

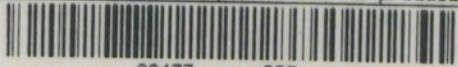
RODOLFO NEIVA DE SOUSA

EFEITO DE DOIS ESPAÇAMENTOS NA PRODUÇÃO EM PESO E VOLUME  
DE *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Ciência Flo-  
restal, para Obtenção do Título de  
"Magister Scientiae".



T  
634.95  
5725e  
J989  
ex. 1.

UFV	BIBLIOTECA BBT	RG000505395
CLASSIFICAÇÃO T 634.95 / S725e		
TÍTULO Efeito de dois espaçamentos na produção em		
		
98477	BBT	

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
JULHO - 1989

DOAÇÃO



Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

S725e  
1988

Sousa, Rodolfo Neiva.

Efeito de dois espaçamentos na produção em peso  
e volume de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden).  
Viçosa, UFV, 1988.  
88p.

Tese (M.S.) - UFV

1. Mensuração florestal. 2. Eucalipto - Modelo  
de crescimento e produção. 3. Eucalipto - Plantio  
- Espaçamento. 4. Manejo florestal. I. Universida-  
de Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD. 634.95

DOCA00

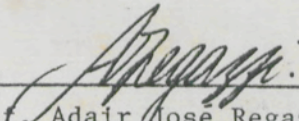


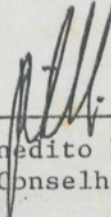
RODOLFO NEIVA DE SOUSA

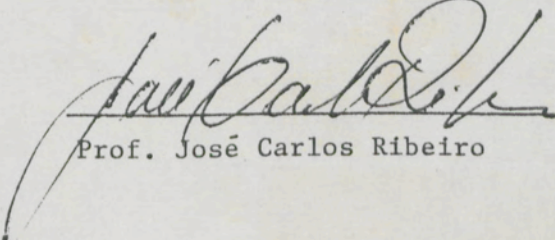
EFEITO DE DOIS ESPAÇAMENTOS NA PRODUÇÃO EM PESO E VOLUME  
DE *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)

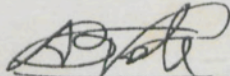
Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Ciência Flo-  
restal, para Obtenção do Título de  
"Magister Scientiae".

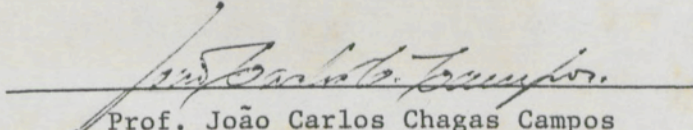
APROVADA: 08 de novembro de 1988

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Adair José Regazzi  
(Conselheiro)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Benedito Rocha Vital  
(Conselheiro)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Carlos Ribeiro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Antônio Bartolomeu do Vale

  
\_\_\_\_\_  
Prof. João Carlos Chagas Campos  
(Orientador)



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Carlos Chagas Campos, pela orientação e paciência.

À Deus,

Aos meus pais,

Ao João Carlos.

As instituições apresentadas e participação na banca de defesa deste trabalho.

A Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF) pela concessão dos dados e ajuda prestada.

A Universidade Federal de Viçosa, por ter proporcionado minha formação profissional, bem como pela realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), pelo apoio financeiro.

Aos amigos de "república", do "apto. 33", da "turma do Brasil", do "Conjunta de Gherinho", à minha namorada e aos colegas de curso.



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Carlos Chagas Campos, pela orientação e paciência.

Aos Professores Adair José Regazzi, Benedito Rocha Vital, Antônio Bartolomeu do Vale e José Carlos Ribeiro, pelas sugestões apresentadas e participação na Banca de Defesa deste trabalho.

À Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF), pela concessão dos dados e ajuda prestada.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter propiciado minha formação profissional, bem como pela realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), pelo apoio financeiro.

Aos amigos de "república", do "apto. 33", da "Turma do Funil", do "Conjunto de Chorinho", à minha namorada e aos colegas de curso.



## BIOGRAFIA

RODOLFO NEIVA DE SOUSA, filho de Juvenato de Sousa Coelho e Terezinha Neiva de Sousa, nasceu a 02 de agosto de 1962, em Teófilo Otoni-MG.

Iniciou seus estudos em Belo Horizonte, vindo a concluir o curso de segundo grau no Colégio Universitário da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG.

Em março de 1981 ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em dezembro de 1985.

Ainda em Viçosa, em 1986 ingressou no Curso de Mestrado em Ciência Florestal, concluindo-o em dezembro de 1988.

Atualmente trabalha na Bahia Sul Celulose S.A., onde exerce o cargo de Chefe do Setor de Biometria.



1.3. Equações de Peso, Volume, Altura e Índice de Local .....	25	
1.4. Determinação da Idade de Corte .....	28	
1.5. Equações e Tabelas de Produção .....	29	
2. MATERIAL E DISCUSSÃO .....	31	
2.1. Caracterização da Capacidade Produtiva dos Locais .....	31	
2.2. Estimativa da Altura .....	32	
2.3. Equações de Volume por Árvore .....	37	
2.4. Produção e Incremento em Área Basal, Peso e Volume .....	44	
2.5. Comparação Entre Valores Observados e Preditos pelo Modelo de Crescimento e Produção .....		Página
2.6. Alguns Aspectos da Metodologia Seguida para Predição .....	51	
LISTA DE QUADROS .....	vii	
LISTA DE FIGURAS .....	xi	
EXTRATO .....	xiii	
1. INTRODUÇÃO .....	1	
1.1. Objetivos .....	4	
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5	
2.1. Crescimento, Produção e Fonte de Dados ...	5	
2.2. Determinação da Capacidade Produtiva de Local .....	6	
2.3. Avaliação da Produção .....	7	
2.4. Compatibilidade de Modelos de Crescimento e Produção .....	9	
2.5. Uso de Modelos na Predição da Produção ...	10	
2.5.1. Validade de um Modelo de Regressão.	12	
2.5.2. Igualdade de Equações de Regressão.	14	
2.6. Efeitos da Densidade de Plantio .....	15	
2.7. Rotação Florestal .....	17	
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	19	
3.1. Características da Região e Fonte de Dados.	19	
3.2. Determinação do Volume Real e da Densidade Básica Média por Árvore .....	20	



3.3. Equações de Peso, Volume, Altura e Índice de Local .....	25
3.4. Determinação da Idade de Corte .....	28
3.5. Equações e Tabelas de Produção .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4.1. Classificação da Capacidade Produtiva dos Locais .....	31
4.2. Estimação da Altura .....	32
4.3. Equações de Volume e Peso por Árvore .....	37
4.4. Produção e Incremento em Área Basal, Peso e Volume .....	44
4.5. Comparação Entre Valores Observados e Preditos pelo Modelo de Crescimento e Produção .....	51
4.6. Síntese da Metodologia Seguida para Predição da Produção .....	53
4.7. Determinação da Idade de Rotação .....	53
4.8. Determinação do Peso a Partir da Estimativa do Volume .....	60
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	65
BIBLIOGRAFIA .....	69
APÊNDICES .....	74

Distribuição de frequência das árvores-amostras utilizadas no ajustamento de equações de volume e peso ..... 23

Equações de índice de local ajustadas por regressão e para a totalidade dos dados, a partir da equação  $\hat{C}_{nH} = \hat{C}_{nD} + \hat{C}_{nS} \cdot (1/I)$  ..... 27

Altura dominante média ( $\bar{H}_D$ ) e incremento médio anual dessa altura ( $\bar{I}_{AD}$ ), em metros, por índice de local, obtidos a partir da equação  $\hat{C}_{nH} = \hat{C}_{nD} + 28,7419 \cdot (1/I - 1/54)$  ..... 34



LISTA DE QUADROS

		Página
1	Distribuição de frequência das parcelas por idade, área basal e índice de local, no espaçamento 3,0 x 1,5 m .....	21
2	Distribuição de frequência das parcelas por idade, área basal e índice de local, no espaçamento 3,0 x 2,0 m .....	22
3	Distribuição de frequência das árvores-amostra utilizadas no ajustamento de equações de volume e peso .....	23
4	Equações de índice de local ajustadas por espaçamento e para a totalidade dos dados, a partir da equação $\widehat{\ell}_n H_d = \widehat{\ell}_n \beta_0 + \widehat{\ell}_n \beta_1 \cdot (1/I)$ .	32
5	Altura dominante média (Hd) e incremento médio anual dessa altura (dHd), em metros, por índice de local, obtidos a partir da equação $\widehat{\ell}_n H_d = \widehat{\ell}_n S - 21.7415 \cdot (1/I - 1/54)$ .....	34



6	Equações de altura ajustadas e as respectivas estatísticas, com base em 857 observações por espaçamento .....	35
7	Análise de variância para testar a igualdade das equações de altura .....	36
8	Equações de peso ajustadas para ambos espaçamentos, e as respectivas estatísticas .....	38
9	Equações de volume ajustadas para ambos espaçamentos e as respectivas estatísticas .....	43
10	Equações de incremento corrente mensal em área basal ( $m^2/ha$ ), para os espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m .....	46
11	Incremento em área basal (dB) e área basal acumulada (B), estimadas pelas equações $\hat{\ell}_{n\text{dB}} = -0.832545 + 50.0579.(1/I) + 0.0431809.S$ e $\hat{\ell}_{n\text{dB}} = -1.71345 + 56.7302.(1/I) + 0.1054920.S$ , referentes aos espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, respectivamente .....	48
12	Equações de produção em peso e volume, ajustadas para cada espaçamento, e as respectivas estatísticas .....	50
13	Comparação de valores médios de área basal, volume e peso, observados e preditos pelo modelo de crescimento e produção, utilizando-se dados do ajustamento e dados independentes .....	52
14	Equações componentes do modelo de crescimento e produção em volume e peso, para o espaçamento 3,0 x 1,5 m .....	54



