED (1972) utilizaram a seguinte metodologia para a estimativa do diâmetro do tronco e volume: no campo, medição de árvores maiores que um determinado DAP (não especificado). Estas árvores foram numeradas, realizada a identificação da espécie e as medições. Tais dados foram usados em equação de regressão e os volumes individuais foram somados para produzir o volume por unidade de área.

A equação selecionada para a estimativa do DAP foi:

^{2/} DILWORTH, J.R. The use of aerial photographs in cruising second-growth Douglas fir stands. Ph. D. thesis. Univers. de Washington 1956.

$$DAP = b_0 + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3AC$$

Segundo o autor, a mesma equação foi a que melhor se apresentou para a estimativa do volume.

Algumas das equações apresentadas possuem certa semelhança, se considerarmos que:

$$AC = \frac{\prod(DC)^2}{4}$$

ou se for assumido que a forma da copa é circular com área calculada a partir do diâmetro da copa.

2.1.5. Estimativa do volume.

Segundo BONNOR (1964) e ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN (1972), para se construir tabelas de volume de árvores individuais, um dos seguintes métodos podem ser utilizados:

1) obtenção, no campo, do volume individual, assim como de variáveis que possam ser medidas ou estimadas nas fotografias aéreas. Aplicação dos dados em análise de regressão múltipla e seleção de variáveis que melhor se correlacionam com o volume: Subsequentemente, construção de tabela com base na melhor equação de regressão.

SAYN-WITTGESTEIN & ALDRED (1967) consideram que o volume individual é obtido mais precisamente quando diretamente estimado através das fotografias aéreas e não por meio da estimativa do DAP. Este, provavelmente, é um caminho que deva ser seguido em trabalhos com o mesmo objetivo deste. São preconizadas algumas variáveis para a estimativa do volume, as quais, no presente trabalho, não foram utilizadas em função da escala, no caso pequena demais para sua interpretação.

2) obtenção, no campo, do diâmetro à altura do peito e de outras variáveis que possam ser medidas (ou estimadas) nas fotografias aéreas. Através de regressão múltipla, seleção das variáveis que melhor se correlacionam com o DAP. Através deste, da altura (H) e da tabela de volume já existente, construção da tabela de volume individual através de fotografias aéreas.

A segunda aproximação tem sido a mais utilizada, mas se o objetivo for a construção de uma tabela de volume, os mesmos deverão ser obtidos no campo pela cubagem das árvores (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN 1972).

Os mesmos autores sugerem que o procedimento para análise das equações é análogo ao usado na estimativa do DAP. Os modelos:

$$\widehat{V} = b_0 + b_1H \log AC$$

e

$$\widehat{V} = b_0 + b_1H + b_2\sqrt{AC} + b_3\sqrt{AC}$$

foram testados. Outras equações foram incluídas, mas estas se utilizam de variáveis que somente são possíveis de obter em escalas grandes.

Os mesmos autores, SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED (1972) realizando estudos em uma floresta mista (coníferas e folhosas) relacionaram dezessete combinações de variáveis nas fotografias aéreas. Destas, através do processo de regressão passa-a-passo, foram selecionadas:

para *Picea glauca* H x log AC, H x AC, AC
para *Pinus strobus* H x log AC
para folhosas H x log AC, AC

O modelo que melhor relacionou estas variáveis foi:

$$\hat{V} = b_0 + b_1H + b_2H\sqrt{AC} + b_3AC$$

BONNOR (1977) selecionou como melhor equação:

$$\hat{V} = b_0 + b_1H\sqrt{AC} + b_2\sqrt{AC}$$

em inventário florestal realizado na Nova Escócia, Canadá.

ALDRED & KIPPEN (1976), após estimarem o DAP através da área de copa e altura, utilizaram-se, para a estimativa do volume, de tabela anteriormente construída. Como resultado encontraram que os volumes por parcela, para todos os grupos de espécies, foram subestimados. Concluiu que grande parte deste resultado deve ser atribuído à subestimação do DAP, já que a outra variável envolvida, a altura, foi medida com erros quase nulos. As fotografias aéreas utilizadas foram tomadas na escala 1: 1200. Também AVERY (1958) utilizou-se da mesma técnica ao construir uma tabela de volume composta através de fotografias aéreas para o gênero *Pinus* do sul dos Estados Unidos.

BONNOR (1964), também construiu uma tabela de volume baseada em metodologia similar à acima citada. Testou a tabela confeccionada, através de coleta de novos dados, encontrando erros da ordem de ± 84 pés cúbicos ($2,3m^3$).

2.1.6. Espécie florestal em relação à sua identificação em fotografias aéreas.

O pinheiro do paraná é uma espécie cuja identificação nas fotografias aéreas torna-se particularmente facilitada, em função de alguns aspectos que, reunidos, contribuem para que seja ela distinguida das outras espécies da associação natural.

GLERUM & HEINSDIJK (1967), realizando um trabalho no Estado de Santa Catarina, com fotografias aéreas na escala 1: 25000, comentam que, nesta escala, foi fácil distinguir os grandes pinheiros, cujas copas aparecem em forma de discos, como pontos distintos em cinza, facilmente visíveis, mesmo quando fortemente entrelaçados com espécies folhosas.

No Inventário do Pinheiro do Paraná (1966), realizado com fotografias aéreas na escala aproximada de 1: 70000, foram delineados os tipos de vegetação, e a conclusão sobre sua delimitação foi de que a diferença entre florestas pluviais tropicais e sub-tropicais e as florestas de araucária, que ainda não foram tocadas pelo homem, é muito típica devido à formação especial das copas das árvores de araucária.

Os aspectos que tornam a *Araucaria angustifolia* identificável em relação às outras espécies que compõem a mata de araucária podem ser enumeradas como:

- a) estrutura dos galhos;
- b) estrutura da copa;
- c) tonalidade;
- d) estrato sociológico.

2.2. Competição de copas - um avaliador da densidade

A densidade de copas ou "crow density" é definida como a compacidade de copas de árvores em uma unidade de amostras, quando da observação estereoscópica de um par de fotografias aéreas. Geralmente, é expressa em porcentagem.^{3/}

É comumente utilizada pelos pesquisadores do campo florestal, como a relação entre o número de árvores (ou valores volumétricos) e a unidade de área, considerando-se usualmente, o hectare.

A densidade é, portanto, utilizada para auxiliar na determinação do máximo espaço que a árvore média do povoamento poderia compor. Conseqüentemente, também, pode ser usada para determinar o espaço mínimo de tal árvore (KRAJICEK et al. 1961).

