

JOÃO MARQUES FONTES

**ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA INDIVIDUAL DE *Araucaria
angustifolia* (Bert.) O. Ktze., ATRAVÉS DE
FOTOGRAFIAS AÉREAS EM ESCALA GRANDE**

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção do Título de "Mestre em Ciências - M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1983

JOÃO MARQUES FONTES

ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA INDIVIDUAL DE *Araucaria angustifolia*
(Bert.) O. Ktze., ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM ESCALA GRANDE

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial na obtenção do Título de "Mestre em Ciências - M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1983

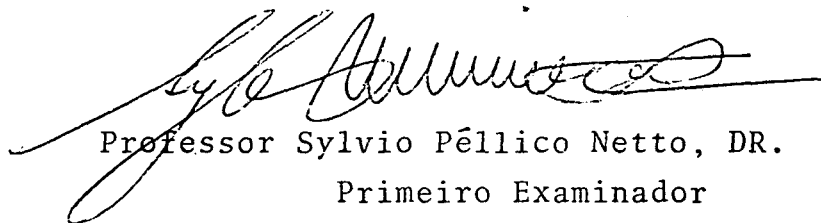


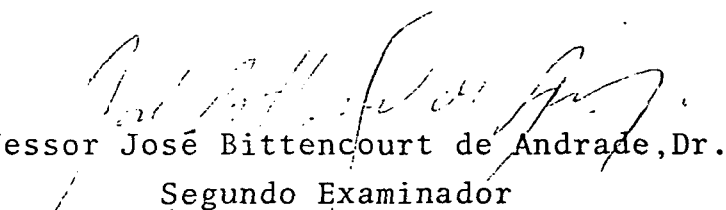
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

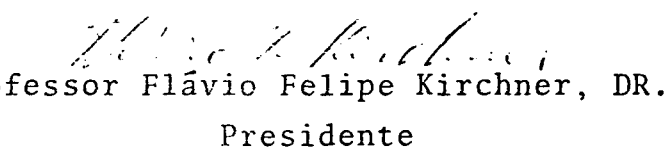
PARECER

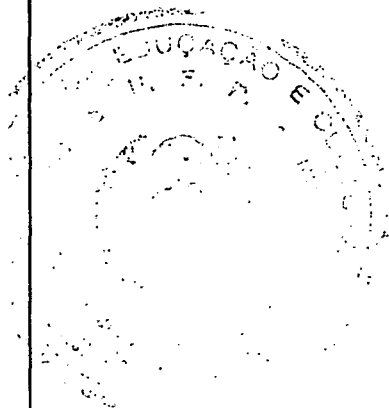
Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato JOÃO MARQUES FONTES, sob o título "ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA INDIVIDUAL EM *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM ESCALA GRANDE" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 12 de abril de 1983


Professor Sylvio Péllico Netto, DR.
Primeiro Examinador


Professor José Bittencourt de Andrade, DR.
Segundo Examinador


Professor Flávio Felipe Kirchner, DR.
Presidente



Ao meu pai

João de Oliveira Fontes, pelo incentivo

(in memoriam)

À minha mãe Luiza M. Fontes
e irmãos, pela dedicação e
compreensão.

BIOGRAFIA

JOÃO MARQUES FONTES, filho de João de Oliveira Fontes e Luiza Marques Fontes, nasceu em Cáceres, Estado de Mato Grosso, no dia 18 de julho de 1955.

Concluiu o primeiro grau no Colégio Estadual "Onze de Março" em Cáceres, MT.

Em 1971 iniciou o estudo secundário na Escola Técnica de Comércio "Raimundo Cândido dos Reis", em Cáceres, MT, concluindo em dezembro de 1973.

Em julho de 1975 iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Mato Grosso, graduando-se em 1979.

Em março de 1980 iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração de Manejo Florestal.

Atualmente exerce a função de pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Mato Grosso S.A.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Mato Grosso - EMPA-MT, pelo incentivo.

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro.

À Esteio Engenharia Aerolevanteamento S.A., pela concessão das imagens fotográficas.

Ao Professor Dr. Flávio Felipe Kirchner, pela orientação.

Aos Professores Sylvio Péllico Netto e Attilio Antonio Disperati, pelos ensinamentos e sugestões.

Ao Professor Nelson Carlos Rosot e a Engenheira Florestal Yeda M.M. de Oliveira, pelas valiosas colaborações.

À Marialice dos Santos Vaz, pela datilografia do original.

Aos demais colegas, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Natureza e Implicação do Problema	2
1.2. Objetivos	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Estimativa Volumétrica de Árvores Individuais .	5
2.2. Relação do DAP/ Diâmetro de Copa, na <i>Araucaria</i> <i>angustifolia</i>	11
2.3. Estimativa Volumétrica por Fotografias Aéreas..	11
2.4. Estimativa Volumétrica de Árvores Individuais, no Campo e em Fotografias Aéreas.....	12
2.4.1. Estimativa do Volume pelas Variáveis Medidas na Fotografia	13
2.4.2. Estimativa do Diâmetro do Fuste pela Dimensão Fotográfica da Árvore	17
2.5. Medição de Árvores Individuais em Fotografias Aéreas	20
2.5.1. Altura	20
2.5.2. Largura da Copa	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Características Gerais da Área de Estudo	24
3.2. Características das Fotografias Aéreas	25

	Página
3.3. Processo de Amostragem	25
3.4. Número de Unidades Amostrais	26
3.5. Coleta de Dados	27
3.6. Variáveis Medidas no Campo	29
3.6.1. Altura Total	29
3.6.2. Circunferência Relativa à Altura Total	29
3.7. Variáveis Calculadas	30
3.7.1. Cálculo do Diâmetro Quadrático Médio	30
3.7.2. Cálculo do Volume Real	31
3.8. Variáveis Medidas nas Fotografias Aéreas	31
3.8.1. Medição da Altura Total	32
3.8.2. Medição do Diâmetro de Copa	33
3.9. Seleção de Equações Destinadas a Estimar o Volume e o Diâmetro Quadrático Médio	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Medição nas Fotografias Aéreas	40
4.2. Tendência dos Dados	41
4.3. Correlação Linear Simples	46
4.4. Estudo das Equações de Regressão	48
4.4.1. Seleção da Melhor Equação para Estimar o Volume.	50
4.4.2. Seleção da Melhor Equação para Estimar o Diâmetro Quadrático Médio	53
4.5. Estudos Complementares da Equação Destinada à Estimativa do Diâmetro Quadrático Médio	59
5. CONCLUSÕES	65
6. RESUMO	67
SUMMARY	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Diâmetros Relativos ao Comprimento Total do Fuste	8
02	Relação Existente entre o Volume e a Altura	42
03	Relação Existente entre o Volume e o Diâmetro de Copa	43
04	Relação Existente Entre o Diâmetro Quadrático Médio e a Altura	44
05	Relação Existente Entre o Diâmetro Quadrático Médio e o Diâmetro de Copa	45
06	Relação Existente Entre o Diâmetro Quadrático Médio e a Variável $(H \cdot \overline{DC})$	58
07	Distribuição dos Resíduos pela Equação $V = 1,167 - 0,111 (H) + 0,248 (\overline{DC}) + 0,031 (H \cdot \overline{DC}) ..$	60
08	Distribuição dos Resíduos pela Equação $V = 0,785 \cdot H (0,136 + 0,002 (H \cdot \overline{DC}))^2$	61

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Elementos Climatológicos para a Região de Campo Largo	24
02	Distribuição das Árvores Amostrais por Classes de Diâmetros de Copas e Altura.....	28
03	Relação das Variáveis Utilizadas nos Modelos de Equação de Regressão	36
04	Características Dendrométricas da Variável Altura	41
05	Coefficiente de Correlação Simples entre as Variáveis Estudadas	47
06	Modelos de Equações para a Estimativa do Volume	49
07	Modelos de Equações para a Estimativa do Diâmetro Quadrático Médio	49
08	Coefficiente e Estatísticas dos Modelos de Regressão Testados para Estimar o Volume	51
09	Coefficiente e Estatísticas dos Modelos de Regressão Testados para Estimar o Diâmetro Quadrático Médio	52
10	Análise da Variância para a Equação de Regressão $V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	54
11	Análise da Variância para a Equação de Regressão $d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	56

Quadro	Página
12	Dados Auxiliares para o Cálculo da Distribuição de Z 62
13.	Tabela de Volume Obtido pela Expressão $V = 0,785 \cdot H (0,1364 + 0,0016 (H \cdot \overline{DC}))^2$ 64

LISTA DE ABREVIATURAS

\overline{AC}	Área de copa, medida na fotografia aérea.
\overline{DC}	Diâmetro de copa, medido na fotografia aérea.
d	Diâmetro do fuste.
DAP	Diâmetro à altura do peito.
dq^2	Diâmetro quadrático médio.
h	Altura total da árvore, medida no campo.
H	Altura total da árvore, medida em fotografia aérea.
V	Volume do fuste.
Wx	Volume do cilindro, com uma base \underline{x} de referência.
P.P.	Ponto principal.
p	Paralaxe absoluta.
dp	Paralaxe relativa.

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico deste século contribuiu enormemente ao desenvolvimento de aparelhos fotogramétricos com a finalidade de fornecer as mais variadas informações da superfície da terra.

O uso de fotografias aéreas, através da fotogrametria e de fotointerpretação, tem auxiliado o estudo dos recursos naturais de extensa superfície terrestre com relativa rapidez e a um custo menor, em relação aos levantamentos de campo. Uma das aplicações das fotografias aéreas, para fins florestais está na avaliação volumétrica de árvores isoladas, ou em grupos por variáveis mensuráveis quantitativa e qualitativamente.

Com relação à avaliação volumétrica de árvores individuais através de fotografias aéreas, mesmo que tenha deixado de ser novidade em vários países, tem sido utilizada de forma pouco efetiva em regiões tropicais e subtropicais, onde a vegetação, geralmente bastante densa, dificulta enormemente o reconhecimento e a medição das dimensões da árvore na fotografia.

Em alguns países de clima predominantemente temperado, como no Canadá, tem sido desenvolvido com sucesso inúmeras pesquisas florestais, com auxílio de fotografias aéreas em escala grande, visando a determinação do volume individual de árvore ou o volume para povoamento.

A *Araucaria angustifolia* (Bertolani) Otto Kuntze, também conhecida pelos nomes de Pinheiro do Paraná, Pinheiro ou simplesmente Pinho, é uma espécie de alto valor econômico, constituindo o escopo de estudo desta pesquisa.

A realização de estudos sobre a estimativa do volume individual do Pinheiro do Paraná, através das dimensões fotográficas, certamente contribuirá com os fatores tempo, economia e precisão na avaliação futura de povoamentos naturais da referida espécie.

1.1. NATUREZA E IMPLICAÇÃO DO PROBLEMA

Nos levantamentos de campo as variáveis comumente utilizadas nas equações de volume destinadas à construção de tabelas de volume de dupla entrada, para uma ou um grupo de espécies, são a altura e o diâmetro à altura do peito (DAP).

Para estimar o volume individual de uma árvore através de fotografias aéreas, um procedimento semelhante ao anterior poderá ser usado mas, com uma restrição: o diâmetro do fuste é difícil de ser visualizado nas fotografias aéreas verticais, por estarem quase sempre encobertos por copas de outras árvores. Para solucionar este problema inúmeros pesquisadores, como AVERY⁵, BONNOR⁶ e FERRE¹⁶, estimaram o DAP através das dimensões fotográficas da árvore, tal como a altura e a dimensão da copa e com uso de uma tabela de volume existente determinaram o volume da árvore em consideração.

Apesar deste procedimento ser o mais utilizado, devido à sua simplicidade na obtenção da variável dependente DAP no campo, apresenta um grande inconveniente: O DAP é tratado

primeiramente como uma variável dependente e posteriormente como independente numa equação de regressão linear obtida pelo método dos mínimos quadrados. Desta forma, impede o cálculo do limite de confiança e os testes de significância a um nível de probabilidade pré-estabelecido.

Um outro procedimento, destinado a obter equações volumétricas por fotografias aéreas, consiste na obtenção do volume individual da árvore no campo, por seccionamento ou com um dendrômetro de precisão, e correlacionar esta variável com outras possíveis de serem reconhecidas e medidas nas fotografias aéreas, tais como a altura total (H), o diâmetro de copa (\overline{DC}) e a área de copa (\overline{AC}). Este processo tem sido utilizado por vários pesquisadores entre os quais encontram-se ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹ e BONNOR⁷.

A avaliação quantitativa de florestas naturais de *Araucaria angustifolia* tem sido motivo de grande interesse nos inventários florestais realizados na Região Sul do Brasil. Esta importância é fundamentada pela economia que o Pinheiro do Paraná representa para as indústrias madeireiras instaladas na região. Como fator econômico, exerce função bastante importante na efetivação de um objetivo no campo da Engenharia Florestal e torna-se bastante evidente a utilização de métodos criteriosos e economicamente viáveis, que permitam a execução de trabalhos destinados à avaliação volumétrica do Pinheiro do Paraná. Assim, considerando as proposições anteriores, o estudo do diâmetro quadrático médio como uma alternativa à determinação volumétrica certamente contribuirá para a avaliação quantitativa de povoamentos florestais.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem os seguintes objetivos:

a) verificar a possibilidade de se identificar e determinar a altura e as dimensões das copas de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamento natural utilizando fotografias aéreas em escala grande (1:4000);

b) estudar e selecionar modelos matemáticos para estimativa de volume com uso de análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados;

c) estudar e selecionar modelos matemáticos para estimativa do diâmetro quadrático médio com uso da análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados;

d) verificar a possibilidade de se obter a estimativa do volume através da estimativa do diâmetro quadrático médio, obtido pelas dimensões fotográficas da árvore;

e) confeccionar uma tabela para estimativa de volume de árvores individuais de *Araucaria angustifolia*, através da altura total e da dimensão da copa, das árvores em consideração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

A estimativa do volume de árvores isoladas tem sua importância como ponto de partida na avaliação do volume lenhoso dos povoamentos, (GOMES²⁰).

Fundamentalmente, pode-se formalizar a existência de quatro processos para se estimar o volume total ou parcial de uma árvore, (PÉLLICO NETTO³⁹).

- I - Através do Cálculo de um Fator de Forma;
- II - Através de Equações Volumétricas;
- III - Através de Série Absoluta Contínua de Forma;
- IV - Através de Série Relativa Contínua de Forma.

Nesta revisão será tratado do primeiro processo, no qual se fundamenta a estimativa do volume da árvore pelo conhecimento do diâmetro quadrático médio e da altura.

A estimativa do volume de um fuste calculado através do Fator de Forma é o processo mais antigo e foi concebido valendo-se do princípio geométrico da rotação dos corpos. Neste processo, o volume de uma árvore é estimado através de uma equação volumétrica resolvida em função das variáveis, diâmetro, altura e uma outra variável que exprime a forma da árvore. O volume é então calculado pela expressão:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_x^2 \cdot h_x \cdot \lambda_x \quad (1)$$

Onde:

V = volume do fuste (m^3)

d_x = diâmetro do fuste, geralmente à altura do peito
(m)

h = comprimento do fuste (m)

λ_x = correção da forma ou fator de forma

x = variável contínua ($0 \leq x \leq h$), tomada a qualquer altura de interesse.