15	Equações de produção em volume (V) e peso (W), em função da idade, segundo a equação $\hat{\ln Y} = \hat{\ln \beta_0} + \hat{\ln \beta_1} \cdot (1/\text{idade})$ .....	56
16	Incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), por hectare, em volume com casca e peso com casca, dos dados observados e estimados, conforme a equação $\hat{\ln Y} = \hat{\ln \beta_0} + \hat{\ln \beta_1} \cdot (1/\text{Idade})$ .....	57
17	Produção em peso por hectare, para o espaçamento 3,0 x 1,5 m, obtido via equação de produção e utilizando-se diretamente o valor médio observado de DBM de todas as árvores-amostra, supondo índice de local 12 e área basal inicial de 10 m <sup>2</sup> /ha .....	63
1A	Valores observados de densidade básica média do tronco (DBM), e densidade básica na altura de 1,3 m (DDap), em g/cm <sup>3</sup> .....	76
1B	Tabela de volume, em m <sup>3</sup> , para árvore individual, segundo a equação: $\hat{\ln V} = -9,9795 + 1,88287 \cdot \ln D + 1,01417 \cdot \ln H$ .....	79
2B	Tabela de peso de madeira a 0% de umidade, em kg, para árvore individual, segundo a equação: $\hat{\ln W} = 3,79097 + 0,01558 \cdot (D^2 \cdot H)$ .....	80
1C	Características do povoamento. Média geral por idade no espaçamento 3,0 x 1,5 m .....	82
2C	Características do povoamento. Média geral por idade no espaçamento 3,0 x 2,0 m .....	83



1D Tabela de produção empírica em volume com casca (m<sup>3</sup>/ha), para o espaçamento 3,0 x 1,5 m, segundo a equação  $\ln \widehat{W}_{CC} = 0,65841 + 1,1453 \cdot \ln B + 0,065272 \cdot S - 11,6079 \cdot (1/I)$  ..... 85

2D Tabela de produção empírica em peso com casca (toneladas/ha), para o espaçamento 3,0 x 1,5 m, segundo a equação  $\ln \widehat{W}_{CC} = 7,03317 + 1,12982 \cdot \ln B + 0,057742 \cdot S - 14,1336 \cdot (1/I)$  ..... 86

1E Desvios entre os valores observados e estimados da produção em área basal (m<sup>2</sup>/ha), volume (m<sup>3</sup>/ha) e peso (kg/ha), no espaçamento 3,0 x 1,5 m ..... 88

1 Curvas de índice de local, utilização da área basal e produção em área basal (DAB), em função da idade (I) e da classe de local (L) ..... 89

2 Desvios entre os valores observados e estimados da produção em área basal (DAB), volume (DVB) e peso (DWP), em função da idade (I) e da classe de local (L) ..... 90

3 Desvios entre os valores observados e estimados da produção em área basal (DAB), volume (DVB) e peso (DWP), em função da idade (I) e da classe de local (L) ..... 91

4 Desvios entre os valores observados e estimados da produção em área basal (DAB), volume (DVB) e peso (DWP), em função da idade (I) e da classe de local (L) ..... 92

5 Incremento em área basal (DAB), por espaçamento, em relação à idade (I) e à classe de local (L) ..... 93

6 Incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), em volume, por espaçamento e classe de local ..... 94



7 Incremento médio anual e incremento corrente anual, em peso, por espaçamento e classe de local ..... 58

8 Produção em volume, por espaçamento e classe de local ..... 51

9 Produção em peso LISTA DE FIGURAS e classe de local ..... 52

Página

1	Curvas de índice de local, utilizando-se idade-índice de 54 meses .....	33
2	Densidade básica média do tronco (DBM), em relação à idade (I) .....	39
3	Densidade básica média do tronco (DBM), em relação à densidade na altura 1,30 m (DDap) .....	40
4	Densidade básica média do tronco (DBM), em relação à densidade na altura 1,30 m (DDap) e à idade (I) .....	42
5	Incremento em área basal (dB), por espaçamento, em relação à idade (I) e à classe de local .....	49
6	Incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), em volume, por espaçamento e classe de local .....	58



7	Incremento médio anual e incremento corrente anual, em peso, por espaçamento e classe de local .....	59
8	Produção em volume, por espaçamento e classe de local .....	61
9	Produção em peso, por espaçamento e classe de local .....	62

BOUSA, Rosalva Nélva, M.S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 1982. Tese de Pós-Graduação em Produção em Floresta, Curso de Pós-Graduação em Silvicultura (M.S. 1982), Professor Orientador: João Carlos Chagas Campos. Professores Consultores: Benedito Rocha Vital e Adair José Magalhães.

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito de dois espaçamentos em silvas de crescimento em volume e peso em relação aos objetivos complementares tanto a curto quanto a longo prazo. Os espaçamentos estudados foram 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 3,0 m. O estudo foi conduzido em um campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. A produção em volume e peso foi avaliada anualmente durante o período de 1978 a 1982. Os resultados mostraram que o espaçamento de 3,0 x 1,5 m apresentou maior produção em volume e peso por hectare em todos os anos avaliados. Além disso, o espaçamento de 3,0 x 1,5 m apresentou maior número de árvores por hectare, o que contribuiu para a maior produção total. Os resultados também indicaram que o espaçamento de 3,0 x 1,5 m apresentou maior taxa de crescimento em volume e peso por árvore, o que pode ser atribuído ao maior número de árvores por hectare e ao maior número de árvores por unidade de área.

Para determinação do volume das árvores individuais, foram utilizadas fórmulas matemáticas baseadas em medições de diâmetro e altura. A produção em volume e peso foi determinada a partir das medições de volume e peso das árvores individuais, multiplicadas pelo número de árvores por hectare.



## EXTRATO

SOUSA, Rodolfo Neiva, M.S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 1989. *Efeito de Dois Espaçamentos na Produção em Peso e Volume de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden)*. Professor Orientador: João Carlos Chagas Campos. Professores Conselheiros: Benedito Rocha Vital e Adair José Regazzi.

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito de dois espaçamentos mais usuais no crescimento em volume e peso de *Eucalyptus grandis*. Objetivos complementares foram a construção de tabelas de produção para a espécie e determinação das idades de rotação técnica que otimizam a produção.

Com este propósito foram utilizadas duas redes de parcelas permanentes, remedidas em 6 períodos anuais, uma no espaçamento 3,0 x 1,5 m e outra no espaçamento 3,0 x 2,0m. Estes dados foram coletados no Município de Carbonita-MG, em plantios de propriedade da Cia. Agrícola e Florestal Santa Bárbara.

Para determinação do volume das árvores individuais, procedeu-se à cubagem rigorosa de 127 árvores-amostra. Estas



mesmas árvores constituíram a fonte de dados para determinação da densidade da madeira. A partir dessas medições foram ajustadas equações de volume e peso de madeira a 0% de umidade por árvore. Equações de altura foram também ajustadas para cada espaçamento. A partir dessas equações foi possível obter valores observados de incremento em área basal, bem como do volume e peso de madeira a 0% de umidade, por hectare, segundo o índice de local. Equações foram também ajustadas para estimar essas três variáveis. As equações de produção em peso e volume obtidas, representativas de uma tabela de produção empírica, foram, então, implementadas de forma a estimar a produção futura. Isso foi feito substituindo-se nessas equações a estimativa de produção futura da área basal por hectare, a qual foi obtida a partir da soma dos incrementos anuais resultantes de uma equação de incremento em área basal.

A densidade básica média (DBM) de *Eucalyptus grandis* cresce com a idade tendendo à estabilização aos 90 meses de idade. O valor médio da DBM encontrado foi 0,4797 g/cm<sup>3</sup>.

A produção em peso e volume foi maior no espaçamento 3,0 x 1,5 m, mas em locais melhores a produção tende a se igualar a partir de 114 meses. A idade de rotação técnica foi menor no espaçamento 3,0 x 1,5 m, e dentro de um mesmo espaçamento, o máximo incremento médio anual (IMA) em volume ocorreu mais cedo que o máximo IMA em peso. Ainda, observou-se que a idade de máximo IMA, tanto em volume como em peso, diminui com o aumento do índice de local.



## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir de 1966, o reflorestamento com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* tomou um ritmo bastante acelerado, propiciado não só pela crescente demanda de madeira, mas, principalmente, pela promulgação da lei dos incentivos fiscais para o reflorestamento. Hoje o país possui cerca de seis milhões de hectares reflorestados, estando dois milhões deste total no Estado de Minas Gerais. A área média de plantio anual no Brasil aproxima-se de 400.000 hectares (REZENDE, 1987).

Devido ao papel relevante que o setor florestal desempenha na economia brasileira, representando 3% do PIB (Produto Interno Bruto), é importante a execução de planos de manejo que garantam a produtividade desses povoamentos, assegurando estoques condizentes com as necessidades do país.