Dentro deste conceito, segundo o autor (KRAJICEK et al. 1961), pode-se manter a densidade completa, utilizando-se assim, a capacidade máxima do sítio para produzir um determinado volume. Portanto, e de acordo com VEZINA (1962), pode-se dispor de índices que possam contribuir para o maior desenvolvimento e conhecimento da produtividade de povoamentos florestais, assim como para controle do estoque ou densidade e determinação de graus e tipos de desbaste.

A determinação da relação espaço de crescimento/tamanho da árvore é complexa em função de efeitos da densidade anterior. KRAJICEK et al. (1961) mencionam que, não obstante se tenha conhecimento da competição das árvores pela umidade e luz, torna-se impraticável estabelecer-se uma relação numérica entre o tamanho do sistema radicular e a parte aérea. Entretanto, comentam que é provável que a área de copas possa ser um indicador da área do sistema radicular e, conseqüentemente, um indicador da competição subterrânea.

Segundo SILVA (1977), as superfícies e comprimentos das copas, associadas às condições do meio, possibilitam ainda explicar a produção e o incremento de madeira.

O conceito de AMC (Área Máxima de Copa) foi desenvolvido em Iowa, EUA (Central States Forest Experiment Station) e publicado por KRAJICEK et al. (1961). Posteriormente, tal índice foi testado por outros investigadores, entre eles VEZINA (1962). Embora, segundo KRAJICEK et al. (1961), tenha sido desenvolvido para povoamentos equianos, pode, igualmente, ser utilizado para florestas nativas, já que o método ajusta as variações em distribuição dos diâmetros e o espaço de copa potencial requerido para árvores individuais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados foi executada no município de Curitiba, localizado entre 25°25'S e 25°30'S e 49°11'30" W e 49°15'45" W, com altitude média de 908m.

As fotografias aéreas utilizadas foram tomadas em outubro de 1978, aproximadamente 15 meses antes da coleta de dados no campo. A escala aproximada é de 1: 10000, sendo o filme pancromático com distância focal de 152,94 mm.

O método de amostragem foi o inteiramente aleatório, embora, dentro da área mostrada, a coleta de dados tenha assumido um caráter seletivo. Isto em função da

^{3/} ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES PARA PADRONIZAÇÃO DA TERMINAÇÃO DA TERMINOLOGIA FLORESTAL, 1., Curitiba, - FIEP 1976. Curitiba, FIEP 1976.

necessidade de se incluir na amostragem somente árvores com condições de serem visualizadas nas fotografias aéreas, ou seja, árvores de **A. angustifolia** que vegetassem nos bordos dos capões ou próximas a clareiras.

A coleta de dados foi realizada em quatro áreas com vegetação remanescente de **A. angustifolia**, localizadas próximas aos Campus da Universidade Federal do Paraná (Centro Politécnico).

Efetivaram-se então, a nível de campo, a identificação das árvores, sua marcação e o desenho do croqui de localização, o qual foi preparado, considerando-se, também, a amarração com a infra-estrutura local, ou seja, cursos d'água, elevações, estradas e casas.

Foram coletados dados de 196 árvores, dentro da amplitude diametral que variou entre um mínimo de 20 cm e um máximo de 87 cm. As variáveis medidas no campo foram: DAP, com fita diamétrica; altura total, com hipsômetro de Blume-Leiss; altura comercial (parte do tronco livre de galhos), com hipsômetro de Blume-Leiss; e diâmetro de copa, cuja medição foi realizada segundo metodologia preconizada por CURTIS & REUKEMA (1970) e SILVA (1977).

Assim, mediram-se oito raios (comprimento dos galhos), tentando-se manter, entre tais raios, um ângulo de 45°.

Como no campo não foi calculado o volume real, isto é, cubagem das árvores, utilizou-se, neste trabalho, como volume comparável ao das fotografias aéreas, o apresentado em tabelas de volume por SIQUEIRA (1977). A equação utilizada foi:

$$V = (b_0 + b_1 + b_2 \times D) \times \frac{DH}{DH}$$

A área de copa no campo foi calculada através de dois processos, ambos citados por SILVA (1977):

- a) métodos dos triângulos;
- b) métodos do diâmetro médio.

Para utilização de modelos mencionados em literatura que consideram a Área de Copa como variável dependente, assumiu-se que a Área de Copa da **A. angustifolia** fosse circular. Assim, a área considerada não era a superfície real da copa e sim uma aproximação, definida como:

$$AC = \frac{\pi (DC)^2}{4}$$

As variáveis medidas nas fotografias aéreas foram: diâmetro de copas, com barra de paralaxe, utilizando-se apenas uma das fotografias. Altura da árvore com barras de paralaxe.

3.1. Modelos testados.

A Tabela 1 apresenta o número de modelos testados para a estimativa do DAP e V.

TABELA 1. Variáveis independentes utilizadas em modelos para a obtenção do DAP e Volume.
Independent variables and number of regression models teste for the estimate of DBH and V.

Variável dependente	Variável independente	Nº de modelos testados
DAP	DC e algumas transformações algébricas	2
DAP	H e algumas transformações algébricas	5
DAP	DC e H e algumas transformações algébricas	6
DAP	AC e H e algumas transformações algébricas	7
V	DC e H e algumas transformações algébricas	9
V	H e algumas transformações algébricas	2
V	AC e H algumas transformações algébricas.	5

3.2. Estudo das variáveis e escolha do melhor modelo.

O grau de associação existente entre as variáveis independentes (diâmetro de copas e altura) e as variáveis dependentes (DAP e Volume) foi determinado através da obtenção da correlação simples entre tais variáveis combinadas.

Utilizaram-se como critério de escolha para o melhor modelo, os seguintes critérios:

- a) coeficiente de determinação (r^2); e,
- b) erro padrão da estimativa S (yx).

Para a comparação com equações logarítmicas, foi realizada a retro-transformação, isto é, o cálculo de um novo S (yx), no entanto em função da variável, e não, do logaritmo da variável.

O melhor modelo seria o que apresentasse o maior coeficiente de correlação com o menor erro padrão da estimativa.

3.3. Área máxima de copa - um avaliador de densidade.