HUSCH et al²⁴ definem o fator de forma como a relação do volume da árvore com o volume de um sólido geométrico tal como um cilindro, cone ou tronco de cone, com o mesmo diâmetro e altura do fuste. Assim denominando-se:

$$W_x = \frac{\pi}{4} \cdot d_x^2 \cdot h \quad (2)$$

como sendo o volume de um cilindro tomado na base x , obtém-se o volume da árvore por:

$$V = W_x \cdot \lambda_x \quad (3)$$

por definição, isolando-se λ_x na igualdade, obtém-se o fator de correção da forma ou simplesmente, fator de forma

$$\lambda_x = \frac{V}{W_x} \quad (4)$$

Portanto, esta relação depende do conhecimento antecipado do volume real.

Particularmente, neste concenso, destaca-se o método de HOHENADL*, que resulta no fator de forma natural através da tomada dos diâmetros sempre em termos relativos ao comprimento do fuste.

PRODAN⁴⁰ observa que HOHENADL conseguiu expressar por um único fator, uma série de medidas relativas tomadas ao longo do tronco

$$\lambda_{0,1} = \frac{1}{5} \left[\left(\frac{d_{0,1}}{d_{0,1}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,3}}{d_{0,1}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,5}}{d_{0,1}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,7}}{d_{0,1}} \right)^2 + \left(\frac{d_{0,9}}{d_{0,1}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

onde, neste exemplo, dividiu-se o tronco em 5 (cinco) seções com os diâmetros tomados sempre em termos relativos do fuste. (FIGURA 01).

Assim, o fator de forma pode ser obtido pela expressão:

$$\lambda_{0,1} = \frac{1}{d_{0,1}^2} \left(\frac{d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2}{5} \right) \quad (6)$$

onde o somatório do quadrado do diâmetro da série relativa, dividido pelo número destes, fornece o diâmetro quadrático médio; ou seja:

$$d_q^2 = \frac{d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2}{5} \quad (7)$$

* HOHENADL, W: DIE BESTANDESMESSUNG. Fw. Cbl. 1 936.

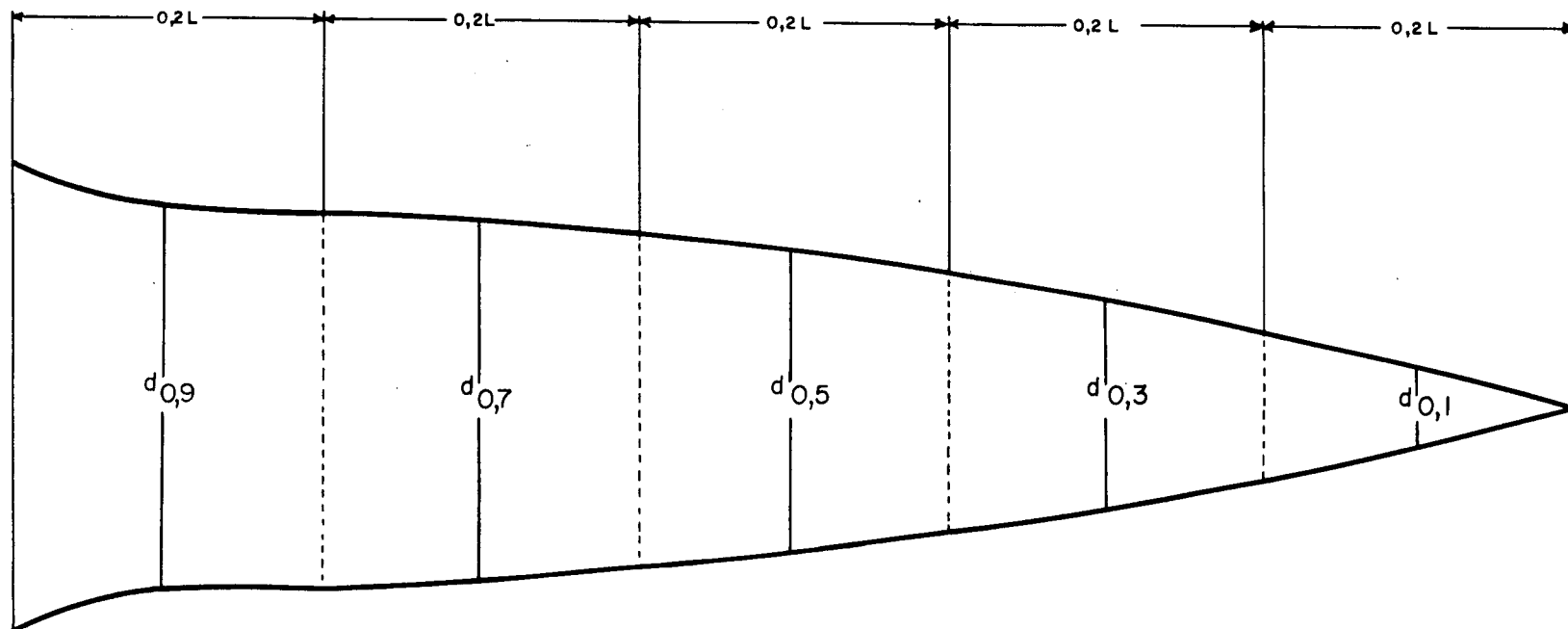


FIGURA 01: Diâmetros relativos ao comprimento total do fuste

e o fator de forma de HOHENADL fica sendo:

$$\lambda_{0,1} = \frac{d_q^2}{d_{0,1}^2} = \left(\frac{d_q}{d_{0,1}} \right)^2 \quad (8)$$

Tomando-se o diâmetro quadrático médio como diâmetro de referência, obtem-se o fator de forma unitário.

$$\lambda = \frac{d_q^2}{d_q^2} = 1 \quad (9)$$

e a forma da árvore é então equiparada a um cilindro de diâmetro coincidente com o diâmetro quadrático médio da mesma, (PÉLLICO NETTO³⁹). Desta maneira, o volume do fuste estimado por:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1,3}^2 \cdot h \cdot \lambda_{1,3} \quad (10)$$

poderá ser simplificado para:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_q^2 \cdot h \quad (11)$$

Onde:

V = volume total do fuste (m^3)

d_q^2 = diâmetro quadrático médio (m)

h = altura total do fuste (m)

KO²⁹, analisando amplamente o relacionamento entre o diâmetro quadrático médio e outros diâmetros relativos, concluiu que a melhor correlação entre variáveis é obtido quan-

do o diâmetro quadrático médio (d_q^2), é estimado em função do diâmetro tomado a 1/7 do comprimento total do fuste. Do ponto de vista prático a melhor solução é obter o diâmetro quadrático médio (d_q^2) como uma função do DAP, que PÉLLICO NETTO³⁹ propôs ser ajustado através de uma reta ou parábolas

$$d_q^2 = b_0 + b_1 d$$

ou

$$d_q^2 = b_0 + b_1 d^2$$

$$d_q^2 = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

onde:

d_q^2 = diâmetro quadrático médio (cm)

d = diâmetro à altura do peito (cm)

b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação de regressão, estimados pelo método dos mínimos quadrados.

Para estimar o d_q^2 em função do DAP na *Araucaria angustifolia*, PÉLLICO NETTO³⁹ definiu o melhor modelo como sendo uma parábola na forma:

$$d_q^2 = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

onde os coeficientes correspondentes à equação são:

$$b_0 = 0,2341$$

$$b_1 = -0,4619$$

$$b_2 = 0,6563$$

com um coeficiente de determinação de 0,99 e um erro padrão de estimativa de 0,298.

2.2. RELAÇÃO DO DAP/DIÂMETRO DE COPA NA *Araucaria angustifolia*

VOLKART⁵³ realizou pesquisas em povoamentos naturais de pinheiro brasileiro, na província de Misiones, com a finalidade de determinar a relação \overline{DC}/DAP . A relação encontrada por este pesquisador corresponde a uma linha reta com pequeno desvio nas classes menores de \overline{DC} e DAP, sem que isto comprometa a relação linear.

SILVA⁴⁷ também pesquisou em condições de campo a relação \overline{DC}/DAP e definiu esta como sendo uma relação hiperbólica, concluindo que os pinheiros deverão desenvolver grandes diâmetros para que possam suportar copas maiores. A equação que estima o \overline{DC} em função do DAP foi definida como sendo:

$$\overline{DC} = \frac{d}{2,2443 + 0,0476 \times d}$$

Onde:

\overline{DC} = diâmetro da copa (m)

d = diâmetro à altura do peito (cm)

2.3. ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA POR FOTOGRAFIAS AÉREAS

Com relação aos métodos de estimativa volumétrica do potencial madeireiro de uma determinada área florestal através de interpretação de fotografias aéreas, GRINGRICH & MEYER²¹ indicam dois caminhos distintos:

- 1) Medição de parâmetros que possam conduzir a uma estimativa do volume de árvores individuais;
- 2) Determinação do volume de povoamentos com características definidas tal como densidade e número de árvores por unidade de área.

HUSCH et al²⁴ acrescentam um terceiro método em que o volume do povoamento é estimado pela comparação ocular através de fotografias de povoamentos conhecidos.

Como neste trabalho procura-se obter a estimativa do volume de árvores individuais, a partir da interpretação de fotografias aéreas, as seções 2.4 e 2.5 seguintes, fazem referências somente ao primeiro método.

2.4. ESTIMATIVAS VOLUMÉTRICAS DE ÁRVORES INDIVIDUAIS NO CAMPO E EM FOTOGRAFIAS AÉREAS

Segundo GOMES²⁰, a cubagem de árvores isoladas pelo método da tabela de volume é justificada pela necessidade de estimar o volume dos povoamentos. Esta tabela expressa o volume de uma árvore como sendo função de determinadas características, geralmente do DAP e da altura. LOETSCH & HALLER³¹ também afirmam que nos inventários florestais de uma determinada área, a estimativa do volume de campo é obtida com a medição de algumas variáveis possíveis de serem relacionadas ao volume, sendo que a altura e o DAP são as mais usadas para estes fins.

Segundo estes pesquisadores, um procedimento semelhante àquele utilizado no campo, pode ser adotado para estimar o

volume de uma árvore através de fotografias aéreas.

SPURR⁵⁰ comenta que, embora a medição direta de árvores ou povoamentos nas fotografias aéreas sejam limitadas à altura, diâmetro de copas e contagem do número de árvores por unidade de área, estas variáveis podem resultar por meios indiretos uma boa estimativa do volume ou do DAP. Segundo este pesquisador, a precisão obtida na estimativa do volume ou DAP depende da exatidão com que se possa efetuar as medições nas fotografias e da correlação que estas tenham com a altura e o diâmetro de copa.

ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹ definem dois métodos para originar equações a partir de variáveis medidas em fotografias aéreas, que irão estimar o volume de árvores individuais.

O primeiro método inclui a determinação do volume de campo por seccionamento das árvores envolvidas, ou pelo uso de dendrômetro de precisão, e sua correlação com a dimensão da copa e da altura.

O segundo método tem sido mais comum e envolve primeiro a estimativa do DAP pela dimensão da copa e da altura e então, determina-se o volume da árvore considerada com auxílio de equações ou tabelas de volume elaboradas para um local ou uma região.

2.4.1. ESTIMATIVA DO VOLUME PELAS VARIÁVEIS MEDIDAS NA FOTOGRAFIA

SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED⁴⁴ afirmam que o volume de árvores individuais é obtido mais precisamente quando estima-

do diretamente através das fotografias aéreas e não por meio da estimativa do DAP. Estes pesquisadores afirmam que as variáveis mais importantes na estimativa do volume individual de uma árvore são aquelas que podem ser medidas diretamente na fotografia e deste grupo fazem parte:

H = altura total da árvore medida na foto;

\overline{DC} = diâmetro da copa;

\overline{AC} = área da copa.

Segundo os referidos autores, um outro grupo de menor importância é constituído de variáveis que expressam a posição de uma árvore em relação à sua vizinha. Deste grupo fazem parte:

P = proporção da área de copa que é recoberta pela projeção vertical da copa de outra árvore;

N_h = número de árvores que vegetam em uma área circular que envolve a árvore em consideração, com raio igual à altura desta árvore;

N_m = número "m" de árvores vizinhas que são menores que a árvore em questão;

A = número de copas de árvores que se encontram dentro de um ângulo maior do que é pré-estabelecido (por exemplo 20°), o qual parte do centro da árvore sob consideração.

SAYN-WITTGENSTEIN & ALDRED⁴⁵, num estudo realizado em floresta mista (coníferas e folhosas), relacionaram dezessete combinações de variáveis, mensuráveis nas fotografias aéreas, destinadas a originar equações de regressão pelo método dos

mínimos quadrados. Pelo processo "STEPWISE" de seleção, os referidos autores apontaram as variáveis seguintes, como as mais promissoras à obtenção do volume e do DAP.

PICEA GLAUCA - H.(log \overline{AC}), H.(\overline{AC}), \overline{AC}

PINUS STROBUS - H.(log \overline{AC})

FOLHOSAS - H.(log \overline{AC}), \overline{AC}

Para estimar o volume, considerando o referido grupo de espécies, o melhor modelo foi definido como sendo:

$$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (H \cdot \sqrt{\overline{AC}}) + b_3 (\overline{AC})$$

Onde:

V = volume estimado da árvore sob consideração (m^3);

H = altura total da árvore medida na foto (m);

\overline{AC} = área da copa (m^2);

b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes de equação.

Num inventário florestal realizado na Nova Escócia, Canadá, BONNOR⁷ construiu equação de volume para *Pinus resinosa* Ait pelo método dos mínimos quadrados, baseando-se no seguinte modelo:

$$V = b_0 + b_1 (H \cdot \sqrt{\overline{AC}}) + b_2 (\sqrt{\overline{AC}})$$

Para estimar o volume de *Populus balsamifera* L. NIELSEN et al³⁵ definiram como modelo de regressão:

$$V = b_0 (H)^{b_1} \cdot (\overline{AC})^{b_2}$$

sendo que os valores dos coeficientes b_0, b_1, b_2 foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, com o modelo transformado:

$$\log V = \log b_0 + b_1 (\log H) + b_2 (\log \overline{AC})$$

Onde:

$\log V$ = logaritmo natural do volume;

$\log H$ = logaritmo natural da altura medida na foto;

$\log \overline{AC}$ = logaritmo natural da área da copa medida na foto;

b_0, b_1 e b_2 = coeficientes da equação estimados pelo método dos mínimos quadrados.

ALDRED & LOWE³, trabalhando com fotografias aéreas na escala 1:1000, desenvolveram equações para estimar o volume individual de *Picea glauca* (Moench) Voss, através da altura e da área da copa. Estes pesquisadores definiram o melhor modelo de equação, que utiliza da variável altura medida na foto, como sendo:

$$V = b_0 (H) + b_1 (H^2)$$

com erro padrão da estimativa de 22%. Este erro foi diminuído para 14,5% após a inclusão da variável área de copa no seguinte modelo de equação de regressão:

$$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\sqrt{\overline{AC}}) + b_3 (H.\sqrt{\overline{AC}})$$

Afirmam ainda que a redução do erro padrão da estimativa, com a inclusão da variável área de copa no modelo de

equação de regressão, nem sempre é desejado, tendo em vista o tempo adicional requerido na medição da variável área de copa.

2.4.2. ESTIMATIVA DO DIÂMETRO DO FUSTE PELA DIMENSÃO FOTOGRÁFICA DA ÁRVORE

O diâmetro do fuste, particularmente o DAP, fazem parte da maioria dos levantamentos de campo e são altamente descritivos dos volumes de árvores, sendo geralmente usados como variáveis básicas nas tabelas de volumes convencionais, (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹, DILWORTH¹², GOMES²⁰).