Das diversas finalidades da madeira dos reflorestamentos no Brasil, destacam-se as destinadas à indústria de



papel e celulose e ao setor siderúrgico, que são as principais fontes consumidoras, sendo que estes dois segmentos do setor industrial detêm hoje domínio quase total sobre a área reflorestada no país. Os demais setores industriais, como os de cerâmica, cimento, alimentos, bebidas e têxtil, também estão seguindo uma tendência de substituição de óleo combustível pela madeira e seus derivados. Estima-se que 27,4 milhões de toneladas de madeira seriam necessários anualmente para suprir essa substituição (VITAL *et alii*, 1981). Tomando como base uma produtividade média anual para o Estado de Minas Gerais de cerca de 15 m<sup>3</sup>/ha ou 7 toneladas/ha, numa idade próxima a 7 anos, seria necessário uma área reflorestada de 4,5 milhões de hectares, além do reflorestamento destinado aos setores de papel e celulose e carvão vegetal.

Para que se possa elaborar planos de manejo florestal com base racional, é importante que se conheça a dinâmica de crescimento dos povoamentos. Esta dinâmica pode ser bem entendida por meio do estudo de crescimento e produção florestal, pelo qual se entende a análise da relação entre qualquer medida de produção (usualmente o volume) produzido por um povoamento florestal, em relação a variáveis como idade, qualidade de local e densidade do povoamento. É justamente a análise de interrelação destas variáveis que distingue o estudo de crescimento e produção dos inventários florestais convencionais (CAMPOS e RIBEIRO, 1983).

A primeira avaliação do rendimento de plantios de eucaliptos no Brasil foi feita por HEINSDIJK *et alii* (1965) quando então se elaborou uma tabela de produção do tipo empírico.



Embora a variável volume seja a mais usual para representar a produção, pode não ser a mais adequada, dependendo do uso final que se der à madeira. Quando o objetivo final é a produção de carvão vegetal, celulose ou chapas de fibras, o uso do peso de madeira a 0% de umidade como medida da produção é mais indicado (VITAL *et alii*, 1985). Da mesma forma que o volume, o peso da madeira pode ser estimado a partir de características diretamente mensuráveis na árvore, ou seja, o diâmetro na altura de 1,3 m (DAP) e a altura total. Modelos de predição da produção em peso podem ser ajustados da forma convencional, tal como é feito para volume. Esses modelos de predição da produção são os chamados modelos de crescimento e produção, e são expressões matemáticas que apresentam informações sobre crescimento e produção florestal. Além de servir para predizer o crescimento e produção de árvores e povoamentos florestais, esses modelos são valiosos instrumentos em atividades de manejo, particularmente em casos de desbastes e regulação da produção dos povoamentos.

No Brasil ainda está bastante indefinida a melhor densidade de plantio (espaçamento) para pinus e eucaliptos, sendo que cada empresa define o seu espaçamento sem muita base científica. De modo geral, os espaçamentos mais usuais são 3,0 x 2,0 m e 3,0 x 1,5 m.

Face ao exposto, faz-se necessário a definição do espaçamento inicial que otimize a produção final. Essa densidade ótima de plantio pode diferir de uma espécie para outra, e ainda, para uma mesma espécie, pode diferir de uma região para outra, segundo a qualidade do local. Então,



para uma espécie, em uma mesma região, o melhor espaçamento é o que resulta em maior peso de madeira por hectare ao final da rotação, quando a utilização da madeira for para fim energético.

Trabalhos de inventário e mensuração florestal no Brasil, com frequência empregam a variável volume em lugar de peso, mesmo que o uso da madeira seja para produção de energia. Peso e volume devem ser considerados, entretanto, como unidades complementares.

Com base nesses problemas foram estabelecidos os objetivos deste estudo.

### 1.1. Objetivos

- a) Analisar o efeito de dois espaçamentos no crescimento em volume e peso a 0% de umidade de *Eucalyptus grandis*;
- b) Determinar as idades de rotação, sob o ponto de vista do máximo incremento em peso e volume;
- c) Estabelecer tabelas de produção em peso e volume para essa espécie.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A literatura concernente a estudos de crescimento e produção florestal no Brasil é bastante reduzida, ao contrário do que ocorre nos Estados Unidos e Europa. Nesta revisão pretende-se abordar alguns conceitos básicos da mensuração florestal, bem como enfatizar os tópicos mais diretamente relacionados com os objetivos deste trabalho.

### 2.1. *Crescimento, Produção e Fonte de Dados*

Entende-se por crescimento de uma árvore o acúmulo de material lenhoso ao longo do tempo, sendo este acúmulo avaliado pela determinação do volume ou peso da árvore. O mesmo raciocínio é válido para se entender o crescimento de um povoamento. Por produção entende-se a soma dos crescimentos por unidade de tempo ao final da rotação ou corte do povoamento (STEPHEN e MORTON, 1985). Sabe-se que o crescimento é afetado por vários fatores, dentre eles: o clima



local, a fertilidade e atividade biológica no solo, a disponibilidade d'água e luminosidade, sendo estes os determinantes da capacidade produtiva do local, ou simplesmente sítio. Todavia, os efeitos de fatores como disponibilidade de água, luz solar e nutrientes do solo podem ser mascarados caso haja competição entre árvores vizinhas, e é nesse sentido que o espaçamento entre as árvores pode afetar substancialmente o crescimento.

Existe uma tendência de se reduzir os espaçamentos tradicionais e, em consequência, a idade de corte. No entanto, fatores que afetam o crescimento podem ocasionar modificações na qualidade da madeira. Alguns estudos têm demonstrado que, principalmente em coníferas, um crescimento acelerado pode ocasionar redução na densidade da madeira, de maneira que um aumento na taxa de crescimento não corresponderá, necessariamente, ao aumento proporcional do peso de madeira por unidade de volume (VITAL *et alii*, 1981).

Para efeito de obtenção de dados para estudos de crescimento e produção dos povoamentos florestais, o meio mais eficaz é o estabelecimento de uma rede de parcelas permanentes alocadas de forma seletiva, visando alcançar toda a variação de qualidade de local (sítio) e área basal (ALDER, 1980; CAMPOS e PEREIRA, 1981).

## 2.2. Determinação da Capacidade Produtiva de Local

O conhecimento da produtividade dos sítios que compõem uma região é de importância na orientação de inventário florestal, na predição da produção em estudos de



espécies e na definição de práticas adequadas de manejo florestal (BATISTA e COUTO, 1986). Existem métodos diretos de determinação da capacidade produtiva de locais baseados na vegetação indicadora, ou indiretos, baseados em fatores edáficos e climáticos, indicados para locais onde a espécie ainda não foi introduzida (CLUTTER, 1963).

A técnica mais comumente empregada para se avaliar o índice de local, e suposta ser a que apresenta menos restrições, é a determinação da altura média de árvores dominantes e co-dominantes, numa idade-índice escolhida arbitrariamente. Segundo HUSCH *et alii* (1972), existe uma correlação muito grande entre o potencial produtivo de um local e o crescimento em altura. De fato, parece haver um consenso entre os diversos autores de que este é o melhor índice para representar o local, ou sítio.

### 2.3. Avaliação da Produção

Modelos de crescimento e produção de povoamentos florestais muitas vezes são representados por tabelas de produção. Uma alternativa de ajustamento desses modelos é a utilização de análise de regressão. Conforme HUSCH *et alii* (1972), as variáveis mais usuais para compor essas equações são: a idade, o índice de local e a área basal.

Uma classificação de tabelas de produção define como Tabela de Produção Normal aquela que exprime a produção em um povoamento normal, segundo a idade e o índice de local. Por povoamento normal, entende-se aquele em que o espaço de crescimento está plenamente ocupado, e, portanto, a variável



densidade de plantio é mantida constante (HUSCH *et alii*, 1972).

Tabela de Produção Empírica, por outro lado, requer a variável densidade de plantio, além de idade e índice de local. São empregadas em povoamentos que seguem um manejo específico, igual àquele seguido onde os dados de sua construção foram coletados (BUCKMAN, 1962).

Um terceiro tipo, desenvolvido inicialmente por BUCKMAN (1962), é a denominada Tabela de Produção de Densidade Variável, sendo indicada para povoamentos manejados segundo níveis específicos de desbaste, e fornecem a taxa de crescimento das árvores remanescentes. O emprego dessas tabelas permite avaliar as diferentes alternativas de tratamentos silviculturais sob diferentes condições econômicas, sendo suas aplicações um procedimento importante em manejo florestal.

Um modelo é usualmente a descrição quantitativa da interação dos componentes do meio ambiente. As variáveis mais relacionadas com o crescimento são combinadas de forma a expressar a dinâmica do povoamento (STEPHEN e MORTON, 1985). Conforme SADIQ (1980), existem também os modelos biomatemáticos, que são expressões matemáticas de hipóteses concernentes às causas essenciais de fenômenos de crescimento. Estes modelos são de uso mais restrito, uma vez que as variáveis usadas têm interpretação fisiológica e biológica, portanto, de ordens bastante subjetivas.

Segundo BUCKMAN (1962), dentre todas as variáveis independentes relacionadas com o crescimento, a idade, o índice de local e a área basal são as mais importantes. Chambers,



citado por CLUTTER *et alii* (1983) observou que todos os modelos citados na literatura envolvem combinações diversas dessas variáveis. Dentre as variáveis testadas para prever o crescimento, essas variáveis não só têm alto relacionamento com o crescimento, como também são de fácil determinação.

RALPH *et alii* (1984), enfatizam a dificuldade de se utilizar variáveis como intensidade e práticas de manejo, ataques de insetos, ação de fogo e doenças, que certamente teriam uma avaliação bastante subjetiva, e em consequência, não confeririam confiabilidade ao modelo. Estes mesmos autores ainda testaram modelos que consideravam o aspecto econômico, usando variáveis como custo de implantação e exploração, bem como o esgotamento do local (JOHNSTONE, 1981; OWENS *et alii*, 1975). O objetivo do uso destes modelos era a avaliação silvicultural e econômica de certas práticas de manejo, podendo-se evidenciar três passos distintos na predição da produção: estimação do volume das árvores, estimação do volume para todos graus de estoque e projeção da existência presente para o futuro, após determinado período.