Conhecendo-se o diâmetro médio da copa e assumindo-se que a copa das árvores em crescimento livre tende a ser circular, pode-se calcular a área aproximadamente coberta pela projeção das copas. Tal valor é denominado AMC ou "Área Máxima de Copa", sendo apresentada em porcentagem de um hectare.

$$AMC = \frac{\pi (DC)^2}{4 \cdot 100}$$
$$\therefore AMC = 0,0079 (\overline{DC})^2$$

Inicialmente, estabelece-se a relação entre DC/DAP. No caso da utilização de fotografias aéreas, usou-se o diâmetro de copas (DC) medido nas fotografias, sendo:

$$\overline{DC} = b_0 + b_1 D$$

Como o AMC é calculado em função do DC^2 tem-se:

$$(\overline{DC})^2 = (b_0)^2 + 2 (b_0 \times b_1 \times D) + (b_1 \times D)^2$$

$$AMC = \underbrace{0,0079 (b_0)^2}_a + \underbrace{0,0079 \cdot (2 (b_0 \times b_1 \times D))}_b + \underbrace{0,0079 (b_1 \times D)^2}_c$$

O valor de AMC seria referenciado para o valor médio de cada classe de DAP e, conseqüentemente, ter-se-ia a área máxima de copa ocupada pelas árvores com DAP em intervalo pré-determinado.

Com os valores de AMC obtidos, calcula-se o número mínimo de árvores em crescimento livre que são teoricamente suficientes para ocupar a área (assumindo que as copas são distorcidas o suficiente para preencher espaços vazios, sem reduzir a área individual da copa).

Utilizando-se valores de AMC de árvores de várias classes e combinando-se a ponto de chegar a um AMC próximo de 100 (cem), teoricamente tem-se a área totalmente ocupada.

Como o AMC é considerado como a porcentagem de um hectare ocupado pela copa de uma árvore, o termo FCC ou "Fator de competição de copas" foi criado para definir a soma dos valores AMC para todas as árvores do povoamento dividido pela área em hectares, sendo usado como expressão da densidade.

Substituindo-se as três operações da última equação apresentada (AMC), ter-se-á:

$$FCC = a(D^2 \times N) + b(DN) + c(N)$$

O FCC seria um índice de manutenção da densidade do povoamento, sendo possível, após a determinação da densidade ideal para uma finalidade específica, a elaboração de planos de Manejo por fotografias aéreas ao se utilizar a estimativa do DAP através do DC medido nas fotografias, onde:

N = Número de árvores medidas

D = DAP

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Identificação da espécie nas fotografias aéreas.

Na escala em que o trabalho foi realizado, foi possível a identificação da *A. angustifolia*, devido às características inerentes à própria espécie, em relação ao tipo de associação onde vegeta. Assim, das 196 árvores medidas no campo, 62% foram visualizadas nas fotografias aéreas.

As classes de menor DAP foram, em termos percentuais, mais difíceis de serem visualizadas, conforme era esperado. O percentual de maior visualização para classes intermediárias pode ser resultado da densidade das mesmas no local.

TABELA 2. Percentual do número de árvores identificadas nas fotografias aéreas em relação ao local.
Percentages of the number of trees identified in the aerial photos according to the diameter classes.

Classe nº Class number	Classes DAP (cm) DBH classes	Frequência Frequency	Nº árvores identificadas Number of identified trees	Diferença Difference	% identificado % identified
1	18,0-29,9	18	9	9	50
2	30,0-41,9	44	27	17	61,36
3	42,0-53,9	77	51	26	66,23
4	54,0-65,9	27	15	12	55,55
5	66,0-77,9	18	10	8	55,55
6	78,0-89,9	12	9	3	75,00

4.2. Medição do diâmetro da copa.

Em árvores isoladas, não foram encontradas dificuldades para a medição das copas, o que não ocorreu em agrupamentos. Foi possível medir 61,7% das árvores selecionadas no campo, e 81,7%, das árvores identificadas nas fotografias aéreas.

O comprimento médio da copa do pinheiro (obtido pela diferença de altura total e altura do tronco) através de dados de campo, foi praticamente constante, atingindo 1/7 da altura da árvore, aproximando-se de resultados apresentados por SILVA (1977). Esta variável é indicada por alguns autores como uma das possíveis variáveis independentes para a estimativa do DAP, porém, neste trabalho, não foi avaliada através de fotografias aéreas.

Com as medições dos diâmetros de copa no campo, realizou-se o cálculo das áreas por dois métodos, conforme especificado no capítulo 3:

- pelo método dos triângulos;
- considerando-se a circunferência com diâmetro igual à medida dos diâmetros medidos.

As áreas medidas pelo primeiro processo apresentavam-se menores em relação ao segundo método. Esta tendência foi da ordem de 11%.

4.3. Medição da altura.

Surpreendentemente, esta variável foi obtida com maior facilidade que o diâmetro de copas.

Mesmo assim, algumas das árvores identificadas não foram incluídas nas medições em função da dificuldade de visualização do solo para medição da paralaxe da base.

Nestes casos (aproximadamente 10% do total de árvores com os diâmetros de copa perfeitamente delimitados), foi necessária a eliminação do indivíduo. Uma segunda alternativa foi a de utilizar a leitura da paralaxe da base de árvores vizinhas, quando ambas se encontravam em um segmento de terreno plano ou aproximadamente plano. O erro padrão da estimativa encontrado nas medições de altura nas fotos aéreas foi de 0,70 m (aproximadamente 4%) a um nível de significância de 99%. O erro sistemático encontrado (diferença entre altura média no campo e altura média na fotografia) foi de aproximadamente 0,50 m.

A tendência encontrada foi de subestimativa da altura das árvores menores.

4.4. Correlato das variáveis medidas com o DAP.

Para a *Araucaria angustifolia* nas condições do presente trabalho, o coeficiente de correlação simples entre DAP e DC foi de 0,8530, semelhante ao encontrado por AVERY & CANNING (1973) para povoamentos de *Pinus radiata* ($r = 0,843$). Já KAHLEYSS (1968) apresenta resultados de 0,984 para povoamentos de *Picea* sp.

Como pode ser depreendido pela Tabela 3 (valores significantes ao nível de 1%), o coeficiente de correlação entre DAP e DC^2 é maior do que na relação anteriormente citada.

TABELA 3. Coeficiente de correlação simples entre as variáveis e variáveis combinadas com o DAP.
Simple linear correlation coefficient (r) between the variables and combined variables with the DBH.

	DAP
\overline{DC}	0,8530
\overline{DC}^2	0,8613
AC	0,8613
$\log \overline{DC}$	0,7506
$\log \overline{DC}^2$	0,5431
$\log AC$	0,7506
$1 + \log \overline{DC}$	0,7506
H	0,5610
$\log H$	0,5307
H^2	0,5795
\sqrt{H}	0,5475
$H \times \sqrt{DC}$	0,8245
$H \times \sqrt{AC}$	0,8704
$H \times \log \overline{DC}$	0,7963
$H \times \overline{DC}^2$	0,8749
$H \times \overline{DC}$	0,8704

onde:

\overline{DC} = diâmetro de copa

H = altura

AC = área de copa ou

$$\frac{\pi (DC)^2}{4}$$

Embora a variável Área de Copa não tenha sido medida no presente trabalho, pode-se antecipar a possibilidade de se alcançar uma correlação maior entre esta variável e o DAP, já que a mesma, a princípio, é igual a $0,7854 \overline{DC}^2$. Para esta conclusão, considerou-se que a copa era circular, com raio igual à metade do diâmetro médio da copa.