Segundo SPIEKER⁴⁹, numerosos ensaios sobre a relação do diâmetro do fuste e diâmetro de copa mostram que existe uma alta correlação entre esses diâmetros, relação esta que mostra-se linear na maioria dos casos.

Nos casos em que se utilizam fotografias aéreas em escala grande, o diâmetro do fuste poderá ser observado diretamente nestas. Porém, como o fuste geralmente está obscurecido por galhos ou troncos de outras árvores, mesmo nas fotografias oblíquas, a sua medição direta torna-se impraticável, (ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹).

Para solucionar este impasse, vários pesquisadores tem estimado o DAP fazendo uso da relação existente entre esta variável e o diâmetro de copa, SPURR⁵¹. Segundo este pesquisador, em muitos casos esta relação é ligeiramente sigmóide, porém, aproximando-se bastante a uma reta.

Examinando seis tipos de relações definidas em trabalhos anteriores, DAWKINS¹¹ concluiu que a interpretação mais

prática da relação entre o DAP e o diâmetro de copa para espécies tropicais ou temperadas, com exceção das árvores muito grandes ou muito pequenas, é a linha reta.

Para folhosas, FERREE¹⁶ estabeleceu como linear a relação existente entre o DAP e o diâmetro de copa.

Na construção de tabela de volume composta (coníferas e folhosas), AVERY⁵ também estimou o DAP como uma relação linear do diâmetro da copa. Este pesquisador baseou-se na premissa de que as árvores sob consideração tendiam a ocupar áreas aproximadamente iguais ao quadrado do seu diâmetro médio.

Segundo ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹ o uso da equação da reta para representar a relação diâmetro de copa com o DAP não é recomendável. Estes pesquisadores afirmam que esta equação só será precisa sob determinadas condições, como dentro de estreita classe de altura, árvores jovens ou com crescimento livre de competição.

Assim, para estimar o diâmetro de *Picea* spp, definiram como melhor equação:

$$\text{DAP} = b_0 + b_1 (H) + b_2 (H \cdot \sqrt{AC}) + b_3 (\sqrt{AC})$$

BONNOR⁸ sugere que a inclusão da altura como variável independente, numa equação de regressão é viável e melhora a estimativa do DAP. Ao construir a tabela de volume para *Pinus resinosa* Ait, este pesquisador concluiu que a inclusão da altura e da variável combinada "altura x diâmetro de copa" melhora o ajuste da equação aos dados, com diminuição do erro padrão da estimativa.

Para obter o volume de árvores individuais do pinheiro brasileiro por fotografias aéreas, OLIVEIRA³⁸ estimou o DAP pela altura e diâmetro de copa e estimou o volume utilizando de uma tabela de volume regional já existente. Segundo esta pesquisadora, não há conveniência em estimar o DAP somente pela altura ou pelo diâmetro de copa. Para o estudo sob consideração, o melhor modelo para estimar o DAP foi definido como:

$$\text{DAP} = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$$

com um coeficiente de determinação de 0,774 e um erro padrão da estimativa com 14,22%.

ALDRED & KIPPEN² estimaram o DAP através da altura e área da copa e posteriormente utilizaram uma tabela de volume construída anteriormente para estimar o volume. Estes pesquisadores concluíram que o volume por parcela foi subestimado e isto foi atribuído à subestimativa do DAP, já que a outra variável envolvida, a altura, foi medida com erros considerados nulos.

Porém, nem sempre o diâmetro da copa e o DAP são correlacionados. HOLLEWOGGER²³, realizando pesquisas em povoamentos maduros de TECA (*Tectona sp*), em condições de campo e através de fotografias aéreas, concluiu que não há correlação direta entre estas variáveis. Este pesquisador sugeriu que isto se deve ao fato de que TECA atinge seu diâmetro de copa máximo numa idade em que o DAP ainda está em crescimento, podendo inclusive a copa tornar-se menor à medida em que a árvore envelhece.

2.5. MEDIÇÃO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS EM FOTOGRAFIAS AÉREAS

A estimativa do volume ou DAP através de fotografias aéreas depende da correlação entre estas variáveis e as dimensões fotográficas da árvore sob consideração. Desta forma, as dimensões da altura e copa assumem um papel importante nos levantamentos por fotografias aéreas.

2.5.1. ALTURA

A altura de uma árvore é definida como a distância vertical que vai da base ao topo da mesma.

Segundo SPURR⁵⁰, a altura de uma árvore pode ser medida em fotografias aéreas e tem um importante papel na estimativa do volume, estratificação e classificação de sítios.

Basicamente, existem três métodos para realizar tal medição (LOETSCH & HALLER³¹):

- 1) Medições do comprimento da sombra das árvores.
- 2) Estimativa ocular da altura da árvore em um estereopar ou em uma única fotografia.
- 3) Medição da diferença de paralaxe em um par de fotografias aéreas vistas sob estereoscópio.

Raramente o método de medir o comprimento da sombra para estimar a altura da árvore é adotado na prática, (LOETSCH & HALLER³¹).

Segundo SPURR⁵¹, a estimativa da altura da árvore pelo método da sombra tem sido extensivamente usado em vários países, porém, são sujeitos a erros introduzidos pela incli-

nação do terreno, má visibilidade da base da árvore, pela existência de arbustos e pelo fato de somente as árvores que crescem próximas à clareira possam ser medidas. Assim, o referido autor acredita ser o método pouco promissor em florestas tropicais.

NYSSÖNEN³⁶ constatou que, sob determinadas condições, a estimativa da altura pela medição da sombra é igual àquela feita pela barra de paralaxe, acrescentando que a cunha de paralaxe é mais difícil de ser usada, porque requer maior experiência do fotointérprete.

De acordo com SPURR⁵¹, a precisão na determinação da altura pela estimativa ocular depende da habilidade do fotointérprete, do seu conhecimento da área e da inclinação do terreno. Porém, com o aumento da prática, pode-se medir com precisão as árvores facilmente visíveis nas fotografias e estimar ocularmente as suas vizinhas.

A estimativa ocular da altura tem grande importância, quando a base da árvore torna-se difícil ou impossível de ser determinada. Ocasionalmente, o fotointérprete pode verificar seu erro na estimativa, medindo algumas árvores e utilizar de divisões em classes, como 2, 3 ou 5 metros, para estimar a altura das restantes (LOETSCH & HALLER³¹).

Trabalhando com fotografias aéreas na escala 1:40000, HEINSDIJK²² utilizou da estimativa ocular para determinar a altura de árvores na floresta amazônica. O uso desta metodologia foi justificado pela impossibilidade de visualização das bases das árvores, sendo então classificadas em menores de 25 m (baixas) e maiores de 25 m (altas).

Com finalidade de estimar o volume de bosques secundários nos trópicos, IZQUIERDO²⁶ utilizou nas unidades amostrais selecionadas, do método de medição de paralaxe para determinar a altura de algumas árvores, e estimou ocularmente suas vizinhas.

Basicamente, o método de medição pela paralaxe consiste em tomar a altura aparente da árvore como ela aparece na imagem estereoscópica.

LEE³⁰, medindo altura de árvores por diferentes métodos, encontrou erros menores com medições da diferença de paralaxe. Este método é tido como o mais preciso, sendo o mais aceitável na medição da altura de árvores individuais, (SPURR⁵⁰, LOETSCH & HALLER³¹, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹).

2.5.2. LARGURA DE COPA

Segundo ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹, as variáveis relacionadas à extensão da copa variam entre autores. Assim, há necessidade de definir exatamente estas variáveis:

- a) largura total da copa - realiza-se uma medição da largura da copa na direção do eixo maior e outra em ângulo reto a ela (BONNOR⁸);
- b) largura da copa efetiva - são realizadas duas medições em ângulo reto, em que os galhos mais salientes e os recortes de copas são menosprezados, (BONNOR⁸);
- c) diâmetro de copa - as medidas são tomadas em ângulos retos, em relação a uma linha traçada desde o

ponto principal até o centro da copa da árvore sob consideração (KIPPEN & SAYN-WITTGENSTEIN²⁸).

Os instrumentos para medir a largura de copas citadas por LOETSCH & HALLER³¹ são:

- cunha micrométrica
- escala para diâmetro de copa.

OLIVEIRA³⁸ utilizou a barra de paralaxe como um terceiro instrumento de medição do diâmetro de copa.

Segundo SPURR⁵¹, as dimensões da copa, obtidos em fotografias aéreas, não são comparáveis com medições similares tomadas no campo. Este pesquisador considera que apenas parte de uma árvore visível será medida, não o sendo os galhos ocultos pelo recobrimento por outras árvores.

Segundo ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹, a diferença existente entre medidas das dimensões das copas, nas fotografias aéreas e no campo, não traz sérias conseqüências ao desenvolvimento de trabalhos que se utilizam destas variáveis.

NAKAYAMA³⁴, trabalhando com fotografias aéreas na escala 1:10000, comparou diâmetros de copa medidos no campo com diâmetros medidos em fotografias aéreas. Este pesquisador encontrou nestas medições diferenças de 0 a 3 metros para *Criptomeria japonica* e de 0 a 2,1 metros para *Chamaesiparis obtusa*.

ROGERS et al⁴², comparando três escalas fotográficas, encontrou diferença entre os diâmetros de copa medidos em fotografias aéreas e medidos no campo. As dimensões médias das copas tomadas nas fotografias apresentaram resultados menores do que aquelas tomadas no campo, com 1,02; 0,91 e 0,16 metros, respectivamente nas escalas 1:1000; 1:5000; 1:15840.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para o presente trabalho foram coletados em povoamento natural pouco denso de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., numa área aproximada de 660 hectares, situada aproximadamente a 10 km da sede do município de Campo Largo, na coordenada de 25°30' de latitude Sul e 49°30' de longitude Oeste de GREENWICH.

Segundo a classificação climática de KÖPPEN, de acordo com MAACK³², IAPAR²⁵, a referida região apresenta um clima Cfb, caracterizado como Subtropical Úmido Mesotérmico com verões frescos e geadas severas bastante frequentes, sem estação seca.

Os elementos climatológicos da região, segundo IAPAR²⁵, são demonstrados no QUADRO 01.

QUADRO 01 - Elementos Climatológicos para Região de Campo Largo.

Precipitação Média Anual	1400 - 1500 mm
Temperatura Média Anual	16°C - 17°C
Temperatura do Mês mais Quente (fevereiro)	20°C - 21°C
Temperatura do Mês mais Frio (julho)	12°C - 13°C
Umidade Relativa do Ar	80 - 85%

Segundo OLIVEIRA³⁷, a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. é uma espécie que ocorre em diferentes tipos de solos, mas de modo geral os solos dominantes da região de ocorrência natural da espécie são principalmente argilosos e sil-
ticos. Os exemplares de Pinheiro do Paraná, utilizados nesta pesquisa, vegetam segundo MURATORI³³, EMBRAPA¹⁴ numa região que apresenta um horizonte argiloso de caráter ligeiramente laterítico.

3.2. CARACTERÍSTICAS DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Neste trabalho foram utilizadas fotografias aéreas verticais pancromáticas, em preto e branco, tomadas com uma câmara ZEISS RMK-A 15/23 com distância focal calibrada de 153,88 mm, a uma altura média de vôo correspondente a 612 metros acima do nível do solo local.

A escala aproximada é de 1:4000 com recobrimento (overlap) longitudinal de 60%, sem recobrimento lateral. As fotografias, cedidas pela ESTEIO ENG. AEROLEVANTAMENTO S.A., foram tomadas em outubro de 1978 com a finalidade de realizar estudos da construção da rodovia BR-277, quilômetro 27, no município de Campo Largo. Utilizou-se destas imagens objetivando diminuir os erros de mensuração das dimensões das árvores, erro este que, segundo SPURR⁵¹, aumenta com a diminuição da escala fotográfica.

3.3. PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Dentro do processo de amostragem SIQUEIRA⁴⁸ afirma

que uma árvore pode ser caracterizada como uma amostra quando utilizada para o estudo de equações de volume.

Com a intenção de dar um caráter de independência na escolha da árvore amostrada e proporcionar a cada uma delas a mesma probabilidade de ser escolhida, foi utilizado neste trabalho, o processo de amostragem inteiramente aleatório.

3.4. NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS

Para o estudo com tabela de volume, AVERY⁴ considera que é suficiente a medição no campo de 50 a 100 alturas totais ou comerciais, atendendo a todos os intervalos de classe de DAP.

DILWORT¹² considera que são necessárias de 75 a 100 árvores para se obter uma boa estimativa do volume.

Como o número de unidades amostrais depende do objetivo proposto, levando em consideração sempre a homogeneidade da população amostrada, o número de árvores amostrais foi calculado em função do objetivo e da precisão do trabalho. Por se trabalhar com variáveis biológicas, portanto sujeito a modificações ambientais, foi estipulado nesta pesquisa um limite de erro de 10% a um nível de probabilidade de 95% de confiança.

Para o cálculo do número de árvores foi utilizada a fórmula da amostragem aleatória, aplicada a 50 árvores num levantamento preliminar:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{E^2}$$

Onde:

n = estimativa do número de árvores

s^2 = estimativa da variância dos dados preliminares
(volume total em m^3)

E = erro ($LE\% \cdot \bar{X}$)

t = valor de "t" a 95% de probabilidade com $(n-1)$
graus de liberdade

$LE\%$ = limite de erro em percentagem

\bar{X} = volume médio em m^3

Assim, pelo cálculo da estimativa do número de árvores, observou-se que 79 árvores seriam suficientes para se obter equações que estimassem o volume, construídas pelo método dos mínimos quadrados. Entretanto, visando o aumento da confiabilidade nas equações a serem geradas, foram coletadas mais 74 árvores que, somadas às 50 anteriores, totalizaram 124 árvores, cobrindo todas as classes de diâmetro de copa e altura.

o QUADRO 02 mostra a distribuição das árvores amostradas por classes de diâmetro de copa, com intervalo de classe para estas variáveis fixado em 1 metro.

3.5. COLETA DE DADOS

Nesta pesquisa foram tomadas informações de 124 árvores, partindo-se de um diâmetro de copa mínimo de 3,7 metros. Este diâmetro foi estimado pela formulação de SILVA⁴⁷, apresentando na seção 2.2., considerando como economicamente viável de exploração um DAP mínimo de 10 cm.

QUADRO 02 - Distribuição das Árvores Amostrais por Classes de Diâmetro de Copa e Altura

DC (m) \ H (m)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	SOM
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	1	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8
6	1	2	0	1	3	5	4	3	0	0	0	0	0	19
7	0	1	2	2	3	5	1	1	2	1	0	0	1	19
8	0	0	0	1	1	5	2	2	1	2	0	0	0	14
9	0	0	0	1	3	4	2	3	1	2	0	0	0	16
10	0	0	0	0	3	3	0	2	4	2	2	0	0	16
11	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	4
12	0	0	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	6
13	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	1	1	1	10
14	0	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	0	1	8
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
16	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
SOM	1	4	7	6	16	25	14	17	12	11	6	2	3	124

$$DC = \frac{10}{2,2443 + 0,0476 \cdot 10} = 3,7 \text{ (m)}$$

A coleta de dados para a determinação do volume real e o diâmetro quadrático médio de cada árvore, foi feita visando atender a todas as classes de diâmetros de copa e alturas, necessárias à obtenção de uma boa estimativa àqueles parâmetros, através de equações obtidas pelo método de mínimos quadrados.