#### 2.4. Compatibilidade de Modelos de Crescimento e Produção

Durante o desenvolvimento da técnica de construção de modelos do tipo Densidade Variável, CLUTTER (1963) entendeu que não havia até aquela época qualquer preocupação em se relacionar matematicamente as equações de crescimento com aquelas que expressavam a produção florestal. Esse mesmo autor definiu então como sendo "compatíveis" aqueles modelos em que a forma algébrica da equação de produção pode



ser obtida por integração matemática da equação de crescimento. O benefício do emprego de equações compatíveis no modelo de crescimento e produção foi a consistência obtida ao se separar o crescimento da produção. Ao desenvolver pela primeira vez tabelas de produção tipo variável combinada, BUCKAMN (1962) também utilizou o princípio da compatibilidade de matemática, sem, todavia, conhecer o trabalho de Clutter.

Equações independentes de crescimento e produção podem, entretanto, resultar em estimativas compatíveis ou não, enquanto equações dependentes matematicamente sempre resultarão em estimativas compatíveis. O sucesso do emprego de equações incompatíveis depende da qualidade dos dados e da eficiência dos modelos de regressão empregados. Um modelo incompatível matematicamente, mas que resultou em estimativas compatíveis entre o incremento e a produção foi publicado por Chambers, em 1980.

## 2.5. *Uso de Modelos na Predição da Produção*

Existem diversas alternativas para se obter a produção ao final de determinado período, e se observa com frequência o emprego de versões modificadas do modelo básico de Schumacher. CHAMBERS (1980), propõe uma metodologia para predizer a produção a partir de modelos onde o índice de local (S), a idade (I) e a densidade de plantio (B), constituem variáveis independentes. Sinteticamente, a metodologia referida por este autor envolve:

- a) Ajuste de equação de incremento em área basal (dB), onde  $dB = \text{função}(B, S, I)$ ;



b) Obtenção do crescimento periódico em área basal, pela soma dos incrementos anuais (dB) num período determinado de idade inicial ( $I_1$ ) à idade final ( $I_2$ );

c) Ajuste de uma equação da produção em volume (V), onde  $V = \text{função}(B, S, I)$ ;

d) Estimação do volume numa idade futura ( $I_2$ ), pela mesma equação obtida em (c), apenas substituindo as variáveis  $I_1, B_1$  por  $I_2, B_2$  (área basal numa idade futura).

Logicamente, esse mesmo procedimento é válido para se predizer o peso.

É possível também se utilizar esta metodologia em povoamentos heterogêneos, e uma solução possível para se diminuir os erros de estimação, seria a extratificação da área segundo a espécie. Dado que cada espécie apresenta uma taxa de crescimento inerente à suas peculiaridades fisiológicas, um modelo construído para uma determinada espécie não serviria para predizer o crescimento de outra.

Um problema existente na área florestal é a falta de dados adequados para predição do crescimento das diversas espécies (CAMPOS, 1986). No caso específico do Brasil, não somente a falta de dados adequados, mas, principalmente, a não conscientização da utilidade das tabelas de produção, têm deixado os estudos relativos a esta área relegados a um segundo plano. Segundo STAGE (1981), um bom manejador deve incluir em seu planejamento um estudo das potencialidades da produção de madeira em sua região, e para isso deveria acompanhar o crescimento das plantações, amostrando a área periodicamente.



### 2.5.1. Validade de um Modelo de Regressão

Segundo RALPH *et alii* (1984), dois critérios são usualmente empregados para avaliar a aplicabilidade de um modelo: a "extrapolação" e a "validação". Enquanto a extrapolação está relacionada com a flexibilidade do modelo a ser usado para predição da produção em uma área de tamanho razoável, a validação refere-se ao grau de confiabilidade do mesmo. Em termos práticos, a validação pode ser conferida por:

- a) os dados usados para validação devem ser independentes daqueles usados para desenvolver o modelo;
- b) o modelo deve ser avaliado pela saída, ou resultado, que ele produz;
- c) os resíduos estatísticos do teste de validação devem ser similares àqueles do ajuste do modelo;
- d) variações no modelo de predição devem acompanhar as variações dos dados de validação;
- e) o modelo não deve exibir erro de tendência (bias) em relação aos dados na validação.

Em geral, um "bias" é examinado por testes de hipóteses estatísticas que testam se a diferença entre o dado observado e o estimado ou predito é estatisticamente igual a zero.

As estatísticas usadas para avaliar um modelo permitem a seleção daquele mais eficiente dentro de um grupo testado. Aquelas mais comumente usadas são: o erro padrão estimado ( $S_{y.x}$ ), o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ), o desvio percentual, a análise gráfica dos resíduos, e o



coeficiente de variação (C.V.) (SADIQ, 1980). Pelo erro padrão estimado, verifica-se qual modelo representa melhor os dados observados, entretanto não significa que este modelo terá a mais alta exatidão de predição futura.

O coeficiente de determinação representa o quanto da variação total está sendo explicada pela regressão, e o quanto é devido a outros fatores não considerados no modelo. O coeficiente de determinação não ajustado, tem limitações conhecidas, como é o fato de não poder ser confrontado diretamente para equações que tenham número diferente de variáveis independentes. Barret, citado por SADIQ (1980), mostrou que o  $R^2$  cresce com o número de variáveis independentes no modelo. Por isso, existe o coeficiente de determinação corrigido ( $\bar{R}^2$ ), que é dado pela seguinte fórmula:

$$\bar{R}^2 = 1 - (1-R^2) \cdot [(N-1)/(N-K-1)]$$

onde:

$N$  = número total de observações;

$K$  = número de variáveis independentes no modelo;

$R^2$  = coeficiente de determinação sem ajustar.

$$\text{O desvio percentual} = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_i - \hat{Y}_i)/Y_i] \cdot 100}{n}$$

onde:

$n$  = número de observações usadas no teste;

$Y_i$  =  $i$ -ésima observação da variável dependente;

$\hat{Y}_i$  =  $i$ -ésima observação predita pela equação.



A análise gráfica dos resíduos permite uma avaliação da adequacidade do modelo adotado, quanto à existência ou não de tendenciosidade; e o coeficiente de variação (C.V.) dá uma idéia da dispersão dos dados em torno da média. O uso do C.V. é mais interessante que do  $S_{y.x}$ , uma vez que o primeiro é uma grandeza relativa e adimensional, o que facilita a comparação direta entre diferentes equações.

### 2.5.2. Igualdade de Equações de Regressão

Uma vez escolhido o melhor modelo para representar os dados, haveria ainda uma segunda questão: poderia uma equação gerada com um conjunto de dados "A" ser usada em detrimento de outra, ajustada com um conjunto de dados "B", ou ainda, seria melhor usar uma terceira equação, ajustada com os dados de "A" e "B", para os mesmos propósitos?

GRAYBILL (1976), apresenta um método para testar a igualdade de equações de regressão, que em síntese, consiste na montagem do quadro de análise de variância da regressão e aplicação do teste F. O teste estatístico para comparar as equações é baseado na diferença da soma de quadrados de todos os parâmetros e a soma de quadrados de parâmetros do modelo reduzido. A hipótese de nulidade é que os parâmetros sejam iguais, ou seja, que o vetor de parâmetros de um modelo seja igual ao do outro comparado, e a rejeição dessa hipótese implica na impossibilidade do uso de um modelo com estimativas comuns dos parâmetros.



## 2.6. Efeitos da Densidade de Plantio

O principal fator a ser considerado na definição da densidade inicial de plantio é o objetivo final a que se presta a madeira (OWENS *et alii*, 1975). Portanto não se pode afirmar sobre o espaçamento ideal para determinada espécie, sob determinadas condições de crescimento, se não se definir os objetivos aos quais se prestarão o produto final.

Quando o povoamento está completamente "estocado", ou seja, quando já usou completamente o seu espaço de crescimento, este passa a ser semelhante para qualquer espaçamento. De modo geral, o crescimento em altura é maior nos espaçamentos mais abertos, e a diferença de altura entre espaçamentos distintos vai se acentuando com a idade. De modo similar à altura, o crescimento em diâmetro também é menor nos espaçamentos mais fechados. Tal fato é consequência de uma maior competição entre as árvores. Deve-se ainda considerar que os custos de implantação e exploração, quando se usa espaçamentos abertos, são menores do que em povoamentos fechados (KILPATRICK *et alii*, 1981).

Espaçamentos extremamente abertos produzem maior volume individual, devido a uma maior área de utilização dos recursos minerais, água e luminosidade; todavia, a produção final pode ser menor devido à existência de poucas plantas por unidade de área, resultando em sub-ocupação da área de plantio, além de afetar a seleção natural das árvores.

Povoamentos extremamente fechados ocasionam alta taxa de mortalidade, o que faz que não haja uma relação direta entre a densidade de plantio e o volume. Na prática, o



espaçamento que confere maior produção em volume tem sido de grau intermediário, variando de uma espécie para outra, e de uma região para outra (MAEGLIN, 1967, MITCHELL, 1977).