A inclusão da variável H (altura medida nas fotografias) na estimativa do DAP tem sido preconizada por autores como BONNOR (1967), ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN (1972) e DAWKINS (1963). Segundo estudos realizados por estes e outros investigadores, melhora a correlação com o DAP. Tal afirmação foi comprovada no presente trabalho através das combinações:

$$H \times \overline{DC}$$

$$H \times \overline{DC}^2$$

que obtiveram, respectivamente, 0,8704 e 0,8749, como coeficiente de correlação linear simples.

Igualmente ao anteriormente citado, pode-se sugerir a possibilidade de substituição da variável \sqrt{AC} pela variável DC em modelos já determinados por

outros autores. Tal afirmação segue o mesmo raciocínio, sendo que o mesmo é válido, se considerarmos que \overline{DC} é aproximadamente $\sqrt{1,2732AC}$.

Deve-se levar sempre em consideração que, para se chegar a esta conclusão, partiu-se da premissa de que a Área de Copa é circular, o que não pode ser generalizado mesmo para a *Araucaria angustifolia*, cuja copa pode possuir outras formas geométricas. ALDRED & KIPPEN (1976) encontraram para *Abies balsamea* e *Picea glauca* coeficiente de correlação de 0,96 entre DAP e (H x AC).

Uma correlação entre DAP e altura medida na fotografia como variável única não foi alta o suficiente para que se possa sugerir-la como promissora na estimativa do DAP. Conclusões semelhantes foram obtidas por AVERY E CANNING (1973), para *Pinus radiata* (r = 0,499).

4.5. Correlação das variáveis medidas nas fotografias aéreas com o volume.

No presente trabalho, em função do volume por árvore não ter sido determinado no campo, utilizou-se para as análises o modelo apresentado por SIQUEIRA (1977), válido para a região em que os dados foram coletados.

As variáveis consideradas para esta estimativa são como para o DAP o diâmetro da copa e a altura, ambos medidos nas fotografias aéreas.

Pode-se verificar pela Tabela 4 (valores significantes ao nível de 1 %) que a variável \overline{DC} é melhor correlacionada com o volume sob a forma de \overline{DC}^2 . Como variável única, apresentou r = 0,7962, e como quadrática, 0,8369.

Tal resultado difere um pouco do encontrado por outros autores como AVERY & CANNING (1973), cujos coeficientes para *Pinus radiata* foram, respectivamente, 0,796 e 0,783, sendo a correlação com a variável DC^2 levemente inferior à encontrada com DC. Tal resultado deve-se, provavelmente, ao tamanho da copa da *Araucaria angustifolia*.

A variável única H também não se mostrou altamente correlacionada com o V, embora levemente superior à encontrada para a correlação com o DAP. Tal resultado evidencia a possibilidade da estimativa do volume apenas através da variável altura, conforme foi, inclusive, testado por ALDRED & LOWE (1978).

Uma análise considerando a variável combinada H e \overline{DC} para a estimativa do volume reafirma conclusões tiradas para a estimativa do DAP. Novamente a variável H x \overline{DC}^2 é a mais altamente correlacionada com o volume, seguida de H x DC.

Obteve-se uma correlação muito forte das variáveis H x $\log \overline{DC}$ e H x $\sqrt{\overline{DC}}$ com o volume, porém estas foram menores que as obtidas com H x \overline{DC} e H x \overline{DC}^2 .

TABELA 4. Coeficiente de correlação simples (r) entre as variáveis e variáveis combinadas com o volume.
Simple linear correlation coefficient (r) between the variables and combined variables with the volume.

Variáveis e variáveis combinadas	r	
\overline{DC}	0,7962	
$\overline{DC^2}$	0,8369	
AC	0,8369	
log AC	0,6609	
log \overline{DC}	0,6609	
onde: \overline{DC} = diâmetro de copa	\sqrt{AC}	0,7962
H = altura	H	0,6422
AC = área de copa ou $\frac{1}{4}(DC)^2$	log H	0,5992
	H ²	0,6726
	H x \overline{DC}	0,8792
	H x $\sqrt{\overline{DC}}$	0,8409
	H x \sqrt{AC}	0,8792
	H x log DC	0,8017
	H x $\overline{DC^2}$	0,8955
	H x log AC	0,8026

4.6. Escolha do melhor modelo para a estimativa do DAP.

Os modelos testados foram pré-selecionados através da literatura sobre o assunto. Como o número de equações indicadas para esta estimativa é bastante extenso, apenas algumas foram selecionadas para análise no presente trabalho. Evidentemente, o número de modelos estudados não esgota o assunto, sendo possível melhores estimativas através de modelos recentemente desenvolvidos.

Para a escolha do melhor modelo, utilizaram-se os critérios:

- erro padrão da estimativa — $s(yx)$;
- coeficiente de determinação (r^2) ou coeficiente de múltipla diferença (R^2).

Assim, o melhor modelo considerado seria o que apresentasse menor $S(yx)$ e maior r^2 (ou R^2).

Interpretação da relação DAP e diâmetro de copa:

Considerando-se os modelos testados, e de acordo com os critérios estabelecidos, verifica-se, pela Tabela 5, que o modelo que mais se ajustou aos dados tomados para o presente trabalho foi:

$$DAP = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC^2}$$

Resultados semelhantes também foram encontrados por DEETLEFS^{3/} e EULE^{4/}, ambos citados por BONNOR (1964).

^{3/} DEETLEFS, P.P. du T. The relationship between Stand density, crown size and basal area growth in stands of *Pinus radiata* in the native habitat of this species. J.S. African For. Assoc., n. 24, 1954.

^{4/} EULE, H.W. Methods of crown measurements and the relations between crown size, stem diameter and increment of Beech. Allgemeine Forst und Jaddzeitung, 130(7); 1959.

Porém ao serem analisados tais resultados, verifica-se que este tipo de relação levaria à conclusão que:

- a razão entre DAP/\overline{DC} aumenta com a idade e, segundo SILVA (1977), a **A. angustifolia** precisaria desenvolver grandes diâmetros para suportar copas maiores.