3.6. VARIÁVEIS MEDIDAS NO CAMPO

Cada árvore em estudo, após ter sido reconhecida na fotografia e localizada no campo, teve medida a sua altura total e a sua circunferência relativa à altura total, pelo procedimento a seguir.

3.6.1. ALTURA TOTAL

A altura total foi medida após o escalador ter subido até o ápice da árvore. O instrumento de medição utilizado foi uma trena e uma vara graduada em metros, necessária quando o adelgamento do tronco ou uma densa folhagem impossibilitava o escalador de ter acesso ao ápice.

3.6.2. CIRCUNFERÊNCIA RELATIVA À ALTURA TOTAL

As medições das circunferências relativas à altura total foram efetuadas após a determinação da altura total da

árvore em consideração. As circunferências foram tomadas a 9/10, 7/10, 5/10, 3/10 e 1/10 da altura total e posteriormente transformadas em diâmetros, necessários ao cálculo do diâmetro quadrático médio. A trena foi utilizada como instrumento na obtenção desta variável.

3.7. VARIÁVEIS CALCULADAS

A partir do conhecimento da altura e dos diâmetros relativos a esta variável, foram calculados o diâmetro quadrático médio e posteriormente o volume para cada árvore em consideração.

3.7.1. CÁLCULO DO DIÂMETRO QUADRÁTICO MÉDIO

Para o cálculo do diâmetro quadrático médio, foi utilizada a fórmula 7, apresentada na seção 2.1, onde cada árvore teve seu fuste dividido em cinco seções de igual comprimento, sendo o diâmetro quadrático médio calculado como:

$$d_q^2 = \frac{d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2}{5}$$

Onde:

d_q^2 = diâmetro quadrático médio

$d_{0,1} \dots d_{0,9}$ = diâmetros do fuste tomados a 9/10, 7/10, 5/10, 3/10 e 1/10 da altura total.

3.7.2. CÁLCULO DO VOLUME REAL

No cálculo do volume real foi utilizada a fórmula de HOHENADL, onde cada árvore teve seu fuste dividido em 5 (cinco) seções de comprimento igual relativo. Assim, o volume foi calculado por:

$$V = 0,2 \cdot \frac{\pi}{4} (d_{0,1}^2 + d_{0,3}^2 + d_{0,5}^2 + d_{0,7}^2 + d_{0,9}^2) \cdot L$$

Onde:

V = volume total do fuste (m³)

$d_{0,1} \dots d_{0,9}$ = diâmetros relativos ao comprimento total do fuste (m)

L = comprimento total do fuste (m)

3.8. VARIÁVEIS MEDIDAS NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

No presente trabalho, as variáveis medidas nas fotografias aéreas foram altura total e diâmetro de copa.

A escolha destas duas variáveis fotogramétricas para participarem das equações destinadas a estimar o volume e o diâmetro quadrático médio, baseou-se na revisão da literatura existente sobre o assunto.

Em se tratando da altura total medida na fotografia, ALDRED & SAYN-WITTGENSTEIN¹ afirmam que esta é uma das variáveis mais importantes na estimativa do volume individual de uma árvore. Para estimar o DAP, através da dimensão fotográfica da árvore, BONNOR⁶ sugere que a altura deva ser incluí-

da como variável na equação de regressão, obtida pelo método dos mínimos quadrados.

Como este trabalho se propõe a construir e testar equações para estimar o volume e o diâmetro quadrático médio, usou-se da altura total para obter as referidas equações.

A variável diâmetro de copa tem sido bastante utilizada para estimar o DAP, porém, para estimar o volume de árvores individuais por fotografias aéreas em escala grande, a dimensão da copa mais utilizada é a sua área. Entretanto, como o diâmetro de copa é equivalente a $(AC/0,7854)^{1/2}$, neste trabalho optou-se pela medição da primeira variável devido à simplicidade na sua obtenção.

As medições das variáveis fotogramétricas, altura total e diâmetro de copa, foram efetuadas conforme os procedimentos descritos nas seções 3.8.1. e 3.8.2., apresentadas a seguir.

3.8.1. MEDIÇÃO DA ALTURA TOTAL

O método de medição pela diferença de paralaxe em um par estereoscópico tem sido utilizado para se obter a altura total da árvore. RICCI⁴¹ menciona vários instrumentos destinados a medir altura de um objeto pela diferença de paralaxe, sendo que a "barra de paralaxe" foi utilizada neste trabalho por ser o instrumento de medição mais conhecido na determinação da altura total fotográfica de uma árvore em consideração. Assim, os instrumentos utilizados nesta operação foram o

estereoscópio de espelho marca WILD, modelo ST-4 e a respectiva barra de paralaxe do equipamento.

Após a determinação dos pontos principais e pontos principais conjugados, as fotografias foram orientadas segundo a linha de vôo e em seguida determinada a paralaxe absoluta, (paralaxe do ponto principal de uma aerofoto vertical) definida como sendo a distância entre o ponto principal conjugado e o ponto principal da aerofoto adjacente e a paralaxe relativa de cada árvore, que é a diferença entre as leituras da barra de paralaxe, correspondente ao topo e à base da árvore.

Com a finalidade de diminuir o erro da determinação da altura total foram efetuadas 5 (cinco) medições da paralaxe em cada árvore e a altura total foi calculada pela fórmula:

$$h = \frac{H \cdot dp}{p + dp}$$

Onde:

h = altura total da árvore, tomada na fotografia (m)

H = altura de vôo (m)

p = paralaxe absoluta

dp = paralaxe relativa

3.8.2. MEDIÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA

Na obtenção do diâmetro de copa, as medidas foram tomadas em ângulos retos em relação a uma linha traçada desde

o ponto principal (P.P.), da fotografia em estudo, até o centro da árvore sob consideração, segundo a metodologia proposta por KIPPEN & SAYN-WITTGENSTEIN²⁸.

Neste trabalho, o diâmetro de copa correspondente a cada árvore em estudo foi medido em uma única fotografia. A fim de se evitar uma falsa visualização das dimensões das copas, devido à ausência de estereoscopia, procurou-se medir as árvores que se apresentaram mais próximas do ponto principal (centro da foto). Para efetuar estas medições, com maior facilidade, as fotografias foram colocadas sobre uma mesa de luz realçando a copa das árvores a serem medidas.

O instrumento utilizado na medição desta variável foi uma monocular com ampliação de três vezes, graduada em décimos de milímetro. Considerando que a escala fotográfica é de 1:4000, cada unidade de medida do instrumento corresponde a 0,4 metros de diâmetro de copa.

3.9. SELEÇÃO DE EQUAÇÕES DESTINADAS A ESTIMAR O VOLUME E O DIÂMETRO QUADRÁTICO MÉDIO

No presente trabalho as equações de regressão apresentadas a seguir, na seção 4.4., foram obtidas através do método dos mínimos quadrados que, segundo SPURR⁵⁰, podem expressar, de uma forma linear, a relação existente entre variáveis da árvore (ex.: diâmetro, altura, forma) e seu volume.

Segundo FREESE¹⁷, o mérito destas equações aumenta consideravelmente se possuírem poucas variáveis e se estas forem fáceis de serem medidas. Considerando-se esta proposição e verificando-se as equações apresentadas na seção 2.4.1., que se

mostram com um máximo de 3 variáveis independentes (X_1), estudou-se modelos em cuja estrutura não tivesse mais que três destas variáveis.

Na seleção de uma melhor equação para estimar o volume e outra para estimar o diâmetro quadrático médio, o seguinte procedimento básico foi utilizado:

- Foram plotados, num eixo de coordenadas cartesianas, as relações volume pela altura (V/H), volume pelo diâmetro de copa (V/\overline{DC}), diâmetro quadrático médio pela altura (dq/H) e diâmetro quadrático médio pelo diâmetro de copa (dq/\overline{DC}). Estas relações, mostradas nas FIGURAS 02, 03, 04 e 05 (seção 4.2), permitiram a análise da tendência dos dados.

Após o estudo da tendência dos dados, foi analisada a correlação linear simples entre as variáveis independentes e a variável de resposta, conforme os resultados apresentados no QUADRO 05 da seção 4.3.

A partir da análise do grau de associação linear entre as referidas variáveis, através do coeficiente de correlação linear simples, foram compostos os modelos de equação apresentados nos QUADROS 06 e 07 da seção 4.4. Nestas equações foram estimados os coeficientes de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e o valor de F. Desta forma, baseando-se no maior coeficiente de determinação (R^2) e no menor erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$), foi selecionada uma equação para estimar o volume e outra para estimar o diâmetro quadrático médio.

Esta fase do trabalho foi executada com auxílio da calculadora HP 9830 A, do Departamento de Silvicultura e Manejo

do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Para fins de computação, as variáveis utilizadas nos modelos de regressão foram definidos e numerados conforme o QUADRO 03, apresentado a seguir.

QUADRO 03 - Relação das Variáveis Utilizadas nos Modelos de Equação de Regressão

VARIÁVEL	NOME DA VARIÁVEL
01	V (volume)
02	$\log V$
03	d_q (diâmetro quadrático médio)
04	$\log d_q$
05	H (altura)
06	$\log H$
07	H^2
08	\sqrt{H}
09	\overline{DC} (diâmetro de copa)
10	$\log \overline{DC}$
11	\overline{DC}^2
12	$\sqrt{\overline{DC}}$
13	$H \cdot \overline{DC}$
14	$H \cdot \overline{DC}^2$
15	$H \cdot \sqrt{\overline{DC}}$
16	$\log (H \cdot \overline{DC})$
17	$\log (H \cdot \overline{DC}^2)$

Para complementar o estudo da equação proposta para estimar o diâmetro quadrático médio, foi realizada a análise da tendenciosidade do modelo através do estudo dos sinais dos resíduos. Esta técnica se baseia na "ordem" ou "seqüência" em que os escores individuais foram obtidos originalmente. A iteração foi definida como uma sucessão de símbolos idênticos que apareceram seguidos e precedidos por símbolos diferentes (+ ou -). Esta metodologia é demonstrada mais detalhadamente por DRAPER & SMITH¹³, SIEGEL⁴⁶ e STEEL & TORRIE⁵², sendo que o procedimento utilizado obedeceu às seguintes condições estatísticas:

- Hipótese da nulidade:

H_0 : a ordem dos sinais dos resíduos (+ ou -) obtidos pela equação em estudo é aleatória.

H_1 : a ordem dos sinais dos resíduos (+ ou -) obtida pela equação em estudo não é aleatória.

- Prova estatística:

Utilizou-se a prova de iterações de uma amostra porque a hipótese diz respeito à aleatoriedade de um único grupo de eventos.

- Nível de significância:

Seja $\alpha = 0,05$. $N = 124$ (número de árvores observadas). Os valores de n_1 e n_2 foram determinados somente após a obtenção dos sinais dos resíduos.

- Distribuição amostral:

Para grandes amostras, os valores de Z tem distribuição aproximadamente normal, sendo calculado pela fórmula:

$$Z = \frac{U + \mu + (1/2)}{\delta}$$

Sendo:

U = média da distribuição discreta de U

μ = mudanças dos sinais dos resíduos ao longo da linha de regressão.

δ = desvio padrão da distribuição discreta de U

calculado por:

$$\text{média} = U = \frac{2 n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}$$

$$\text{variância} = \delta^2 = \frac{2 n_1 n_2 (2n_1 n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 \cdot (n_1 + n_2 - 1)}$$

Onde:

n_1 = número de resíduos que ocorreram com sinal (+)

n_2 = número de resíduos que ocorreram com sinal (-)

- Região de rejeição:

Como H_1 não prediz o sentido do desvio em relação à aleatoriedade, considerou-se uma região de rejeição bilateral, que consiste de todos os valores de Z, tão extremos que a probabilidade de sua ocorrência, sob H_0 , não seja superior a $\alpha = 0,05$.

Sendo selecionada a equação para estimar o diâmetro quadrático médio, o volume pode ser calculado pela expressão:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_q^2 \cdot H$$

Onde:

V = volume da árvore em consideração (m^3)

$\frac{\pi}{4}$ = constante

d_q^2 = estimativa obtida em função da altura e do diâmetro da copa da árvore, medidos na fotografia (m)

H = altura total da árvore, medida na fotografia (m)

e os seus resíduos foram então comparados, através de gráficos, com aqueles produzidos pelo volume obtido de maneira convencional, ou seja, como uma função direta da altura e do diâmetro de copa. Estas Figuras poderão ser vistas na seção 4.4.2.

Os resíduos foram definidos como sendo as "n" diferenças $l_i = Y_i - \hat{Y}_i$, com $i = 1, 2, \dots, n$, onde Y_i é uma observação real e \hat{Y}_i é o valor estimado, correspondente a essa observação, obtida pela equação de regressão. Maiores detalhes deste procedimento poderão ser vistos em DRAPER & SMITH¹³ e F.A.O.¹⁵.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MEDIÇÃO NAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Como este trabalho foi realizado em povoamento pouco denso de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze., não houve dificuldade em se localizar no campo as mesmas árvores que se apresentaram visíveis nas fotografias aéreas. Desta forma, devido à baixa densidade de povoamento florestal em estudo e à escala fotográfica utilizada, tornou-se possível a medição das alturas e diâmetros de copas com bastante facilidade.

As árvores selecionadas e identificadas nas fotografias tiveram suas alturas medidas com barra de paralaxe, conforme o procedimento mencionado no item 3.8.1., sendo que a tendência dos erros de medição foi de superestimativa, atribuída à má visibilidade do ápice das copas das árvores.

O erro sistemático, calculado como sendo a diferença entre a altura média atual e a altura média na foto foi de 0,17 metros, com a variação ocorrendo de -1,8 a 2,3 metros. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por JOHNSON²⁷ que analisou o efeito da escala sobre a precisão, na medição de árvores individuais e obteve uma variação ocorrendo de -0,9 a 1,8 metros, com um erro sistemático de 0,12 metros.

O resultado da avaliação dendrométrica da altura é apresentada no QUADRO 04.

QUADRO 04 - Características Dendrométricas da Variável Altura

DIMENSÕES	VARIÁVEIS	ALTURA MEDIDA NO CAMPO	ALTURA MEDIDA NA FOTOGRAFIA
Mínima		8,5	7,9
Média		13,29	13,46
Máxima		19,50	20,00
Desvio padrão		2,45	2,59
Coeficiente de variação		18,47	19,29

4.2. TENDÊNCIA DOS DADOS

O estudo da tendência consistiu em verificar a distribuição dos pontos que representam a relação "variável dependente pela variável independente", num eixo de coordenadas cartesianas e, desta forma, definir combinações e transformações de variáveis independentes que constituíram os modelos de equação de regressão. Estas variáveis podem ser vistas no QUADRO 05 da seção 4.3.

A distribuição dos pontos que representam as relações V/H , V/\overline{DC} , d_q/H e d_q/\overline{DC} , em um eixo de coordenadas cartesianas é mostrada, respectivamente, nas FIGURAS 02,03,04 e 05, apresentadas a seguir.