Quanto à forma, as árvores tendem a ter um formato mais cônico, quando crescem livremente, e mais cilíndrico, em espaçamentos mais fechados. Além disso, a ocorrência de galhos, bem como a percentagem de casca, é maior em espaçamentos mais abertos (OWENS *et alii*, 1975; MITCHELL, 1977; ZAVITKOVSKI e DAWSON, 1978; KILPATRICK *et alii*, 1981).

MITCHELL (1977), sugere que, para se maximizar a produção em volume, deve-se iniciar o plantio com espaçamento fechado, desbastando-se periodicamente de modo a se obter rendimentos antecipados e um produto final de dimensões consideráveis.

A densidade do plantio não afeta significativamente a densidade básica da madeira (MAEGLIN, 1967, VITAL *et alii*, 1981), todavia, afeta a qualidade da madeira em termos de ocorrência de galhos e nós, e na forma do tronco (KILPATRICK *et alii*, 1981; MITCHELL, 1977).

Segundo Jayne, citado por MAEGLIN (1967), embora a densidade do povoamento tenha muito pouco efeito sobre a densidade básica da madeira, o mesmo não ocorre em relação à qualidade do local (sítio), o qual, após o fator idade, é suposto ser aquele que mais afeta a densidade básica. Ainda, segundo esse autor, quanto pior a qualidade de local, maior será a densidade básica da madeira, e este fato está relacionado com uma taxa de crescimento menor nos locais inferiores. Este mesmo autor, citando outros pesquisadores, menciona que, em trabalhos com *Pinus Patula* e *Pinus resinosa*



concluiu-se que o espaçamento não afeta a densidade básica da madeira.

Segundo ZOBEL *et alii* (1969), em estudos com *Pinus taeda*, a densidade básica média (DBM) não é afetada significativamente por variações na qualidade do local e na densidade de plantio, sendo, todavia, altamente correlacionada com a idade da árvore.

### 2.7. Rotação Florestal

Segundo ZAVITKOVSKI e DAWSON (1978), qualquer decisão de tratamento tomada em relação ao povoamento visa alcançar os objetivos pretendidos; portanto, o tempo da rotação é uma variável que depende do uso da madeira. Quando se exige madeira de dimensões consideráveis, obviamente a rotação será mais longa do que quando o objetivo for simplesmente biomassa. Se, contudo, o objetivo é obter o máximo em material lenhoso, a rotação se fará no ponto em que o povoamento atinge o seu máximo incremento médio anual. Em geral, segundo esses autores, povoamentos mais densos apresentam rotação mais curta que povoamentos mais abertos. Dependendo da densidade do plantio, pode-se atingir o máximo incremento médio anual (IMA) em peso seco numa idade diferente daquela em que ocorre o máximo IMA em volume. Em outras palavras, isto quer dizer que pode-se chegar a diferentes idades de rotação do ponto de vista silvicultural, caso a produção seja expressa em volume ou peso.

REZENDE e FERRAZ (1986) concluíram que a idade ideal para o corte sob o ponto de vista do máximo incremento em



peso é 32% maior que a idade de máximo incremento em volume, para *Eucalyptus grandis*. Segundo VITAL *et alii* (1981), a densidade da madeira decresce com o aumento da altura e cresce no sentido medula-casca. Então, quando se determina a idade de corte sob o ponto de vista do máximo incremento em volume, desconsidera-se o fato de que os anéis de crescimento mais próximos da casca apresentam maiores quantidades de fibras por unidade de volume que os mais próximos da medula. Isto certamente provoca um aumento na idade de corte, com base no incremento em peso de madeira (REZENDE e FERRAZ, 1986).

Segundo REZENDE *et alii* (1987), sob o ponto de vista econômico, para uma mesma taxa de desconto, a idade ótima de corte tende a aumentar com o aumento do horizonte de planejamento, e ainda, diminui com o aumento da taxa de desconto e aumento do índice de produtividade (expresso pelo índice de local). De acordo com esses mesmos autores, perde-se menos fazendo-se o corte após a idade ótima que antes desta.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Características da Região e Fonte de Dados

Este estudo foi realizado com dados provenientes do Município de Carbonita, localizado a nordeste do Estado de Minas Gerais, segundo as coordenadas geográficas 17°50' de latitude sul e 43°00' de longitude W.Gr., com altitude média de 726 metros (MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento, 1984). De acordo com a classificação de GOLFARI (1975), esse município pertence a região bioclimática 7, de clima tropical úmido sub-úmido e temperatura média anual de 19 a 22°C. A evapotranspiração potencial anual varia de 900 a 1.100 mm e a vegetação predominante é o cerrado, com gradação do cerradão ao campo.

Foram utilizados dados de duas redes de parcelas permanentes estabelecidas em plantios de *Eucalyptus grandis*, nas frequências 18 e 18, e espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m. As frequências das remedições foram 6 em ambos os



casos (Quadros 1 e 2). A área média das parcelas era de 600 m<sup>2</sup> e em cada medição foram registrados os diâmetros a 1,3 m (Dap) de todas as árvores, as alturas de 12 árvores dominantes (Hd), além das alturas totais (Ht) de cerca de 20 árvores por parcela. As idades levantadas foram, respectivamente, 18, 31, 42, 57, 66 e 81 meses no espaçamento 3,0 x 1,5 m e 30, 43, 54, 67, 78 e 93 meses no espaçamento 3,0 x 2,0 m.

Visando o ajuste de equações de volume e peso foram abatidas árvores em todas as classes de DAP, segundo a idade (Quadro 3). As mesmas árvores-amostra utilizadas no ajuste das equações de volume foram também utilizadas na determinação da densidade básica média (DBM) por árvore, para, então, se ajustar as equações de peso.

Para avaliar o ajustamento de todas as equações os critérios estatísticos adotados foram: coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}^2$ ); coeficiente de variação (C.V.), e a análise gráfica dos resíduos.

### 3.2. *Determinação do Volume Real e da Densidade Básica Média por Árvore*

O volume real foi obtido a partir das medições usuais de diâmetro e casca, a cada metro, ao longo do tronco das árvores-amostra, a partir da altura de 0,3 m até alcançar um diâmetro mínimo aproximado de 3,0 cm. Nesta cubagem foi empregada a fórmula de Smalian. Destas mesmas árvores foram retirados 6 discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura ao longo do tronco, sendo o primeiro na base, o segundo



QUADRO 1 - Distribuição de Frequência das Parcelas por Idade, Área Basal e Índice de Local, no Espaçamento 3,0 x 1,5 m

Idade (meses)	Classe de Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Índice de Local				
		10	12	14	16	Total
18	0,1 - 6,0	3	11	2	1	17
	6,1 - 9,0				1	1
	9,1 - 12,0					
	12,1 - 15,0					
	15,1 - 18,0					
31	3,1 - 6,0	3				3
	6,1 - 9,0		11	1		12
	9,1 - 12,0			1	2	3
	12,1 - 15,0					
	15,1 - 18,0					
42	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0	3	2			5
	9,1 - 12,0		8	1		9
	12,1 - 15,0		1	1	1	3
	15,1 - 18,0				1	1
	18,1 - 21,0					
> 21,1						
57	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0	1				1
	9,1 - 12,0	2	3			5
	12,1 - 15,0		7	1	1	9
	15,1 - 18,0		1	1		2
	18,1 - 21,0					
> 21,1				1	1	
66	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0					
	9,1 - 12,0	2	2			4
	12,1 - 15,0	1	5			6
	15,1 - 18,0		4	2	1	7
	18,1 - 21,0					
> 21,1				1	1	
81	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0					
	9,1 - 12,0	2	1			3
	12,1 - 15,0	1	3			4
	15,1 - 18,0		6		1	7
	18,1 - 21,0		1	2		3
> 21,1				1	1	
TOTAL		18	66	12	12	108



QUADRO 2 - Distribuição de Frequência das Parcelas por Idade, Área Basal e Índice de Local, no Espaçamento 3,0 x 2,0 m<sup>2</sup>

Idade (meses)	Classe de Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Índice de Local				Total
		10	12	14	16	
30	3,1 - 6,0	6	1		1	8
	6,1 - 9,0		3	5		8
	9,1 - 12,0			1	1	2
	12,1 - 15,0					
	15,1 - 18,0					
43	3,1 - 6,0	4				4
	6,1 - 9,0	2	2	1		5
	9,1 - 12,0		2	5	1	8
	12,1 - 15,0				1	1
	15,1 - 18,0					
54	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0	6				6
	9,1 - 12,0		4	2		6
	12,1 - 15,0			4	1	5
	15,1 - 18,0					
	18,1 - 21,0				1	1
	> 21,1					
67	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0	3				3
	9,1 - 12,0	3	1			4
	12,1 - 15,0		3	2		5
	15,1 - 18,0			4		4
	18,1 - 21,0				1	1
	> 21,1				1	1
78	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0	2				2
	9,1 - 12,0	4	1			5
	12,1 - 15,0		3	2		5
	15,1 - 18,0			3		3
	18,1 - 21,0			1	1	2
	> 21,1				1	1
93	3,1 - 6,0					
	6,1 - 9,0					
	9,1 - 12,0	3				3
	12,1 - 15,0	3	1			4
	15,1 - 18,0		3	2		5
	18,1 - 21,0			3		3
	> 21,1			1	2	3
TOTAL		36	24	36	12	108



QUADRO 3 - Distribuição de Frequência das Árvores-Amostra Utilizadas no Ajustamento de Equações de Volume e Peso