Porém VOLKART (1970), também para **A. angustifolia** encontrou como configuração o tipo retilíneo.

No caso do presente trabalho, ao se analisar comparativamente ambos os resultados segundo critérios já mencionados anteriormente (menor erro padrão da estimativa e mais alto coeficiente de determinação), percebe-se (Tabela 5) que o modelo imediatamente inferior à parábola seria a equação da reta, que se ajusta aos dados com uma diferença de 0,46% no erro padrão da estimativa e com coeficiente de correlação de 0,728, enquanto que o da primeira equação mencionada seria de 0,745.

As estimativas do DAP somente através da altura permitiram a obtenção de coeficiente de correlação simples aquém do esperado e erro padrão da estimativa alto, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

A equação 3 foi a que melhor se ajustou aos dados e, mesmo assim, apresenta um erro em torno de 24%. Concluiu-se que outros modelos devem ser testados em função da possibilidade de redução do custo de medição se o \overline{DC} for eliminado.

TABELA 5. Modelos de regressão para a estimativa do DAP.
Regression equations for the estimate of DBH.

Regressão	Coeficientes		Características (characteristics)			
	Coefficients	R ²	S(yx)	S(yx)%	F	
1 DAP = $b_0 + b_1 DC$	13,7425272 3,5504129	0,72762638	7,638836481	15,5	317,9002866 **	
2 DAP = $b_0 + b_1 DC + b_2 DC^2$	24,7153119 1,1419186 0,116911 E-03	*0,745640777	7,4131215	15,04	172,9554186 **	
3 DAP = $b_0 + b_1 H + b_2 H^2$	62,517713 - 4,5842118 0,208567 E-03	0,348584074	11,8633286	24,07	31,57193360 **	
4 DAP = $b_0 + b_1 H$	- 1,2806039 2,8114880	0,314753373	12,1162535	24,58	54,66010336 **	
5 DAP = $b_0 + b_1 \log H$	- 80,8837156 104,0520971	0,281626649	12,4056637	25,17	46,65202453 **	
6 DAP = $b_0 + b_1 \log H + b_2 H$	207,146874 - 262,660111 9,616008	0,348227174	11,8655766	24,07	31,53761805 **	
7 DAP = $b_0 + b_1 \log H + b_2 H^2$	110,8527832 - 86,8428758 0,141290 E-03	0,348759718	11,8617291	24,07	31,59636145 **	

Neste trabalho, a melhor estimativa para DAP foi encontrada através da variável combinada H e \overline{DC} , conforme ficou evidenciado, inclusive, através do coeficiente de correlação simples. Dentre as várias equações analisadas, foi escolhida aquela apresentada por BONNOR (1967), que a testou com árvores de ***Pinus strobus***, ***P. banksiana***, ***Picea glauca*** e ***Abies balsamea***. Com folhosas foi testado em ***Accer saccharum***, ***Betula lutea***, ***B. papyrifera***, ***Populus*** sp e ***Fagus*** sp, sendo:

$$DAP = b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3Hx\overline{DC}$$

O autor comenta que o erro padrão da estimativa (expresso como percentual do diâmetro médio) foi maior do que o encontrado para ***Pinus resinosa*** e ***Picea mariana***, em trabalhos anteriores. Expõe também que o S(yx) obtido para as folhosas foi relativamente alto, indicando que o diâmetro do tronco não é adequadamente estimado, nestas espécies, através de H e DC.

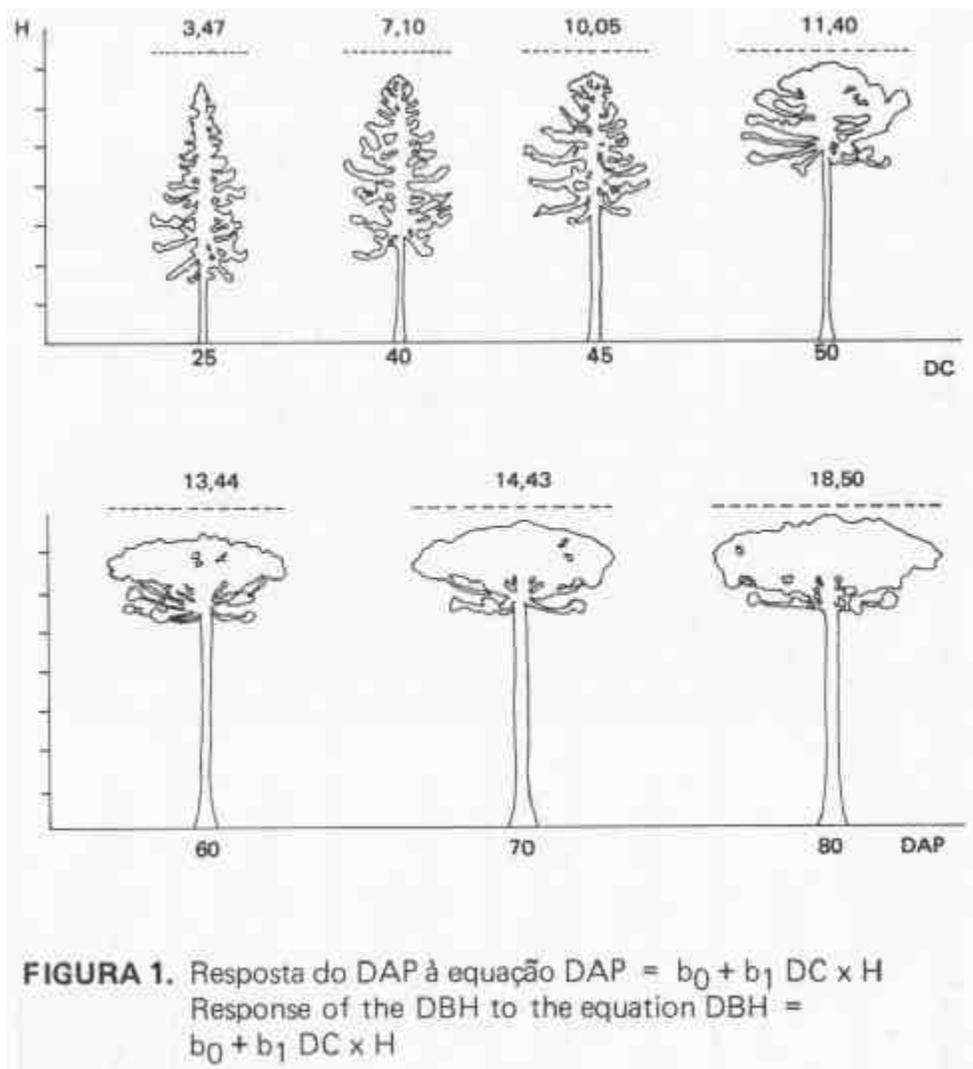
Neste trabalho, foi encontrado um S(yx) de 14,22%. Embora os outros modelos, como $DAP = b_0 + b_1\overline{DC} + Hx\overline{DC} + b_3\overline{DC}^2$ tenham apresentado resultados semelhantes, o modelo de BONNOR (1967) foi escolhido em função de ser um modelo tradicionalmente conhecido, já testado exaustivamente para várias espécies em outros países. Tais resultados encontram-se na Tabela 6.