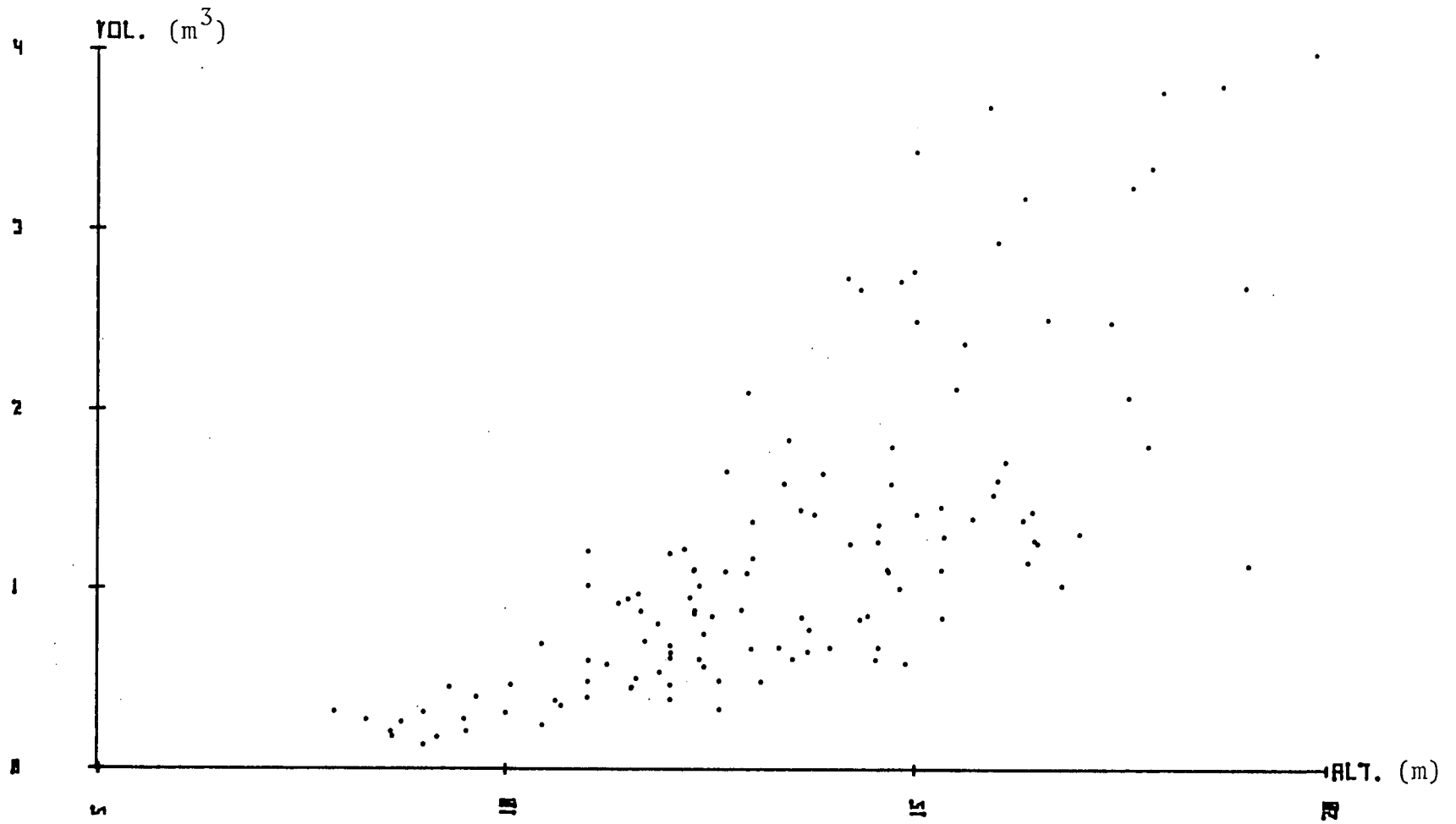


FIGURA 02: Relação existente entre o volume e a altura.

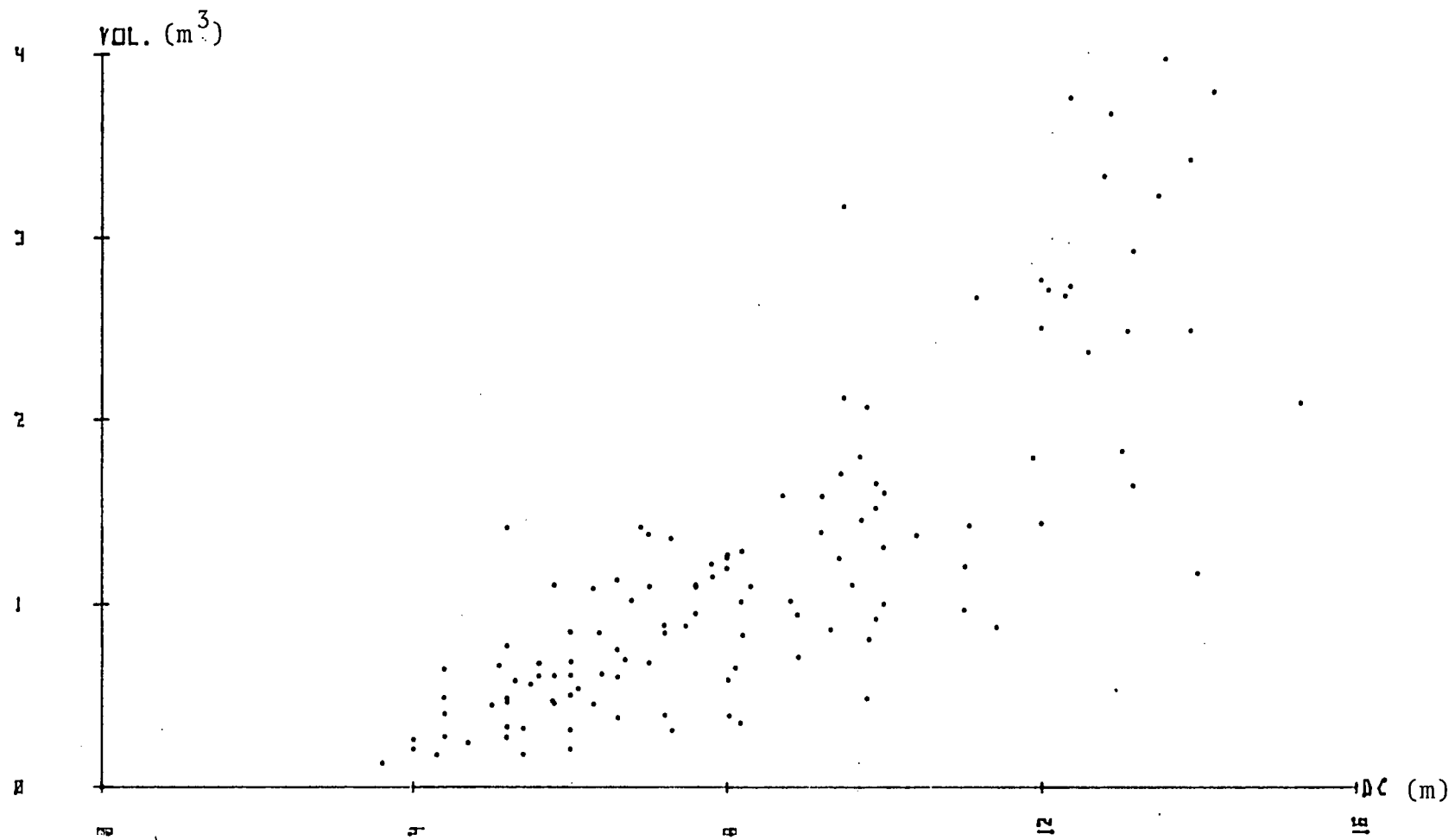


FIGURA 03: Relação existente entre o volume e o diâmetro de copa.

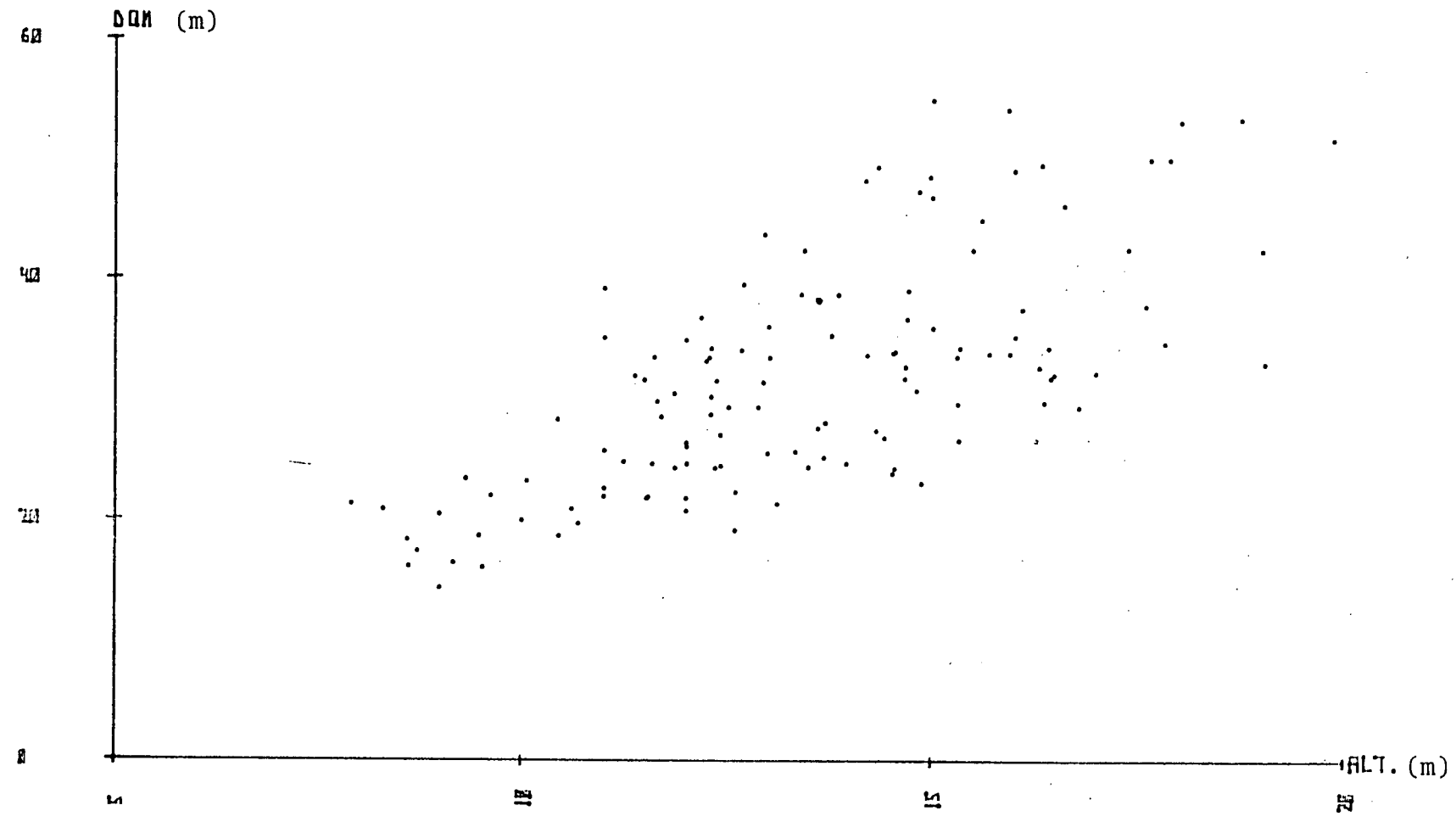


FIGURA 04: Relação existente entre o diâmetro quadrático médio e a altura.

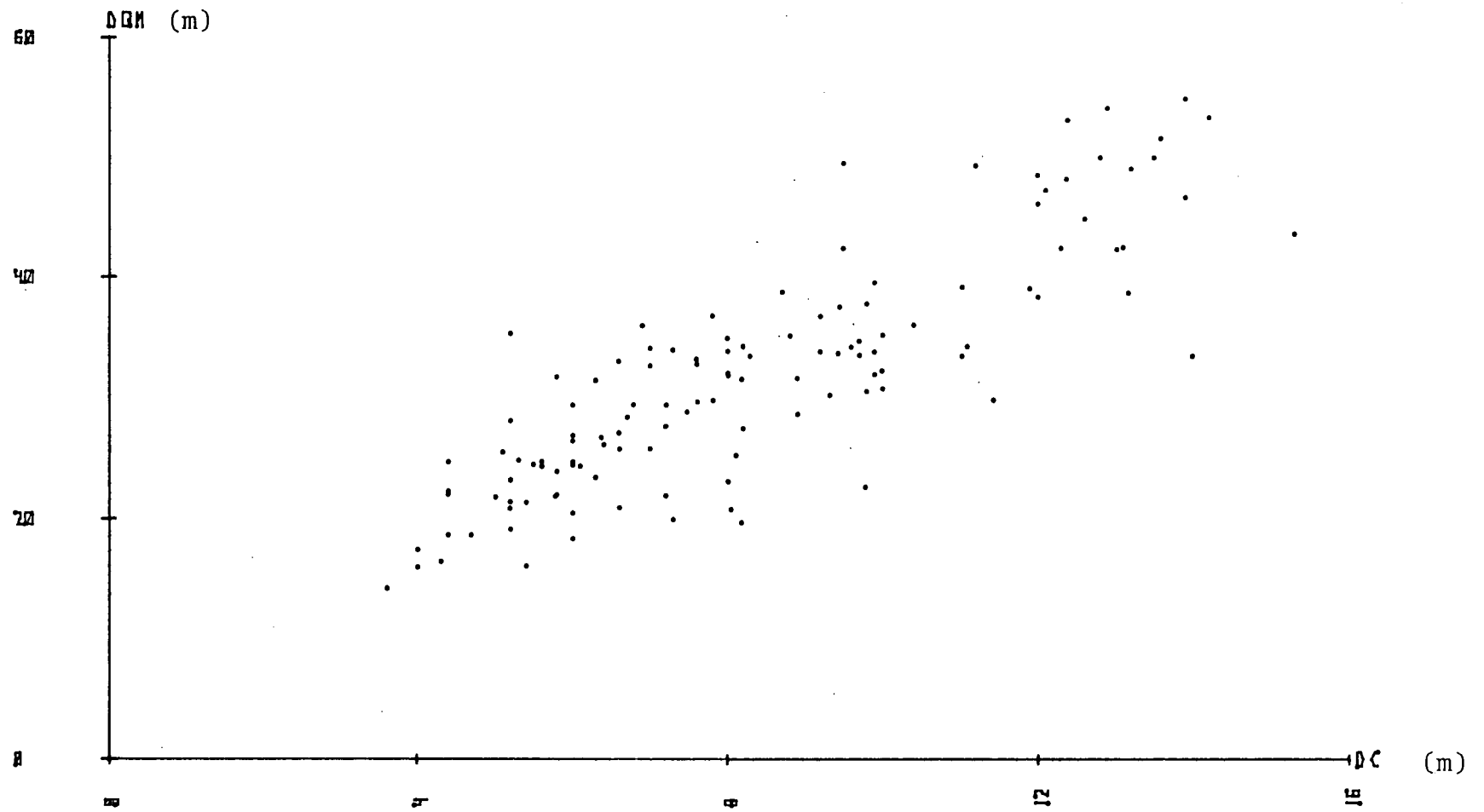


FIGURA 05: Relação existente entre o diâmetro quadrático médio e o diâmetro de copa.