Classe de Circunferência (cm)	Classe de Altura (m)							Total
	10	12	14	16	18	20	22	
15,1 - 20,0	5							5
20,1 - 25,0	3	4	3	1				11
25,1 - 30,0		8	4	3	3			18
30,1 - 35,0	1	4	1	10	1			17
35,1 - 40,0		5	2	5	3	1		16
40,1 - 45,0		1	3	4	5	1		14
45,1 - 50,0			1	7	7	4		19
50,1 - 55,0			1		9	3	2	15
55,1 - 60,0					2	5	1	8
60,1 - 65,0						4		4
TOTAL	9	22	15	30	30	18	3	127

na altura de 1,3 m, e os demais a 25%, 50%, 75% e próximo a 100% da altura comercial da árvore. Esta amostragem foi feita apenas em plantios de espaçamento 3,0 x 1,5 m, uma vez suposto que a densidade básica média da madeira não é afetada pela densidade do plantio, e ainda, foram coletados em áreas diferentes, observando a variação da qualidade dos locais. Os discos retirados foram identificados e acondicionados em sacos plásticos, e posteriormente enviados para análise no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, da Universidade Federal de Viçosa. Na determinação da densidade básica da madeira sem casca e da casca



foi utilizado o método de imersão em água, conforme procedimento descrito por VITAL (1984). Para se determinar a densidade básica da árvore foi utilizado o volume compreendido entre 2 discos sucessivos como fator de ponderamento. O peso de madeira a 0% de umidade foi finalmente obtido pela soma do volume de madeira sem casca multiplicado pela densidade básica da madeira, mais o volume de casca multiplicado pela densidade da casca. Para interpretação do comportamento da densidade básica média da madeira em relação a idade, foi ajustado o modelo:

$$DBM = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \epsilon \quad (3.2.1)$$

onde:

DBM = densidade básica média da madeira, em g/cm<sup>3</sup>;

I = idade (meses);

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  = parâmetros do modelo;

$\epsilon$  = erro aleatório.

O processo de determinação da densidade básica da árvore seria bastante facilitado se, amostrando um único ponto na árvore, fosse possível obter uma amostra representativa da mesma. Nessa tentativa foi ajustado um modelo procurando estimar a DBM em função da densidade básica obtida na altura do Dap. Dessa forma, a estimação da DBM poderia ser obtida a partir da densidade observada nessa altura. Então,

$$DBM = \beta_0 + \beta_1 \cdot DDap + \epsilon \quad (3.2.2)$$

onde:



DDap = densidade medida na altura do Dap ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

DBM,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\epsilon$  = conforme citados.

Segundo ZOBEL *et alii* (1969), diversos estudos têm mostrado que a DBM está relacionada com DDap; todavia, para se estimar DBM da árvore a partir do Dap visando a predição da produção em peso, é necessário que ocorra uma alta correlação. Em trabalho com *Pinus taeda*, estes mesmos autores encontraram um valor de coeficiente de determinação corrigido ( $\bar{R}^2$ ) igual a 0,88.

### 3.3. Equações de Peso, Volume, Altura e Índice de Local

Os modelos utilizados no ajustamento de equações de volume e peso são aqueles já testados e relacionados em estudos anteriores com eucalipto (CAMPOS, 1986; TREVIZOL JUNIOR, 1985; VITAL, 1985). Assim, para determinação do volume foi testado o modelo de Schumacher. Este mesmo modelo, acrescido da variável idade, foi também testado neste estudo:

$$V = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot \epsilon \quad (3.3.1)$$

$$V = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot I^{\beta_3} \cdot \epsilon \quad (3.3.2)$$

em que:

V = volume por árvore ( $\text{m}^3$ );

D = diâmetro a 1,3 m (cm);



H = altura total da árvore (m);

I = idade da árvore (meses);

$\epsilon$  = erro aleatório;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  = parâmetros do modelo.

Na estimação do peso da madeira foram testados os seguintes modelos:

$$W = \beta_0 \cdot D^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} \cdot I^{\beta_3} \cdot \epsilon \quad (3.3.3)$$

$$W = \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot (D^2 \cdot H) \cdot \epsilon \quad (3.3.4)$$

em que:

W = peso da madeira a 0% de umidade, por árvore (kg);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, D, H, I, \epsilon$  = conforme citado.

Na estimação da altura foram testados inicialmente os modelos propostos por CAMPOS (1984), TREVIZOL JÚNIOR (1985), e CAMPOS (1986), das seguintes formas:

$$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot S \cdot \ln I + \beta_2 \cdot D + \epsilon \quad \text{CAMPOS (1986)} \quad (3.3.5)$$

$$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot Hd + \epsilon \quad \text{CAMPOS (1984)} \quad (3.3.6)$$

$$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot S + \beta_2 \cdot \ln I + \beta_3 \cdot \ln D + \beta_4 \cdot D + \epsilon \quad \text{T. JÚNIOR (3.3.7)}$$

$$H = \beta_0 + \beta_1 \cdot S + \beta_2 \cdot D \cdot I + \beta_3 \cdot I + \beta_4 \cdot D + \epsilon \quad \text{T. JÚNIOR (3.3.8)}$$



em que:

$\ln I$  = logaritmo natural da idade;

$\ln D$  = logaritmo natural do diâmetro;

Hd = altura dominante (m);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, D, I, S, H, \epsilon$  = conforme citado.

Na determinação da capacidade produtiva dos locais foi empregado um modelo também proposto por Schumacher, em vista dos resultados favoráveis encontrados em estudos anteriores (CAMPOS, 1984; TREVIZOL JÚNIOR, 1985; e CAMPOS, 1986), escrito na forma:

$$Hd = \beta_0 \cdot \beta_1^{(1/I)} \cdot \epsilon \quad (3.3.9)$$

Linearizando o modelo 3.3.9 obtém-se:

$$\ln Hd = \ln \beta_0 + \ln \beta_1 \cdot (1/I) + \ln \epsilon \quad (3.3.10)$$

em que:

Hd = altura dominante (m);

I = idade (meses);

$\ln$  = logaritmo natural;

$\beta_0, \beta_1, \epsilon$  = conforme citado.

A partir da equação ajustada, por transformações algébricas conforme HUSCH *et alii* (1972), e utilizando-se uma idade-índice igual a 54 meses, para ser compatível com a rotação da espécie, foram obtidas curvas anamórficas de índices de local.



### 3.4. Determinação da Idade de Corte

Ajustadas as equações de altura, volume e peso, foi possível também ajustar um modelo de produção em função somente da idade, sendo:

$$e_n Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I) \quad (3.4.1)$$

ou ainda, em forma aritmética:

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)} \quad (3.4.2)$$

sendo Y o volume (V) ou o peso (W), por hectare, e I, a idade em meses.

O incremento médio mensal (IMM) foi obtido dividindo-se a estimativa desta equação pela idade em meses, ou seja:

$$\text{IMM} = e^{\frac{[\beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)]}{I}} \quad (3.4.3)$$

O incremento corrente mensal (ICM) foi obtido pela derivação da equação 3.4.1 em função da idade, isto é:

$$dY/dI = -\beta_1 \cdot (1/I^2) \cdot Y \quad (3.4.4)$$

Logo,

$$\text{ICM} = dY/dI = -\beta_1 \cdot e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)} \cdot (1/I^2) \quad (3.4.5)$$

E a idade de corte, sob o ponto de vista do máximo incremento médio, se dá no ponto em que  $\text{IMM} = \text{ICM}$ . Então:



$$\frac{e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)}}{I} = -\beta_1 \cdot e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)} \cdot (1/I^2) \longrightarrow I = -\beta_1 \quad (3.4.7)$$

### 3.5. Equações e Tabelas de Produção

O método seguido para expressão do incremento e da produção foi o proposto por CHAMBERS (1980), em que a estimação da produção futura é feita a partir de uma equação de produção remanescente, por substituição da área basal (B) por valores futuros estimados. Essa área basal futura, por outro lado, foi obtida por somatório de incrementos anuais, estimados de uma equação de regressão ajustada.

O modelo de produção empregado foi aquele utilizado por BUCKMAN (1962) e ZOBEL *et alii* (1969), da forma:

$$Y = \beta_0 \cdot B^{\beta_1} \cdot S^{\beta_2} \cdot \beta_3^{(1/I)} \cdot \epsilon \quad (3.5.1)$$

em que:

Y = peso da madeira a 0% de umidade (W) ou volume (V) por hectare;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, B, I, S, \epsilon$  = conforme já definidos.

Dada a usual dificuldade em se obter um bom nível de precisão no ajuste da equação de incremento em área basal, vários modelos foram testados, segundo diferentes autores:

$$1 \quad dB = \beta_0 + \beta_1 \cdot B \cdot (1/I) + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot \ln B + \epsilon \quad (3.5.2)$$



$$2 \quad \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)^2 + \beta_2 \cdot S + \epsilon \quad (3.5.3)$$

$$3 \quad \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I) + \beta_2 \cdot S + \epsilon \quad (3.5.4)$$

$$4 \quad \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log(I) + \epsilon \quad (3.5.5)$$

$$5 \quad \log \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \epsilon \quad (3.5.6)$$

$$6 \quad \log \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I) + \epsilon \quad (3.5.7)$$

$$7 \quad \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot I + \beta_2 \cdot I^2 + \epsilon \quad (3.5.8)$$

$$8 \quad \ell_n \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ell_n(I) + \beta_2 \cdot I + \epsilon \quad (3.5.9)$$

$$9 \quad \ell_n \text{dB} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I) + \beta_2 \cdot S + \beta_3 \cdot \ell_n B + \epsilon \quad (3.5.10)$$

em que:

$\ell_n \text{dB}$  = logaritmo natural do incremento em área basal;

$\log \text{dB}$  = logaritmo decimal do incremento em área basal;

$\text{dB}$  = incremento em área basal;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, B, I, S, \epsilon$  = conforme já definidos.