A Figura 1 ilustra a resposta do DAP à equação:

$DAP = b_0 + b_1\overline{DC} \times H$, a qual foi obtida com um erro padrão da estimativa de 14,62% e coeficiente de determinação da ordem de 0,76.

TABELA 6. Modelos de regressão aritméticos para a estimativa do DAP em função do diâmetro de copa e altura.
Arithmetic regression models, for the estimate of DBH

Regressão	Características (characteristics)				
	Coefficientes (*) Coefficients (*)	R ²	S(yx)	S(yx)%	F
1 DAP = $b_0 + b_1H + b_2DC + b_3H \times DC$	38,9673171 - 1,2406561 0,535264 E-03 0,205183 E-03	0,774554593	7,0088400	14,22	133,9908830 **
2 DAP = $b_0 + b_1H \times DC$	211,529523 0,151936 E-03	0,757633202	7,2057877	14,62	371,9913446 **
3 DAP = $b_0 + b_1DC + b_2H \times DC + b_3DC^2$	24,5072974 0,0070871 E-04 0,0091427 E-04 0,0761606 E-04	0,774663733	7,0071432	14,22	134,07467 **
4 DAP = $b_0 + b_1DC + b_2H \times DC + b_3H^2$	30,8136541 - 1,0372684 0,234313 E-03 - 0,0437769 E-04	0,774942812	7,0028027	14,21	134,2892883 **
5 DAP = $b_0 + b_1DC + b_2H \times DC + b_3DC^2$	24,5072974 - 0,010871 E-04 0,0914270 E-04 0,0761606 E-04	0,774663733	7,0071432	14,22	134,07467 **



4.7. Escolha do melhor modelo para a estimativa do volume.

Vários trabalhos têm sido publicados com estimativas de volume, baseadas apenas na correlação DAP e diâmetro de copas. Porém SWELLENGREBAL (1959) acertadamente menciona que esta estimativa depende de uma correlação alta entre estas duas variáveis. Depende também da densidade das copas, já que esta influencia diretamente na visualização e separação destas, quando da medição nas fotografias aéreas. No presente trabalho, tais modelos não foram testados.

Sendo porém a altura uma variável medida com menor dificuldade, pode-se testar equações que utilizam apenas esta variável para a estimativa do volume.

ALDRED & LOWE (1978), para povoamentos mistos de coníferas e folhosas, em Alberta (Canadá), e utilizando fotografias aéreas em escala grande, sugerem que a inclusão da variável diâmetro de copas (ou áreas de copas) na estimativa do volume reduz sensivelmente o erro padrão da estimativa. Consideram, porém, que se for levado em conta que a medição das copas requer um considerável tempo

extra de medição, a precisão adicional pode não ser desejável. Com base nisto, foram testados dois modelos para a estimativa do volume através, apenas, da variável altura (Tabela 7).

TABELA 7. Equações para estimativa do volume em função da altura.
Models for the estimate of volume as function of height.

Regressão (model)	Coeficientes		Características (characteristics)			
	Coeficientes	Coeficientes	R ²	S(yx)	S(yx)%	F
1 V = b ₀ + b ₁ H + b ₂ log H	30,6424244	1,481626362	0,495417484	1,199536538	52,61	55,65605261 **
	-44,0593162					
2 V = b ₀ + b ₁ H + b ₂ H ² + b ₃ logH	-22,36763	- 3,7361201	0,497830558	1,190033485	52,19	38,86302909 **
	0,077977521	52,815287				

Para o presente trabalho, os modelos testados apresentaram erro padrão da estimativa em torno de 52%, que comparados com os 22% apresentados pelos autores (ALDRED & LOWE 1978), são elevados. Através disto e com base na argumentação acima, pode-se concluir que novos modelos devem ser testados para que se possa obter a estimativa do volume apenas através da altura.

SPURR (1960), porém, adverte que mesmo que sejam confeccionadas tabelas baseadas em uma variável independente, na maioria dos casos em que se trata de determinar o volume individual das árvores, se utiliza tanto o diâmetro da copa como a altura.

Analisando-se todos os modelos estudados, pode-se concluir que, para as condições deste trabalho, a inclusão da variável diâmetro de copas reduziu o erro padrão da estimativa em torno de 18%, conforme as equações de número 3 e 4 da Tabela 8, em relação às equações de números 1 e 2 da Tabela 7.

TABELA 8. Equações para a estimativa do volume.
Models for the estimate of volume.

Regressão (model)	Características (characteristics)				
	Coefficientes (*) Coefficients (*)	R ²	S(yx)	S(yx)%	F
1 $V = b_0 + b_1 H + b_2 \overline{DC}$	- 4,034013690 0,183816693 0,299967298	0,711466711	0,898222503	39,40	145,4824714 **
2 $V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 H$	- 4,034001369 0,299967298 0,183816693	0,711466710	0,898222505	39,40	145,4824708 **
3 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC}$	- 0,770174589 - 0,014204686 0,017826763	0,773246540	0,796274723	34,92	201,194486 **
4 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \times \overline{DC} + b_3 \overline{DC}$	- 4,520238475 - 0,324314526 0,049226834 - 0,592016802	0,818603561	0,715234441	31,37	175,9987083 **
5 $V = b_0 + b_1 \overline{DC} + b_2 \overline{DC}^2 + b_3 H \times \overline{DC}$	- 0,978130210 - 0,439031974 0,018058152 0,019781646	0,8125266288	0,727116226	31,89	169,0295438 **
6 $V = b_0 + b_1 H \times \overline{DC}$	- 0,957585199 0,017459080	0,772968572	0,793407829	34,80	405,156061 **

(Continuação da Tabela 8.)