Observou-se, na relação V/H e V/\overline{DC} , figuras 02 e 03 respectivamente, que as variáveis em apreço distribuíem-se com uma forma parabólica, com grande concentração nas classes de altura menores e pequena concentração nas classes maiores em decorrência da fraca associação entre as variáveis. Isto se deve ao fato de que a altura e o diâmetro de copa atingem seu crescimento máximo, quando o volume da árvore ainda está sendo incrementado.

Analisando as FIGURAS 04 e 05 observou-se que os pontos que representam a relação dq/H e dq/\overline{DC} possuem uma associação mais forte que aqueles para o volume, apresentando uma tendência que pode ser interpretada como sendo uma linha reta.

4.3. CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

Através da análise da tendência dos dados, foi possível realizar diversas combinações e transformações das variáveis em estudo, visando obter uma maior associação linear entre estas. O estudo do grau de associação linear entre variáveis foi elaborado com base nos coeficientes de correlação linear simples, sendo que os resultados obtidos são apresentados no QUADRO 05, a seguir.

QUADRO 05 - Coeficiente de Correlação Linear Simples entre as Variáveis Estudadas

VARIÁVEIS DEPENDENTES	VOLUME	Log V	d_q	Log d_q
VARIÁVEIS INDEPENDENTES				
Altura (H)	0.7424	0.8133	0.6993	0.7226
H^2	0.7516	0.7908	0.6893	0.7020
Log H	0.7219	0.8248	0.6993	0.7337
\sqrt{H}	0.7336	0.8206	0.7006	0.7295
\overline{DC}	0.8136	0.8132	0.8511	0.8369
\overline{DC}^2	0.8217	0.7833	0.8404	0.8091
Log \overline{DC}	0.7814	0.8257	0.8396	0.8461
$\sqrt{\overline{DC}}$	0.8007	0.8221	0.8485	0.8443
H . \overline{DC}	0.9088	0.8903	0.8905	0.8720
H . \overline{DC}^2	0.8966	0.8307	0.8718	0.8323
H . $\sqrt{\overline{DC}}$	0.8923	0.8908	0.8712	0.8692
Log (H . \overline{DC})	0.8444	0.9075	0.8762	0.8848
Log (H . \overline{DC}^2)	0.8297	0.8917	0.8729	0.8868

Analisando o QUADRO 05, pode-se inferir que a variável combinada (H. \overline{DC}) se apresenta como a maior promissora a participar nas equações de regressão destinadas a estimar o volume e o diâmetro quadrático médio. Para estas duas variáveis, a combinação (H. \overline{DC}) apresentou-se, respectivamente, com um coeficiente de correlação de 0,91 e 0,89. Apresentando-se com um coeficiente de correlação linear de 0,89, a variável (H. $\sqrt{\overline{DC}}$) também participou de modelos destinados à estimativa

do volume. Na obtenção do diâmetro quadrático médio, além da combinada ($H \cdot \overline{DC}$), foi analisada a variável ($H\sqrt{\overline{DC}}$) que se apresentou com o valor 0,87 para o coeficiente de correlação linear simples.

Através do estudo da correlação linear das 13 variáveis independentes, com as variáveis de resposta, apresentadas no QUADRO 05, foram construídos 07 modelos de equações destinadas a estimar o volume e 05 para estimar o diâmetro quadrático médio, conforme podem ser vistos nos QUADROS 06 e 07, respectivamente, na seção 4.4.

Entretanto, os referidos modelos de equação não esgotam todas as alternativas de se combinar as variáveis, porém se mostram suficientes à proposição desta pesquisa, qual seja de estimar o volume e o diâmetro quadrático médio.

4.4. ESTUDO DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Neste estudo utilizou-se de modelos de equação de regressão com 03 variáveis independentes, cuja participação foi determinada pelo maior coeficiente de correlação linear simples, que quantifica o grau de associação entre duas variáveis.

Os modelos estudados são apresentados nos QUADROS 06 e 07, respectivamente, para estimar o volume o diâmetro quadrático médio.

QUADRO 06 - Modelos de Equações para Estimativa do Volume

EQUAÇÃO NÚMERO	MODELOS DE EQUAÇÕES
01	$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$
02	$V = b_0 + b_1 (H^2) + b_2 (\overline{DC}^2) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$
03	$V = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\overline{DC}^2) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$
04	$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$
05	$\log V = b_0 + b_1 (\log H) + b_2 (\log \overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$
06	$\log V = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$
07	$\log V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$

QUADRO 07 - Modelos de Equações para Estimativa do Diâmetro Quadrático Médio

EQUAÇÃO NÚMERO	MODELOS DE EQUAÇÕES
01	$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$
02	$d_q = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$
03	$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$
04	$\log d_q = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$
05	$\log d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$

Após o ajuste de cada equação apresentada nos QUADROS 06 e 07, pelo método dos mínimos quadrados, foram estimados para cada equação o coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa em percentagem $S_{yx}\%$ e o valor de F. Para que se pudesse comparar os coeficientes de determinação das equações não logarítmicas com as logarítmicas foi necessária a aplicação do Índice de FURNIVAL¹⁹ às equações logarítmicas, conforme o procedimento descrito pelo referido pesquisador.

Os QUADROS 08 e 09 apresentados a seguir, mostram os coeficientes e estatísticas dos modelos de regressão destinados a estimarem, respectivamente, o volume e o diâmetro quadrático médio.

4.4.1. SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO PARA ESTIMAR O VOLUME

Através dos estudos das equações de volume apresentados no QUADRO 08, foi selecionada a equação número 01 como a mais viável à obtenção desta variável, considerando o maior ajuste da equação aos dados ($R^2 = 0,85$), menor erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\% = 28,9$) e sem aumento significativo no valor F, ($F_{cal.} = 222,46$) quando este é comparado com os valores dos modelos logarítmicos. O modelo matemático escolhido se apresenta como sendo

$$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (DC) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$$

Para analisar a contribuição de cada variável independente na equação, foram realizadas análises da variância através da diferença produzida pela soma dos quadrados dos resí-

QUADRO 08 - Coeficiente e Estatísticas dos Modelos de Regressão Testados para Estimar o Volume

REGRESSÃO		ESTIMATIVAS ESTATÍSTICAS			
		COEFICIENTES	R ²	S _{yx} ²	F
01	$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	$b_0 = 1,167\ 173\ 975$ $b_1 = -0,110\ 953\ 627$ $b_2 = -0,247\ 605\ 575$ $b_3 = 0,031\ 125\ 607$	0,8476	28,93	222,46 *
02	$V = b_0 + b_1 (H^2) + b_2 (DC^2) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	$b_0 = -0,548\ 121\ 294$ $b_1 = -1,720\ 10\ E-03$ $b_2 = -6,346\ 46\ E-03$ $b_3 = 0,022\ 286\ 622$	0,8296	30,59	194,74 *
03	$V = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (DC^2) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$	$b_0 = 0,382\ 416\ 660$ $b_1 = -0,606\ 411\ 107$ $b_2 = 9,231\ 05\ E-04$ $b_3 = 0,076\ 597\ 869$	0,8147	31,90	175,87 *
04	$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$	$b_0 = 4,393\ 809\ 710$ $b_1 = 0,353\ 082\ 799$ $b_2 = 0,483\ 527\ 548$ $b_3 = -5,923\ 795\ 600$	0,8208	31,37	183,26 *
05	$\log V = b_0 + b_1 (\log H) + b_2 (\log \overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$	$b_0 = -3,230\ 588\ 164$ $b_1 = 0,938\ 800\ 000$ $b_2 = 0,119\ 500\ 000$ $b_3 = 1,016\ 400\ 000$	0,8472	33,11	220,09 *
06	$\log V = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$	$b_0 = -3,349\ 969\ 078$ $b_1 = 0,639\ 918\ 528$ $b_2 = 0,459\ 987\ 269$ $b_3 = -8,158\ 76\ E-03$	0,8472	33,11	220,13 *
07	$\log V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	$b_0 = -2,167\ 331\ 425$ $b_1 = 0,074\ 122\ 577$ $b_2 = 0,454\ 642\ 900$ $b_3 = -1,262\ 44\ E-03$	0,8487	33,97	227,89 *

F(3,120,0.95) = 3,92

QUADRO 09 - Coeficiente e Estatísticas dos Modelos de Regressão Testados para Estimar diâmetro Quadrático Médio

REGRESSÃO		ESTIMATIVAS ESTATÍSTICAS			
		COEFICIENTES	R ²	S _{yx} ²	F
01	$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$	$b_0 = 4,596\ 946\ 820$ $b_1 = 0,614\ 242\ 729$ $b_2 = 1,289\ 170\ 170$ $b_3 = 0,069\ 982\ 518$	0,7981	13,70	158,12 *
02	$d_q = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$	$b_0 = 1,590\ 879\ 200$ $b_1 = 3,116\ 555\ 200$ $b_2 = 6,688\ 870\ 710$ $b_3 = 0,470\ 896\ 378$	0,7933	13,86	153,53 *
03	$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$	$b_0 = 7,174\ 436\ 500$ $b_1 = 1,510\ 126\ 210$ $b_2 = 2,721\ 158\ 370$ $b_3 = 9,140\ 202\ 400$	0,7960	13,77	156,04 *
04	$\log d_q = b_0 + b_1 (\sqrt{H}) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (\log (H \cdot \overline{DC}))$	$b_0 = 0,507\ 757\ 690$ $b_1 = 0,048\ 237\ 960$ $b_2 = 0,011\ 319\ 545$ $b_3 = 0,349\ 118\ 490$	0,7928	14,55	152,87 *
05	$\log d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\sqrt{\overline{DC}}) + b_3 (H \cdot \sqrt{\overline{DC}})$	$b_0 = 0,579\ 170\ 330$ $b_1 = 0,030\ 713\ 799$ $b_2 = 0,233\ 519\ 389$ $b_3 = 4,481\ 27\ E-03$	0,7978	14,71	148,84 *

F(3,120,0.95) = 3,92

duos do modelo máximo e dos modelos sob hipótese. O modelo máximo foi composto por H, \overline{DC} e $(H \cdot \overline{DC})$, e os modelos sob hipótese compostos por duas destas variáveis, possibilitando verificar a importância daquela que deixou a equação. Este procedimento poderá ser visto com mais detalhes por STELL & TORRIE⁵².

Os resultados desta análise estão tabulados no QUADRO 10, onde se pode observar que não é possível retirar nenhuma das três variáveis independentes do modelo escolhido, pois os valores estimados para F foram maiores que os tabelados ($F_{\text{tab.}} = 3,92$), indicando que todas as variáveis são necessárias ao modelo, aumentando o ajuste da equação aos dados.

4.4.2. SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO PARA ESTIMAR O DIÂMETRO QUADRÁTICO MÉDIO

Na escolha da melhor equação para estimar o diâmetro quadrático médio foi adotado um procedimento semelhante àquele para seleção da equação de volume. Através da análise dos resultados apresentados no QUADRO 09, selecionou-se a equação número 01 como a que melhor se apresentou para a estimativa do diâmetro quadrático médio, com maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,80$), menor erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx} \% = 13,7$) e maior valor de F ($F_{\text{cal}} = 158,12$).

Assim, o melhor modelo de equação foi definido como sendo

$$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$$

QUADRO 10 - Análise da variância para a equação de regressão $V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
TOTAL (não corrigido)	124	283,9992		

REDUÇÃO R (b_0)	1	185,4223		

TOTAL (corrigido)	123	98,5769		

REGRESSÃO b_0	3	83,5531	27,8510	222,46 *

devido b_1 b_3 b_2 b_0	1	1,0651	1,0651	8,51 *

devido b_2 b_3 b_1 b_0	1	2,0867	2,0867	16,67 *

devido b_3 b_2 b_1 b_0	1	6,6524	6,6524	53,13 *

devido b_1 b_0	1	54,3361	54,3361	433,99 *

devido b_2 b_1 b_0	1	22,5646	22,5646	180,23 *

RESÍDUO	120	15,0238	0,1252	

$F_{(1,120,0.95)} = 3,92$

Com o objetivo de analisar a importância de cada variável independente que participa neste modelo, foram realizadas análises da variância na equação de regressão através da diferença produzida pela soma dos quadrados dos resíduos do modelo máximo e dos modelos sob hipótese. O modelo máximo foi composto de todas as variáveis independentes, quais sejam H , \overline{DC} e $(H \cdot \overline{DC})$, e os modelos sob hipótese compostos por duas destas variáveis, possibilitando verificar a importância daquela que deixou a equação. Este procedimento é idêntico ao utilizado no estudo da equação de volume.

Analisando a equação destinada à estimativa do diâmetro quadrático médio, apresentado no QUADRO 11, pode-se observar que os valores estimados para F , considerando a retirada de uma variável independente de cada vez do modelo máximo, foram menores que o tabelado ($F_{\text{tab}} = 3,92$) em todos os três primeiros modelos sob hipótese. Desta forma, qualquer uma das três variáveis independentes podem deixar o modelo sem comprometer sua significância estatística. Considerando que a variável combinada $(H \cdot \overline{DC})$ tem a maior associação linear com o diâmetro quadrático médio, conforme pode ser visto no QUADRO 05, apresentado anteriormente, esta variável foi a primeira a compor o modelo e após a sua inclusão foram adicionadas, alternadamente as variáveis altura total (H) e o diâmetro das copas (\overline{DC}) no modelo proposto, mas pela análise do F pode-se observar que estas variáveis não contribuíram significativamente na melhoria da estimativa do diâmetro quadrático médio e desta forma não são necessárias na equação, e o modelo inicial

QUADRO 11 - Análise da Variância na Equação de Regressão $d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DOS QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
TOTAL (não corrigido)	124	135 745,1468		
REDUÇÃO R (b_0)	1	124 546,7711		
TOTAL (corrigido)	123	111 98,3757	91,0437	
REGRESSÃO b_0	3	8937,4870	2979,1623	158,12 *
devido $b_1 \mid b_3 b_2 b_0$	1	32,6445	32,6445	1,73
devido $b_2 \mid b_3 b_1 b_0$	1	56,5665	56,5665	3,00
devido $b_3 \mid b_2 b_1 b_0$	1	33,6296	33,6396	1,79
devido $b_3 \mid b_0$	1	8879,4238	8879,4238	471,29 *
devido $b_2 \mid b_3 b_0$	1	25,4187	25,4187	1,35
devido $b_2 \mid b_3 b_0$	1	1,4977	1,4977	0,08
RESÍDUO	120	2260,8887	18,8407	

$F_{(1,120,0.95)} = 3,92$

$$d_q = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC})$$

foi reduzido para

$$d_q = b_0 + b_1 (H \cdot \overline{DC})$$

onde os coeficientes correspondentes a esta equação são:

$$b_0 = 0,136362$$

$$b_1 = 0,001558$$

com um coeficiente de determinação de ($R^2 = 0,80$), um erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx} \% = 13,80$) e 467,15, para o valor de F.

A FIGURA 06, apresentada a seguir, ilustra a relação diâmetro quadrático médio pela variável combinada ($H \cdot \overline{DC}$), que pode ser perfeitamente interpretada como uma linha reta.