Equações de Índice de Local Ajustadas por Espaça-  
mento e para a Totalidade dos Dados, a Partir da  
Equação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Equação	Espaço	$R^2$	$R^2$	$F$	C.V.
	(m)	(m)	(m)		(%)
1	1,5	0,79931	-17,8162	0,858	8,97
2	2,0	0,94003	-24,1671	0,455	3,28
3	2,5	0,90000	-21,7415	0,504	6,97

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

$I_{54}$  = Idade natural da média da altura dominante;  
 $I_{54}$  = Idade natural da média da altura dominante;

##### 4.1. Classificação da Capacidade Produtiva dos Locais

Os índices de local utilizados na definição da capacidade produtiva foram estabelecidos utilizando-se a idade-índice ( $I_i$ ) de 54 meses como referência. Inicialmente uma equação foi ajustada para cada um dos espaçamentos analisados. Posteriormente, utilizando-se um método para testar a igualdade de modelos, conforme GRAYBILL (1976), concluiu-se que uma única equação seria representativa de ambos espaçamentos (Quadro 4). Para melhor interpretação da variação das alturas dominantes nos povoamentos dos dois espaçamentos considerados, foram representadas as curvas de índice de local, obtidas a partir da equação 3 do Quadro 4 (Figura 1).

Visando trazer maior consistência na estimação da produção segundo a capacidade produtiva, os índices de local foram agrupados em classes de local, uma vez que isso implica num aumento de frequência.



QUADRO 4 - Equações de Índice de Local Ajustadas por Espaçamento e para a Totalidade dos Dados, a Partir da Equação  $\ln \widehat{Hd} = \ln \widehat{\beta}_0 + \ln \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I)$

Equação	Espaçamento (m)	$\widehat{\ln \beta}_0$	$\widehat{\ln \beta}_1$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1	3,0 x 1,5	2,79921	-17,8162	0,658	8,07
2	3,0 x 2,0	2,94003	-24,1621	0,455	8,12
3	geral	2.90000	-21,7415	0,504	6,97

$\ln \widehat{Hd}$  = logaritmo natural da média da altura dominante;  
I = idade (meses).

A forma tabular dos índices de local está representada no Quadro 5, com idades entre 18 e 150 meses. Para efeito de informação complementar, foram também calculadas as alturas médias dominantes para cada índice de local, por idade.

#### 4.2. Estimação da Altura

Para estimação da altura das árvores das parcelas foram testados diferentes modelos de regressão, contendo variáveis como idade (I), índice de local (S), diâmetro (D) e altura dominante (Hd), ou combinações entre elas. Esses modelos, inicialmente ajustados para cada espaçamento, foram escolhidos com base em estudos anteriores, conforme citado em 3.3. As equações ajustadas e as estimativas dos parâmetros estão apresentadas no Quadro 6.



QUADRO 5 - Altura Dominante Média (m) e Incremento Médio Anual da Altura Média (m) em Metros, por Índice de Local, Obtidos a Partir da Equação  $y = 21,7419 \cdot (1/1 - 1/199)$

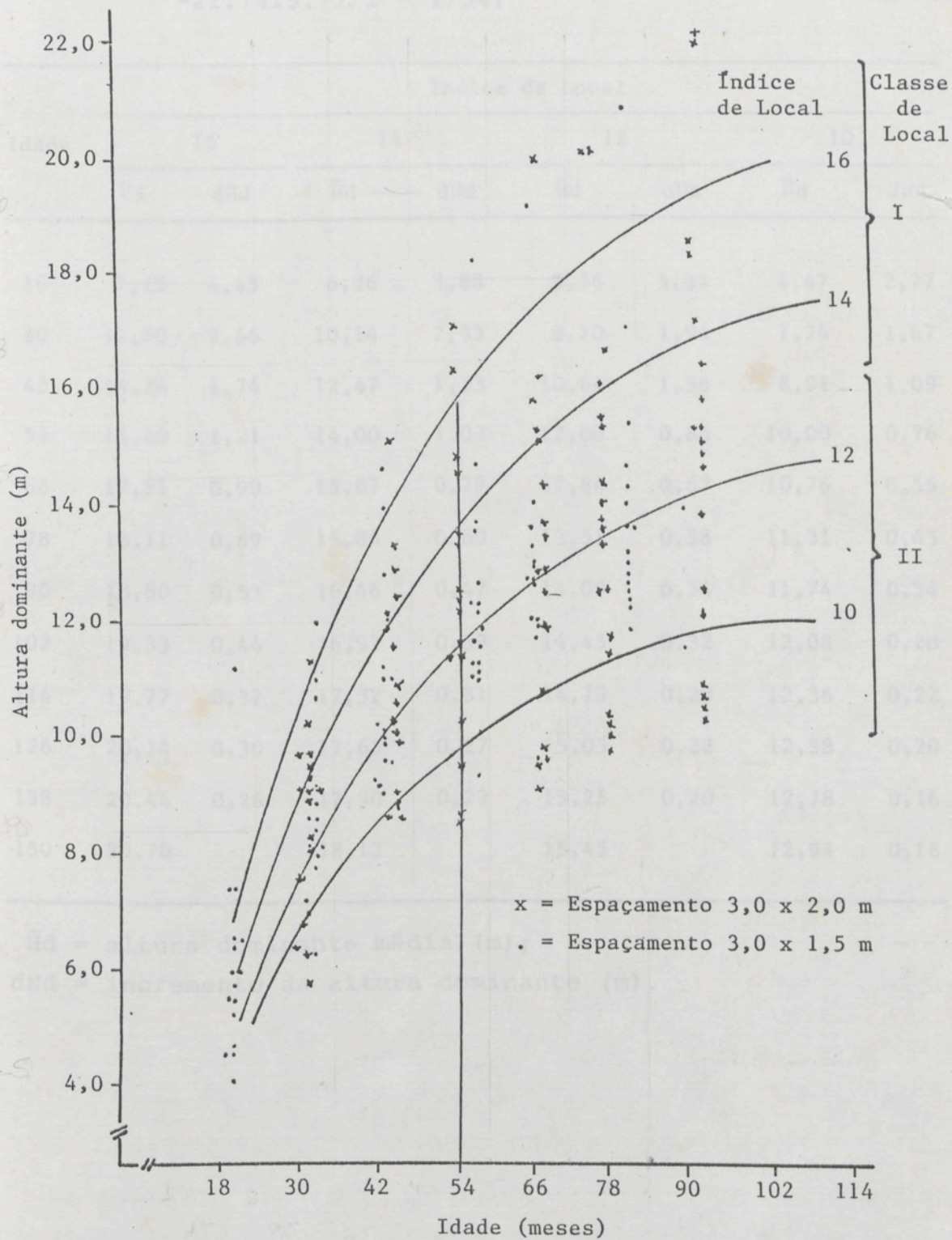


FIGURA 1 - Curvas de Índice de Local, Utilizando-se Idade-Índice de 54 meses.



QUADRO 5 - Altura Dominante Média ( $\bar{H}_d$ ) e Incremento Médio Anual dessa Altura (dHd), em Metros, por Índice de Local, Obtidos a Partir da Equação  $\ln \bar{H}_d = \ln S - 21.7415 \cdot (1/I - 1/54)$

Idade	Índice de Local (m)							
	16		14		12		10	
	$\bar{H}_d$	dHd	$\bar{H}_d$	dHd	$\bar{H}_d$	dHd	$\bar{H}_d$	dHd
18	7,15	4,45	6,26	3,88	5,36	3,34	4,47	2,77
30	11,60	2,66	10,14	2,33	8,70	1,94	7,24	1,67
42	14,26	1,74	12,47	1,53	10,64	1,36	8,91	1,09
54	16,00	1,21	14,00	1,07	12,00	0,84	10,00	0,76
66	17,21	0,90	15,07	0,79	12,84	0,67	10,76	0,55
78	18,11	0,69	15,86	0,60	13,51	0,58	11,31	0,43
90	18,80	0,53	16,46	0,47	14,09	0,34	11,74	0,34
102	19,33	0,44	16,93	0,39	14,43	0,32	12,08	0,28
114	19,77	0,37	17,32	0,31	14,75	0,28	12,36	0,22
126	20,14	0,30	17,63	0,27	15,03	0,22	12,58	0,20
138	20,44	0,26	17,90	0,23	15,25	0,20	12,78	0,16
150	20,70		18,13		15,45		12,94	0,16

$\bar{H}_d$  = altura dominante média (m);

dHd = incremento da altura dominante (m).