Regressão (model)	Características (characteristics)				
	Coefficientes (*) Coefficients (*)	R ²	S(yx)	S(yx)%	F
7 $V = b_0 + b_1 H \overline{DC}^2$	0,325160053 9,16949 E-04	0,801999670	0,740945798	32,50	482,0091273 **
8 $V = b_0 + b_1 H \sqrt{\overline{DC}}$	- 2,387097596 0,082118598 4,920238577	0,707151532	0,901042566	39,52	287,4090107 **
9 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 \sqrt{AC}$	- 0,324314531 0,055546535 - 0,668019436	0,818803566	0,715234432	31,27	175,9987136
10 $V = b_0 + b_1 H + b_2 H \sqrt{AC} + b_3 AC$	- 1,443286659 - 0,055868988 0,12391239 7,70704 E-03	0,775368837	0,795919315	34,91	134,6179410 **
11 $V = b_0 + b_1 H \sqrt{AC} + b_2 \sqrt{AC}$	0,604345256 0,025626896 - 0,147578315 -15,30833957	0,781648168	0,781383777	34,27	211,2061115 **
12 $V = b_0 + b_1 H \log AC + b_2 H$	0,144238816 - 0,056406404	0,647136389	0,993320516	43,57	108,2034126 **
13 $V = b_0 + b_1 H \log AC$	- 2,094514195 0,130748341	0,644205547	0,993237430	43,56	215,4627748 **

Através do mesmo critério utilizado para a escolha do melhor modelo para estimativa do DAP, selecionou-se a equação para V, ou seja, a que apresentasse

menor erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação mais elevado. O modelo selecionado foi:

$$V = b_0 + b_1H + b_2H\overline{DC} + b_3\overline{DC}$$

Tal modelo, composto após modificações introduzidas na equação sugerida por BONNOR (1977), apresenta erro padrão da estimativa de aproximadamente 31%. Este resultado vem de acordo com a afirmação de SPURR (1960), o qual menciona que, em geral, os erros na estimativa de volume em árvores individuais são altos, variando de 30 a 60% do volume médio. O mesmo autor, todavia, comenta que ordinariamente estes erros se compensam quando todas as árvores podem ser vistas e medidas nas fotografias.

A equação

$$V = b_0 + b_1H + b_2H\sqrt{\frac{(DC)^2}{4} + b_3\sqrt{\frac{(DC)^2}{4}}}$$

apresentou resultados semelhantes ao modelo escolhido e foi preterida em relação à primeira, devido à maior complexidade em sua aplicação.

4.8. A competição de copas como índice de densidade - determinação da AMC.

A utilização das fotografias aéreas no campo florestal, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, tem sido limitada a atividades que basicamente são englobadas no planejamento de um Inventário.

Porém, através de fotografias aéreas de boa qualidade e em escala razoável; pode-se, também, estudar a densidade de um povoamento, preocupação constante de estudiosos da área florestal.

Os resultados aqui apresentados devem ser entendidos como uma aplicação prática da utilização do AMC como um índice para avaliar e determinar densidade através de fotografias aéreas. Como os dados foram coletados em floresta natural, e levando-se em conta, apenas, uma determinada espécie da associação, não foi considerada a competição existente entre esta e outras espécies, nem a área ocupada pelas mesmas.

Teoricamente, a competição de espaço pelas copas inicia-se quando tal espaço está ocupado e cada copa de árvore é igual, em área, àquela existente para uma árvore em crescimento livre e, com o mesmo DAP. Esta condição é expressa com base no valor 100 para determinar a competição de copas pelo espaço livre. Assim, a densidade pode ser expressa como porcentagem.

Segundo KRAJICEK et al. (1961), o único local onde as relações DAP/DC não são afetadas por outros fatores que interagem no ambiente seria em árvores de crescimento livre (ou parcialmente livres).

Em função de os dados do presente trabalho, praticamente, atenderem à esta condição, o método foi aplicado a tais dados.

A área da copa seria determinada por:

$$AMC = 0,0079(\overline{DC})^2$$

O modelo encontrado para os dados do presente trabalho seria:

$$DC = -0,89347838 + 0,204941414 \text{ DAP}$$

Tal equação foi obtida com coeficiente de determinação (R^2) de 0,73 e erro padrão da estimativa de 1,84 cm (aproximadamente 18%).

Através do anteriormente deduzido tem-se que:

$$AMC = 0,0000632 - 0,000289140 \text{ DAP} + 0,0003318 \text{ DAP}^2$$

Conforme já foi mencionado, o AMC é a porcentagem de um hectare ocupada pela projeção vertical de uma copa. Este sendo conhecido, pode-se obter o número mínimo de árvores que são teoricamente suficientes para produzir o fechamento do dossel.

Assim, uma árvore com 8,10m de diâmetro de copa possui um DAP estimado de 40 cm, que corresponde a 0,58% do ha. Para a utilização da área seriam suficientes 170 árvores.

O Fator de competição de copas ou FCC seria índice de manutenção da densidade do povoamento.

Para os dados do presente trabalho, o cálculo do FCC não seria indicado, já que seria necessária a determinação da densidade ideal, para uma finalidade específica, e após isto, a elaboração de planos de Manejo através de fotografias aéreas. O FCC, tal como o ACM, também seria obtido pela estimativa do DAP através da medição do \overline{DC} .

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que é possível a identificação e medição de árvores **de *Araucaria angustifolia*** em povoamentos naturais, através de fotografias aéreas. A maior dificuldade encontrada foi nas medições do diâmetro de copas do que a altura em função da ocorrência, em determinados casos, de superposição de copas. Ainda com relação à visualização das árvores, conforme o esperado, as classes com DAP menor foram mais difíceis de serem visualizadas.

Com relação à correlação simples entre parâmetros dendrométricos estudados, verificou-se que a ***Araucaria angustifolia*** o coeficiente de correlação simples (r) entre DAP e diâmetro de copas foi de 0,8530. A inclusão da variável altura, também medida nas fotografias aéreas, produziu um R de 0,8704 para DAP e a variável combinada $H \times \overline{DC}$.

Dentre os modelos testados para a estimativa do DAP com a variável única \overline{DC} (diâmetro da copa), a parábola oferece melhores resultados dentro dos critérios pré-determinados.

A inclusão da variável altura conduziu ao modelo de BONNOR (1977), como o escolhido para a estimativa do DAP, ou seja:

$$DAP = b_0 + b_1H + b_2\overline{DC} + b_3H \times \overline{DC}$$

onde:

DAP = diâmetro à altura do peito;

H = altura medida nas fotografias aéreas;

\overline{DC} = diâmetro da copa nas fotografias.

A equação $DAP = b_0 + b_1\overline{DC} + b_2H \times \overline{DC} + b_3\overline{DC}^2$ produziu erro padrão da estimativa e coeficiente de determinação semelhantes ao modelo de BONNOR. Assim, pode ser também considerada quando da estimativa do DAP de árvores de *Araucaria angustifolia*.