Como neste trabalho se propõe a obter o volume pelo conhecimento da altura e do diâmetro quadrático médio por:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_q)^2 \cdot H$$

onde:

$$V = \text{estimativa do volume (m}^3\text{)}$$

$$\frac{\pi}{4} = \text{constante}$$

$$d_q = \text{estimativa do diâmetro quadrático médio (m)}$$

$$H = \text{altura total medida na fotografia (m)}$$

tem-se:

$$V = 0,785398 (0,136362 + 0,001558 (H \cdot \overline{DC}))^2 \cdot H$$

Com a finalidade de observar o comportamento das equações

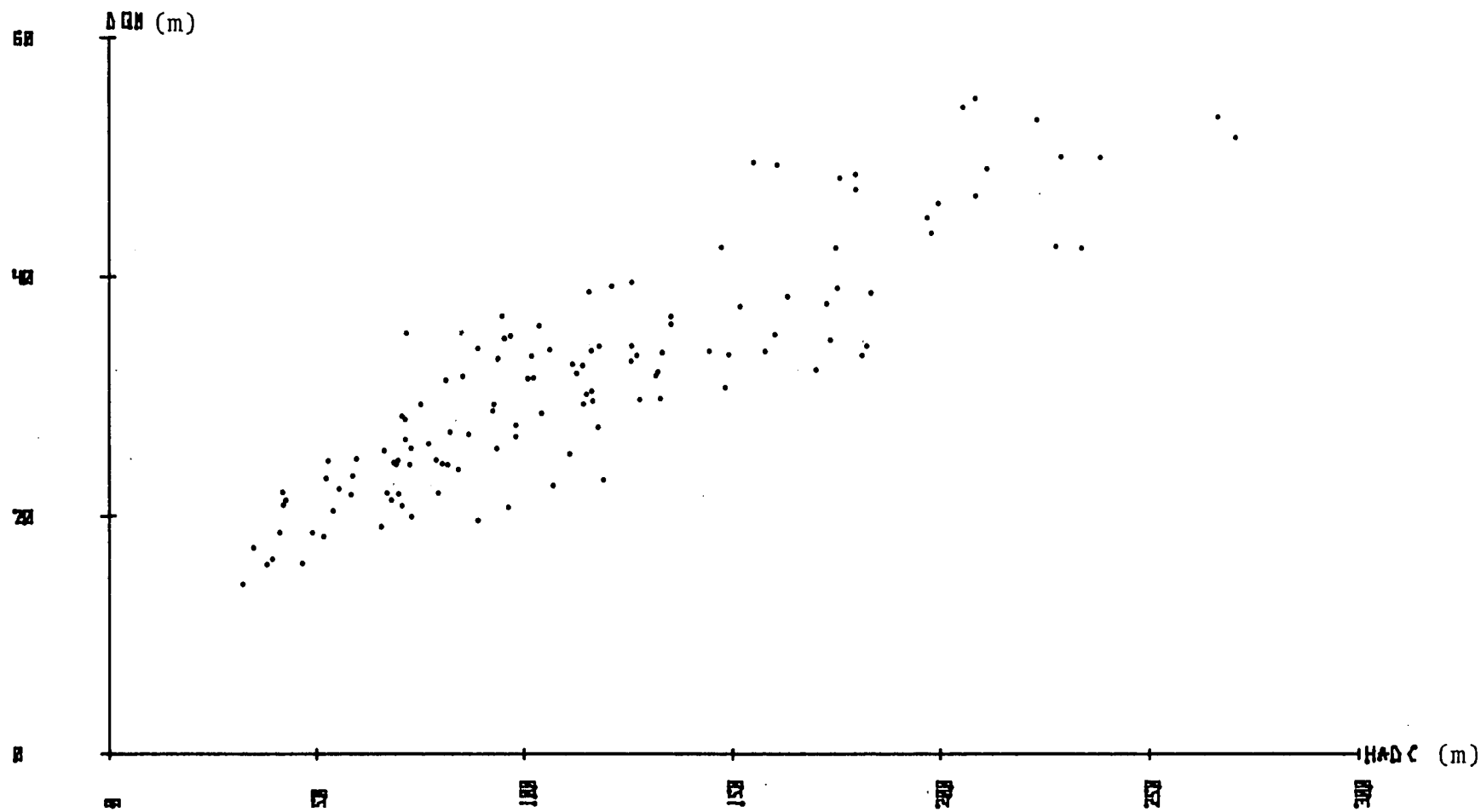


FIGURA 06: Relação existente entre o diâmetro quadrático médio e a variável $(H \times \overline{DC})$

$$V = 1,167 - 0,111 (H) - 0,248 (\overline{DC}) + 0,031 (H \cdot \overline{DC})$$

e

$$V = 0,785 (0,136 + 0,002 (H \times \overline{DC}))^2 \cdot H$$

e assim definir qual se apresenta como a mais viável na obtenção do volume, foram plotados os seus resíduos, conforme podem ser vistos nas FIGURAS 07 e 08, respectivamente. Analisando estes resultados pode-se observar que os pontos que representam a distribuição dos resíduos das duas equações têm uma configuração bastante semelhante, apresentando-se distribuídos uniformemente. Considerando-se que a equação destinada a estimar o diâmetro quadrático médio é bastante simples, constituindo-se em uma linha reta, a obtenção do volume também é facilitada.

Com a finalidade de diminuir os custos de medição das copas visíveis nas fotografias, foi verificada a possibilidade de obter-se um modelo matemático, cuja variável independente fosse unicamente a altura. Porém, como pode ser verificado no QUADRO 11, a obtenção do diâmetro quadrático médio, pela medição da variável altura medida na fotografia mostrou-se inviável.

4.5. ESTUDO COMPLEMENTAR DA EQUAÇÃO DESTINADA À ESTIMATIVA DO DIÂMETRO QUADRÁTICO MÉDIO

Com a finalidade de complementar o estudo da equação selecionada para estimar o diâmetro quadrático médio

$$d_q = b_0 + b_1 (H \cdot \overline{DC})$$

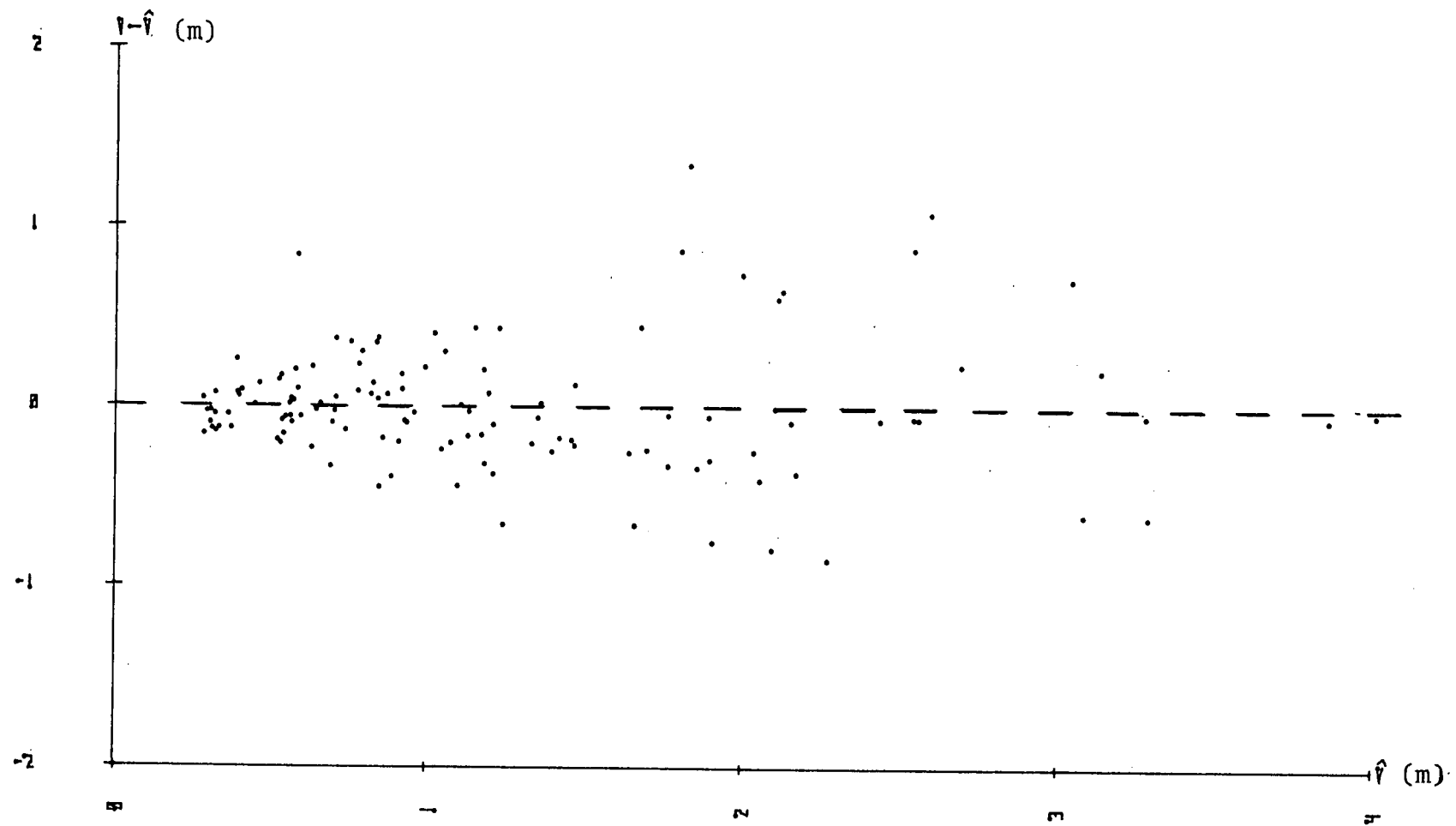


FIGURA 07: Distribuição dos resíduos pela equação $V = 1,167 - 0,111 (H) - 0,248 (\overline{DC}) + 0,031 (H \times \overline{DC})$

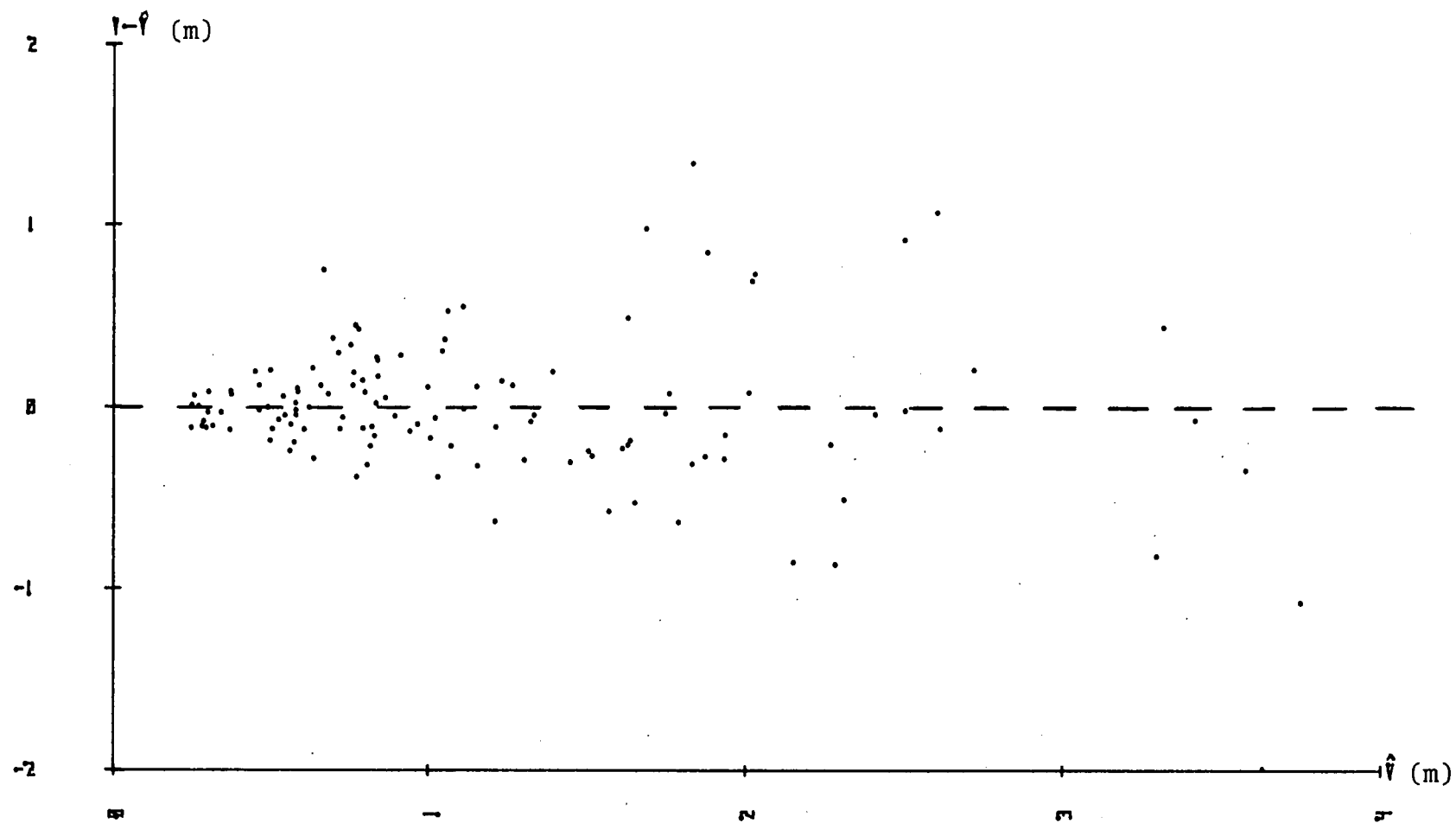


FIGURA 08: Distribuição dos resíduos pela equação $V = 0,785 \times H (0,136 + 0,002 (H \times \overline{DC}))^2$

sendo:

d_q = estimativa do diâmetro quadrático médio (m)

H = altura total medida na fotografia (m)

\overline{DC} = diâmetro de copas medido na fotografia (m)

b_0 e b_1 = coeficiente da equação

foi realizado, conforme o procedimento descrito na seção 3.9., a análise da tendenciosidade do modelo através do estudo dos sinais dos resíduos. No QUADRO 12, apresentado a seguir, estão tabulados os dados auxiliares para o cálculo de Z, necessário ao estudo da tendenciosidade do modelo.

QUADRO 12 - Dados Auxiliares ao Cálculo da Distribuição de Z

Ocorrência dos resíduos positivos	n_1 (+)	60
Ocorrência dos resíduos negativos	n_2 (-)	64
Mudanças dos sinais dos resíduos	μ	62
Média da distribuição discreta	U	62,94
Variância da distribuição discreta	δ^2	30,68
Desvio padrão da distribuição discreta	δ	5,54

sendo calculado pelas expressões apresentadas na seção 3.9. tem-se:

$$Z = \left(\frac{62,94 - 62 + 1/2}{5,54} \right) = 0,26$$

Pela TABELA A, apresentada por SIEGEL⁴⁶, pode-se verificar que a probabilidade de ocorrência, sob a condição H_0 , de $Z \geq 0,26$ é $P = 2.(0,3974) = 0,7948$ (a probabilidade é duas vezes a indicada na tabela porque se trata de uma prova bilateral). Como a probabilidade $P = 0,7948$, associada à ocorrência observada, é superior ao nível de significância 0,05, a decisão é aceitar a hipótese da nulidade e rejeitar a hipótese alternativa. Isto é, conclui-se que, na equação proposta a ordem dos resíduos é aleatória, podendo ser utilizada na estimativa do diâmetro quadrático médio.