Também para a estimativa do volume, a variável diâmetro da copa apresentou um coeficiente maior quando na forma (\overline{DC}^2). A altura como variável única também para o volume não apresentou coeficiente de correlação alto (0,6726 para H^2). Uma análise considerando a altura e diâmetro da copa sugere que para a estimativa do volume, as variáveis mais correlacionadas seriam $H \times (\overline{DC}^2)$ e $H \times \overline{DC}$.

Através de modelos encontrados na literatura, verifica-se que a equação que melhor se apresentou para a estimativa do volume foi o modelo de BONNOR

$$V = b_0 + b_1H + b_2H \times \overline{DC} + b_3\overline{DC}$$

embora, equações que incluíssem o diâmetro da copa sob a forma Área de Copa apresentassem resultados semelhantes.

Os modelos que incluem apenas a altura ou $\log \overline{DC}$ para a estimativa do volume apresentaram erro padrão de estimativa bastante alto, em torno de 40 a 50%. Em virtude de tal situação, tais modelos não devem ser utilizados. Assim, a metodologia preconizada deve ser testada para outras circunstâncias, principalmente em escala maior.

6. REFERÊNCIAS

ALDRED, A.H. Measurement of tropical trees on large-scale aerial photographs. **Information Report**, Forest Management Institute, Ottawa. 1976 (FMR - X-86).

ALDRED, A.H. & KIPPEN, F.W. Plot volumes from large-scale 70 mm air photographs. **For. Sci.**, 13(4): 419-26, 1976.

ALDRED, A.H. & LOWE, J.J. Application of large-scale photos to a forest to a forest inventory in Alberta. **Information Report** Forest Management Institute, Ottawa. 1978 (FMR-X-107).

ALDRED, A.H. & SAYN-WITTGENSTEIN, L. Tree diameters and volume from large-scale aerial photographs. **Information Report** Forest Management Institute, Ottawa, 1972. (FMR-X-40).

- AVERY, G. Forester's guide to aerial photo interpretation. **Occasional Paper**, U.S. For. Serv. South. For, Exp. Sta., 156, 1957. 41 p.
- AVERY, G. Composite aerial volume table for southern pines and hardwoods. **J. For.**, **10**:741-45, 1958.
- AVERY, G. & CANNING, J. Tree measurement on large-scale aerial photographs. **New Zealand J.For.**, **18**(2): 252-64, 1973.
- BONNOR, G. M. Stem diameter estimates from crown width and tree height. **Commonw. For. Rev.**, **47**: 8-13, 1967.
- BONNOR, G.M. A tree volume table for red pine by crown width and height. **For. Chron.**, **40**(3): 339-46, 1964.
- BONNOR, G.M. Forest inventories with large-scale aerial photographs: an operational trial in Nova Scotia. **Information Report**, Forest Management Institute, Ottawa, 1977 (FMR-X-96).
- CERENA. **Inventário do pinheiro do Paraná**. Curitiba, 1966 104p.
- DAWKINS, H.C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. **Commonw. For. Rev.**, **42** (4): 318-33, 1963.
- GLERUM, B.B. & HEINSDIJK, D. Inventories and commercial possibilities of Brazilian forests. **Turrialba**, **17**(1): 337-47, 1967.
- GRINGRICH, S.F. & MEYER, H.A. Construction of and aerial stand volume table for upland oak. **For. Sci.**, **1**(2): 140-7, 1955.
- GUPTA, P.N. Photo mensuration investigations for **Tectona grandis** in Allapalli (M.S., India). In: SYMPOSIUM IUFRO ON REMOTE SENSING, INCL. AERIAL PHOTOGRAPHY, Freiburg, 1973. **Proceedings**. Freiburg, 1974. p. 65-86.
- HETHERINGTON, J.C. Crown diameter: stem diameter relationship in managed stands of sitka spruce. **Commonw. For. Rev.**, **46**(4): 278-81, 1967.
- HOLLERWOGER, F. Is there correlation in the teak forests between crown diameter and the height of trees with regard to the diameter at breast height? **J. Scient. Res. Indonesia**, Djakarta, **3**(1): 3-20, 1954./Resumo/
- KAHLEYSS, D & KLIER, G. Untersuchungen zur Ermittlung-holz-messkunflicher Daten aus Lufybildern bei der Holzart Fichte. **Arch. f. Forstwesen**, **17**(4): 369-80, 1968.
- KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, K.A. & GRINGRICK, S.F. Crown competition: a measure of density. **For. Sci.**, **7**(1): 35-42, 1961.
- LOETSCH, F. & HALLER, K.E. **Forest inventory**. München, BLV Verlagsgesellschaft, 1972/3. 2v.
- LUNA L., A. Estudio preliminar de algunos elementos estadísticos para la evaluación de bosques tropicales com ayuda de fotografias aereas. **R. Forestal Venezolana**, **7** (10/11): 5-16, 1964.
- MINOR, C.O. Stem-crown diameter relations in southern pine. **J. For**, **49**(7): 490-93, 1951.
- SAYN-WITTGENSTEIN, L. & ALDRED, A.H. Tree size from large escale photos. **Photogram. Eng.**, **38** (10): 69-73, 1972.

- SIQUEIRA, J.D.P. **Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no sul do Brasil.** Curitiba, 1977. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- SILVA, J.A. da. Estimativa do diâmetro de copa e idade do Pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*, Bert. O. Ktze) em ambiente natural. **Brasil Flor.**, **8**(31): 24-9, 1977.
- SILVA; J.A. da. Comprimento do tronco, relação altura-diâmetro e altura-idade do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze) e folhosas associadas em ambiente natural. **Brasil Flor.**, **9**(34): 43-50, 1978.
- SMITH, J.H.C. & CHIAM, Y. C. Studies of tree stocking and used of crown-width ratios to define estimates of stand density. **Photo-gram. Eng.**, **36**(10): 1094-5, 1970.
- SPURR, S. **Photogrammetry and photo-interpretation.** New York, Ronald Press, 1960. 472p.
- SWELLENGREBAL, E.J.G. On the value of large-scale aerial photographs in British Guiana Forestry. **Empire For. Rev.**, **38**: 54-64, 1959.
- VEZINA, P.E. Crown-width - d.b.h. relationships for open-grown balsam fir and white in Quebec. **For Chron.**, **38**:463-73,1962.
- VOLKART, C.M. Determinación de la relación diâmetro copa/diâmetro do tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliotii* en la Provincia de Misiones. In: CONGRESSO FORESTAL ARGENTINO. 1., Buenos Aires. 1969. **Actas.** Buenos Aires, 1970. p. 231-7.