Desta maneira, as estimativas para os volumes individuais da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. podem ser obtidas pela expressão:

$$V = 0,785 \cdot H \cdot (0,13632 + 0,00158 (H \cdot \overline{DC}))^2$$

permitindo a construção de uma tabela de volume por fotografias aéreas, para a população florestal sob consideração, sendo então tabulados no QUADRO 13, apresentado a seguir.

QUADRO 13 - Tabela do Volume Obtido pela Expressão $V=0,785 \cdot H (0,1364 + 0,0016 (H \cdot \overline{DC}))^2$

DC (m)	ALTURA (m)								
	8	10	12	14	16	18	20	22	24
2.0	0.1634	0.2204	0.2845	0.3562	0.4357	0.5236	0.6200	0.7255	0.8403
3.0	0.1897	0.2633	0.3490	0.4477	0.5602	0.6873	0.8297	0.9885	1.1642
4.0	0.2179	0.3100	0.4202	0.5497	0.7003	0.8732	1.0700	1.2920	1.5409
5.0	0.2480	0.3605	0.4978	0.6622	0.8560	1.0813	1.3407	1.6362	1.9702
6.0	0.2801	0.4149	0.5821	0.7852	1.0273	1.3117	1.6419	2.0210	2.4523
7.0	0.3141	0.4730	0.6730	0.9186	1.2142	1.5644	1.9736	2.4463	2.9870
8.0	0.3501	0.5350	0.7704	1.0624	1.4167	1.8392	2.3358	2.9122	3.5745
9.0	0.3881	0.6007	0.8745	1.2167	1.6349	2.1363	2.7285	3.4188	4.2146
10.0	0.4280	0.6703	0.9851	1.3815	1.8686	2.4556	3.1517	3.9659	4.9075
11.0	0.4698	0.7437	1.1023	1.5567	2.1180	2.7972	3.6054	4.5536	5.6530
12.0	0.5136	0.8209	1.2261	1.7424	2.3830	3.1610	4.0895	5.1819	6.4512
13.0	0.5594	0.9020	1.3565	1.9386	2.6636	3.5470	4.6042	5.8508	7.3022
14.0	0.6071	0.9868	1.4935	2.1452	2.9598	3.9552	5.1494	6.5603	8.2058
15.0	0.6567	1.0754	1.6371	2.3623	3.2716	4.3857	5.7251	7.3104	9.1621
16.0	0.7084	1.1679	1.7872	2.5898	3.5991	4.8384	6.3313	8.1010	10.1712
17.0	0.7619	1.2642	1.9440	2.8278	3.9421	5.3134	6.9679	8.9323	11.2329
18.0	0.8174	1.3642	2.1073	3.0763	4.3008	5.8106	7.6351	9.8042	12.3473

5. CONCLUSÕES

Dos estudos realizados, as seguintes conclusões foram alcançadas:

. O uso de fotografias aéreas verticais pancromáticas, preto e branco, em escala grande (1:4000), permite identificar com bastante facilidade a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamentos naturais e proceder a medição da sua altura e do seu diâmetro de copa. Comparando as medidas das alturas encontradas no campo, com sua correspondente na fotografia, encontrou-se diferenças tão pequenas que podem ser consideradas sem importância.

Com relação ao volume, a variável combinada "altura x diâmetro de copa" foi a que se apresentou com maior associação linear ($r = 0,91$), mostrando-se como a variável independente de maior importância à equação selecionada.

. Somente o uso da variável altura medida na fotografia não permitiu obter uma boa estimativa de volumes para a espécie em estudo.

. Dos vários modelos de equação testados para estimar o volume, apresentou-se como o melhor

$$V = b_0 + b_1 (H) + b_2 (\overline{DC}) + b_3 (H \cdot \overline{DC}) \quad (1)$$

. Com referência ao diâmetro quadrático médio, a variável combinada "altura x diâmetro de copa" foi a que apresentou maior coeficiente de correlação linear simples ($r = 0,89$).

. A relação "diâmetro quadrático médio pela variável (H . \overline{DC})" pode ser perfeitamente interpretada como sendo uma linha reta.

. Somente o uso da variável altura medida na fotografia não permitiu obter uma boa estimativa do diâmetro quadrático médio para a espécie em estudo.

. O melhor modelo de equação de regressão para estimativa do diâmetro quadrático médio foi a linha reta

$$d_q = b_0 + b_1 (H \cdot \overline{DC})$$

com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0,80$) e um erro padrão dado em percentagem $S_{yx} \% = 13,80$.

. Desde que se obteve a equação que possibilitasse a estimativa do diâmetro quadrático médio foi possível calcular o volume pela expressão:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_q^2 \cdot H \quad (3)$$

ou

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (b_0 + b_1 (H \cdot \overline{DC}))^2 \quad (4)$$

que se mostrou de fácil aplicação, com resíduos distribuídos de maneira idêntica àquela obtida por modelos mais complexos.

. Desde que a análise dos resíduos dos volumes obtidos através da equação 03 se mostraram sem tendência, pode-se construir uma tabela de volume de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através de fotografias aéreas (QUADRO 13).

6. RESUMO

Na estimativa do volume individual da *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. foram estudadas equações que possibilitaram a estimativa do diâmetro quadrático médio e do volume, a partir da medição da altura e do diâmetro de copa efetuadas em fotografias aéreas em escala grande.

Verificou-se que, na escala utilizada, a diferença na medição da altura da árvore no campo e a sua correspondente na fotografia foi pequena, sendo portanto considerada sem importância.

Para gerar as referidas equações de regressão, pelo método dos mínimos quadrados, fez-se necessário estudar a associação linear entre as variáveis independentes (X_i) e as de resposta (Y_i). Nesta análise foram plotadas em gráficos as relações V/H , V/\overline{DC} , d_q/H , d_q/\overline{DC} e também estudados os coeficientes de correlação linear entre as possíveis variáveis combinadas ou transformadas. Dentre as variáveis independentes estudadas verificou-se que a combinada "altura x diâmetro de copa" foi a que se apresentou com maior associação linear com o volume e o diâmetro quadrático médio.

A partir da estimativa do diâmetro quadrático médio pela equação

$$d_q = 0,13636 + 0,00156 (H \cdot \overline{DC})$$

estimou-se o volume pela relação

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (0,13636 + 0,00156 (H \cdot \overline{DC}))^2$$

e os resíduos desta expressão foram comparados pelo método gráfico, com aqueles obtidos pela equação

$$V = 1,167 - 0,111 (h) - 0,248 (\overline{DC}) + 0,031 (H.\overline{DC})$$

verificando-se que a estimativa através do conhecimento do diâmetro quadrático médio ofereceu melhores perspectivas para a obtenção do volume, devido à sua simplicidade.

Desta forma, é apresentada uma tabela destinada a estimar o volume de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através de fotografias aéreas, a partir do conhecimento do diâmetro quadrático médio da árvore sob consideração.

7. SUMMARY

In the estimate of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. individual volume, regression equations were studied which allowed the estimation of the mean quadratic diameter (dq) and volume, based on height and crown diameter measurements obtained on large scale aerial photographs.

The difference between tree height measurements in the field and on large scale aerial photographs, was too small and therefore, disregarded.

To obtain the regression equations, by least squares method, it was necessary to study the linear association between independent variables (X_i) and the dependent variable (Y_i). In this analysis, the relations V/H , V/\overline{DC} , dq/H , dq/\overline{DC} were plotted and also studied the linear correlation coefficients between the possible combined or transformed variables.

From the independent variables studied, the combined variable "height times crown diameter" ($H \cdot \overline{DC}$) presented higher linear association with the mean quadratic diameter and volume.

Based on the estimate of the mean quadratic diameter by the equation

$$dq = 0,13636 + 0,00156 (H \cdot \overline{DC})$$

the volume was estimated by the relation

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (0,13636 + 0,00156 (H \cdot \overline{DC}))^2$$

and its residues were compared by the ones obtained from the equation

$$V = 1,167 - 0,111 (H) - 0,248 (\overline{DC}) + 0,031 (H \cdot \overline{DC})$$

It was verified that the volume obtained based on the mean quadratic diameter presented better results and, therefore, its use is recommended due also to its simplicity.

Therefore, an aerial volume table for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. individual trees is presented based on the mean quadratic diameter.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ALDRED, A.H. & SAYN-WITTGENSTEIN, L. Tree diameters and volume from large scale aerial photographs. Information Report. Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-40, 1972.
02. —. & KIPPEN, F.W. Plot volumes from large-scale 70 mm air photographs. For. Sci 13 (4):419-426, 1976.
03. —. & LOWE, J.J. Application of large-scale photos to a forest inventory in Alberta. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-107.
04. AVERY, T.E. Forest mensuration. New York, McGraw-Hill, 1967. 200 p.
05. AVERY, G. Composite aerial volume table for Southern Pines and Hardwoods. Jour. For, 56:741-45, 1958.
06. BONNOR, G.M. Stem diameter estimates from crown width and tree heighth. Commonw For. Rew., 47: 8-13, 1967.
07. —. Forest Inventories with large-scale aerial photographs: an operation trial in Nova Scotia. Information Report, Forest Management Institute, Ottawa, FMR-X-96, 1977.
08. —. A tree volume table for red pine by crown and height. For Chron. 40 (3): 339-46, 1964.
09. BRENA, D.A.; SILVA, J.N.; SCHNEIDER, P.R. Metodologia para verificação das condicionantes da análise de regressão. Floresta, 9: 2-45, 1978.
10. CUNIA, T. Weighted least squares method and construction of volume tables. For Sci., 10: 180-191, 1964.
11. DAWKINS, H.C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. Commonw. For. Rev., 42 (4): 318-33, 1963.
12. DILWORTH, J.R. Log scaling and timber cruising. Corvallis, 1977, 468 p.
13. DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley & Sons, 1966. 407 p.
14. EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Sudoeste do Estado do Paraná 1a. parte Boletim Técnico n° 40. Curitiba, 1974, 150 p.

15. FAO. Estimacion del volumen forestal y predicion del rendimiento. Roma, 1981. 80 p.
16. FERREE, M.J. Estimating timber volumes from aerial photographs. Tese de doutorado, State university of York, College of Forestry at Syracuse, 1953. 50 p.
17. FREESE, F. Testing accuracy. For Sci., 6 (2): 139-45, 1960.
18. —. Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales. Centro Regional de ayuda técnica. México/Buenos Aires, Manual de Agricultura Num. 317, 1970 - 102 p.
19. FURNIVAL, G.M. An Index for comparing equations used in constructing volume tables. For Sci. 7 (4): 337-41.
20. GOMES, A.M.A. Medição dos arvoredos. Lisboa, Sá da Costa, 1957. 413 p.
21. GRINGRICH, S.F. & MEYER, H.A. Construction of an aerial stand volume tables for upland oak. For Sci., 1 (2): 140-7, 1955.
22. HEINDIJK, D. Interpretação florestal de fotografias aéreas. Anu. bras. econ. flor., 12: 234-57, 1960.
23. HOLLEWOGER, F. Is there correlation in the teack forest between crown diameter at breast Height? J. Sci. Res. Indonésia, Djakarta, 3 (1): 3-20, 1954/Resumo.
24. HUSCH, B. MILLER, C.I. & BEERS, T.W. Forest mensuration. New York, Ronald Press, 1972, 410 p.
25. IAPAR. Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina, 1972, 41 p.
26. IZQUIERDO, J.E.C. Las fotografias aéreas en la estimation del volumen de bosques secundarios en el trópico. Turrialba, 1962. 48 p. Dissertação Mestrado - Costa Rica.
27. JOHSON, E.W. Effect of photographic scale on precision of individual tree-height measurement. Photogram. Eng. 24 (1): 142-152, 1958.
28. KIPPEN, F.W. & SAYN-WITTEGENSTEIN, L. Tree measurement on large-scale vertical 70 mm air photographs. Dep. For. Pub; For Res. Branch. Ottawa, n. 1503, 1964, 16 p.
29. KO, Y.Z. Beziehungen zwischen formquotienten und formzahl. Tese de doutorado, Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, 1968. 118 p.

30. LEE, Y. Some findings in forest typing. Forest Chron, 38 (2): 219-224, 1962/Resumo/.
31. LOETSCH, F; HALLER, K.W. Forest Inventory. Berlin, B.L.V., 1973, v.1, 436 p.
32. MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solo, vegetação do Estado do Paraná. Ar. Biol. Tecn. 3: 99-200, 1948.
33. MURATORI, A. Nota explicativa da folha geológica de Campo Largo. Boletim da Universidade Federal do Paraná. Geologia n° 21, 1966. 29 p.
34. NAKAYAMA, H.A. Study on forest survey from aerial photographs. B. Nagoya Univ. Forests, n° 1, 1958. 63 p. /Resumo/.
35. NIELSEN, U; ALDRED, A.H; MACLEOD, D.A. A forest inventory in the Yukon using large scale photo sampling techniques. Information Report. Forest Management Institute. Ottawa. FMR-X-121. 1979.
36. NYSSÖNEN, A. On the estimation of growing stock from aerial photographs. Communn. Inst. For. Fenniae, 46 (1): 1-57, 1955. /Resumo/.
37. OLIVEIRA, B. As regiões de ocorrência normal da Araucaria. Anuário Bras. Econ. Florestal, 1: 185-99, 1948.
38. OLIVEIRA, Y.M.M. Correlação entre parâmetros dendrométricos em Araucaria angustifolia, utilizando fotografias aéreas. Curitiba. 1980. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
39. PÉLLICO NETTO, S. Die Forstinventuren in Brasilien. Neue Fentwicklungen und ihr Beitrag für eine geregelte Forstwirtschaft. Tese de doutorado, Albert-Ludwings Universität, Freiburg, 1979. 232 p.
40. PRODAN, M. Hollmesslehre. Frankfurt am main, J.D. Saverlander's. 1965. 644 p.
41. RICCI, M. & PETRI, S. Principios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Editora Nacional, 1965. 226 p.
42. ROGERS E.J.; AVERY, G; CHAPMANN, R.A. Three scale of aerial photography compared for making stand measurements. U.S. Dep. Agr. Forest. Serv. Northeastern Forest Exp. Sta., Forest Res. n. 88, 1959, 4 p. /Resumo/.

43. ROSOT, N.C. Estimativa do peso de madeira seca de Pinus taeda L. por ocasião do primeiro desbaste. Curitiba, 1980. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
44. SAYN-WITTGENSTEIN, L. & ALDRED, A.H. Tree volumes from large-scale photos. Photogram. Eng. 33 (1): 69-73, 1967.
45. —. Tree size from large-scale photos. Photogram. Eng. 38 (10): 971-73, 1972.
46. SIEGEL, S. Estatística não paramétrica. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1979, 350 p.
47. SILVA, J.A. Estimativa do diâmetro de copas e idade do primeiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em ambiente natural. Brasil Flor. 8 (31): 24-29, 1977.
48. 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.
49. SPIECKER, H. Análise do Crescimento Florestal, a concorrência e sua importância no desbaste. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 1981. 62 p.
50. SPURR, S.H. Forest inventory. New York, Ronald Press, 1952, 476 p.
51. —. Photogrametry and photo-interpretation. New York, Ronald Press, 1960, 472 p.
52. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.M. Principles and procedures of statistics. New York, MacGraw-Hill, 1960, 481 p.
53. VOLKART, C.M. Determinacion de la relacion diametro copa/diametro do tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliottii* en la Provincia de Misiones. In: CONGRESSO FLORESTAL ARGENTINO, 1., Buenos Aires, 1969. Actas Buenos Aires, 1970. p. 231-7.