QUADRO 6 - Equações de Altura Ajustadas e as Respectivas Estatísticas, com Base em 857 Observações por Espaçamento

Número da Equação		Espaçamento (m)				
1	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S \cdot \ln I + \hat{\beta}_2 \cdot D$	3,0 x 2,0				
2	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S \cdot \ln I + \hat{\beta}_2 \cdot D$	3,0 x 1,5				
3	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot D + \hat{\beta}_2 \cdot Hd$	3,0 x 2,0				
4	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot D + \hat{\beta}_2 \cdot Hd$	3,0 x 1,5				
5	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S + \hat{\beta}_2 \cdot \ln I + \hat{\beta}_3 \cdot \ln D + \hat{\beta}_4 \cdot D$	3,0 x 2,0				
6	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S + \hat{\beta}_2 \cdot \ln I + \hat{\beta}_3 \cdot \ln D + \hat{\beta}_4 \cdot D$	3,0 x 1,5				
7	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S + \hat{\beta}_2 \cdot D \cdot I + \hat{\beta}_3 \cdot I + \hat{\beta}_4 \cdot D$	3,0 x 2,0				
8	$\hat{H} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot S + \hat{\beta}_2 \cdot D \cdot I + \hat{\beta}_3 \cdot I + \hat{\beta}_4 \cdot D$	3,0 x 1,5				

Número da Equação	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1	-3,69812	0,16889	0,59428			0,816	13,77
2	-2,93706	0,15248	0,64691			0,842	12,82
3	-1,94289	0,55057	0,56898			0,845	12,65
4	-0,95747	0,50645	0,56870			0,892	10,51
5	-18,23160	0,60872	3,11426	2,99719	0,19937	0,831	13,19
6	-12,29690	0,46164	2,48086	2,05167	0,30038	0,854	12,22
7	-5,24967	0,59913	0,00125	0,04498	0,49754	0,822	13,53
8	-5,00704	0,44669	-0,00334	0,08026	0,78968	0,846	12,56

$\ln$  = logaritmo natural



Embora todas equações resultassem em ajustamento satisfatório, foram selecionadas as equações 1 e 2, por apresentarem a mais homogênea distribuição dos resíduos.

Teste para igualdade de modelos aplicado nessas duas equações selecionadas resultou em rejeição da hipótese de igualdade dos seus parâmetros. Esse resultado difere daquele obtido anteriormente na definição da equação de índice de local, quando somente dados de árvores dominantes foram analisados.

As hipóteses testadas foram:

$H_0$  = vetor de parâmetros das equações comparadas são iguais;

$H_1$  = vetor de parâmetros das equações comparadas são diferentes;

Os resultados da análise de variância para testar a igualdade de modelos, estão indicados no Quadro 7. A rejeição da hipótese  $H_0$  implica na impossibilidade do uso de um modelo com estimativas comuns dos parâmetros.

QUARO 7 - Análise de Variância para Testar a Igualdade das Equações de Altura

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Parâmetros	6	165851,35		
Redução (B)	3	165806,45		
Redução ( $H_0$ )	3	44,89	14,96	4,34**
Resíduo	851	2932,43	3,44	
TOTAL	857	168783,78		

\*\* (P < 0,01).



#### 4.3. Equações de Volume e Peso por Árvore

Conforme referências em 2.6, foi assumido que a densidade do plantio não afeta significativamente a densidade básica da madeira (DBM); com base nessa hipótese, a amostragem para determinação da densidade básica da madeira foi feita em plantações de espaçamento 3,0 x 1,5 m, e os resultados aplicados em ambos espaçamentos em estudo. O peso por árvore foi obtido conforme citado em 3.2 e, uma vez que a DBM cresce com a idade (VITAL, 1985; ZOBEL *et alii*, 1969) presume-se que o crescimento em peso deverá começar a estagnar em idade mais avançada que o crescimento em volume. Os modelos inicialmente testados para estimação do peso (item 3.3) continham as variáveis altura (H) e diâmetro (D), tendo sido ajustada uma equação para cada idade (Equações 3 e 4, Quadro 8). Pela aplicação do teste para testar a igualdade de modelos, testou-se a hipótese de igualdade dos parâmetros das equações de cada idade entre si. Também, cada equação de peso foi comparada com uma equação geral, ajustada a partir do número total de casos pertinentes às idades comparadas. A hipótese de igualdade dos parâmetros das equações para as idades 42 e 54 meses não foi rejeitada ( $P < 0,01$ ); o mesmo resultou para as equações das idades 66 e 78 meses. Verificou-se também, pela aplicação do teste, que os dados da idade 90 meses não poderiam ser incluídos noutra idade, cabendo o ajustamento de uma equação independente. A inclusão da variável idade nas equações de peso resultou em ligeiro aumento de correlação, interpretado pelo coeficiente de determinação corrigido (Equações 1 e 2,



QUADRO 8 - Equações de Peso Ajustadas para Ambos Espaçamentos, e as Respectivas Estatísticas

Equação						
1	$\ln \widehat{W}_{CC} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ln D + \widehat{\beta}_2 \cdot \ln H + \widehat{\beta}_3 \cdot \ln I$					
2	$\ln \widehat{W}_{SC} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ln D + \widehat{\beta}_2 \cdot \ln H + \widehat{\beta}_3 \cdot \ln I$					
3	$\ln \widehat{W}_{CC} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (D^2 \cdot H)$					
4	$\ln \widehat{W}_{SC} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (D^2 \cdot H)$					
Equação	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1	-4,17065	1.93171	0,86562	0,155410	0,978	3,11
2	-4,75604	1,87994	1,07003	0,145331	0,976	3,57
3	3,79097	0,01558			0,947	10,89
4	3,20117	0,01293			0,933	9,54

$W_{CC}$  = peso da madeira com casca a 0% de umidade, por árvore (kg);  $W_{SC}$  = peso da madeira sem casca a 0% de umidade, por árvore (kg);  $\ln$  = logaritmo natural;  $D$  = diâmetro na altura de 1,3 m;  $H$  = altura total (m).

Quadro 8). Aplicando ainda o teste para igualdade de modelos, resultou que a hipótese de igualdade dos parâmetros nas diferentes idades não foi rejeitada ( $P < 0,01$ ), indicando que uma única equação com estimativas comuns dos parâmetros era suficiente para explicar a estimação do peso em função das variáveis idade, altura e diâmetro.

A tendência da forma linear entre a DBM e a idade no período entre 42 e 90 meses, e entre a DBM e DDap, foram representadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Valores



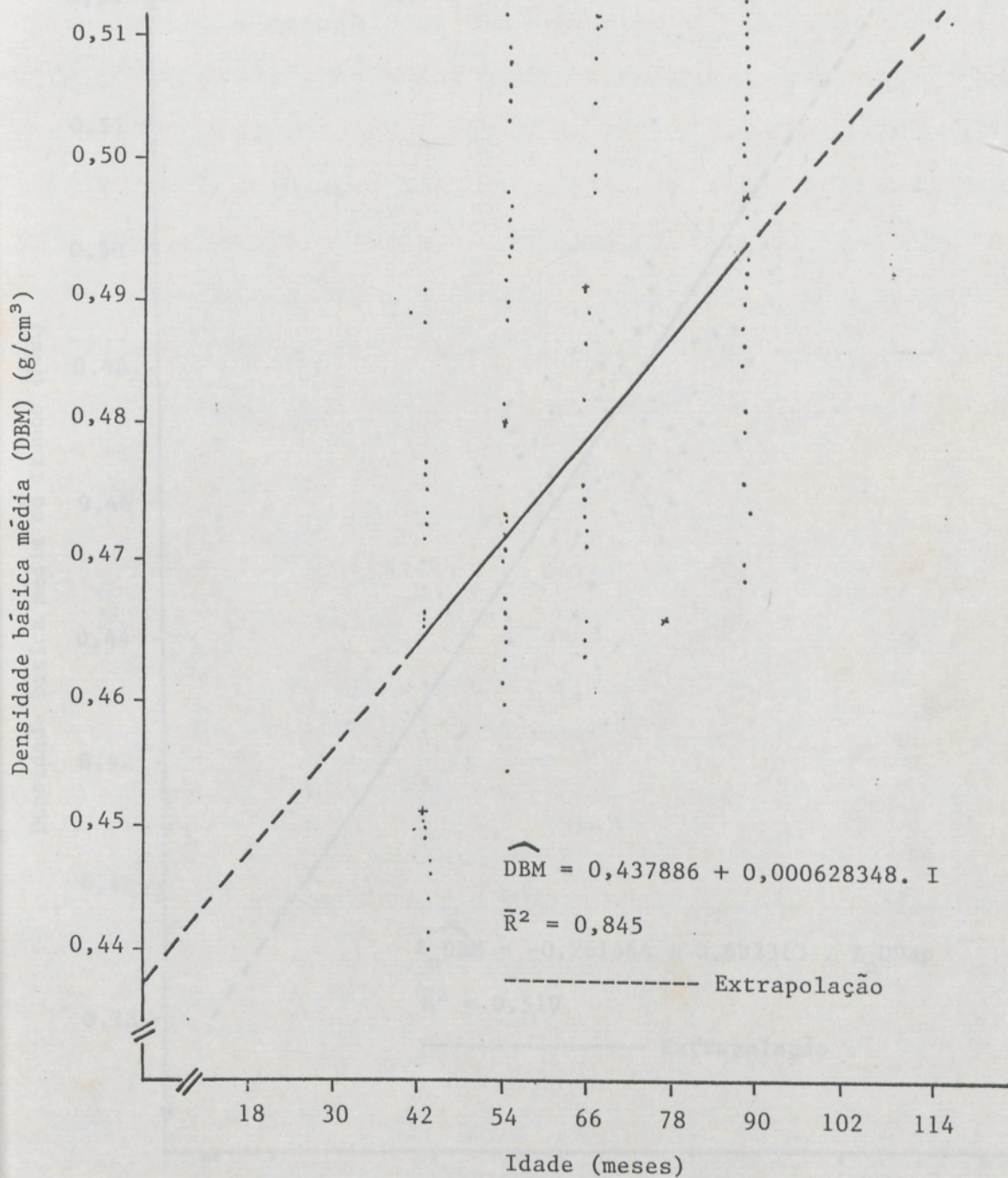


FIGURA 2 - Densidade Básica Média do Tronco (DBM), em Relação à Idade (I).



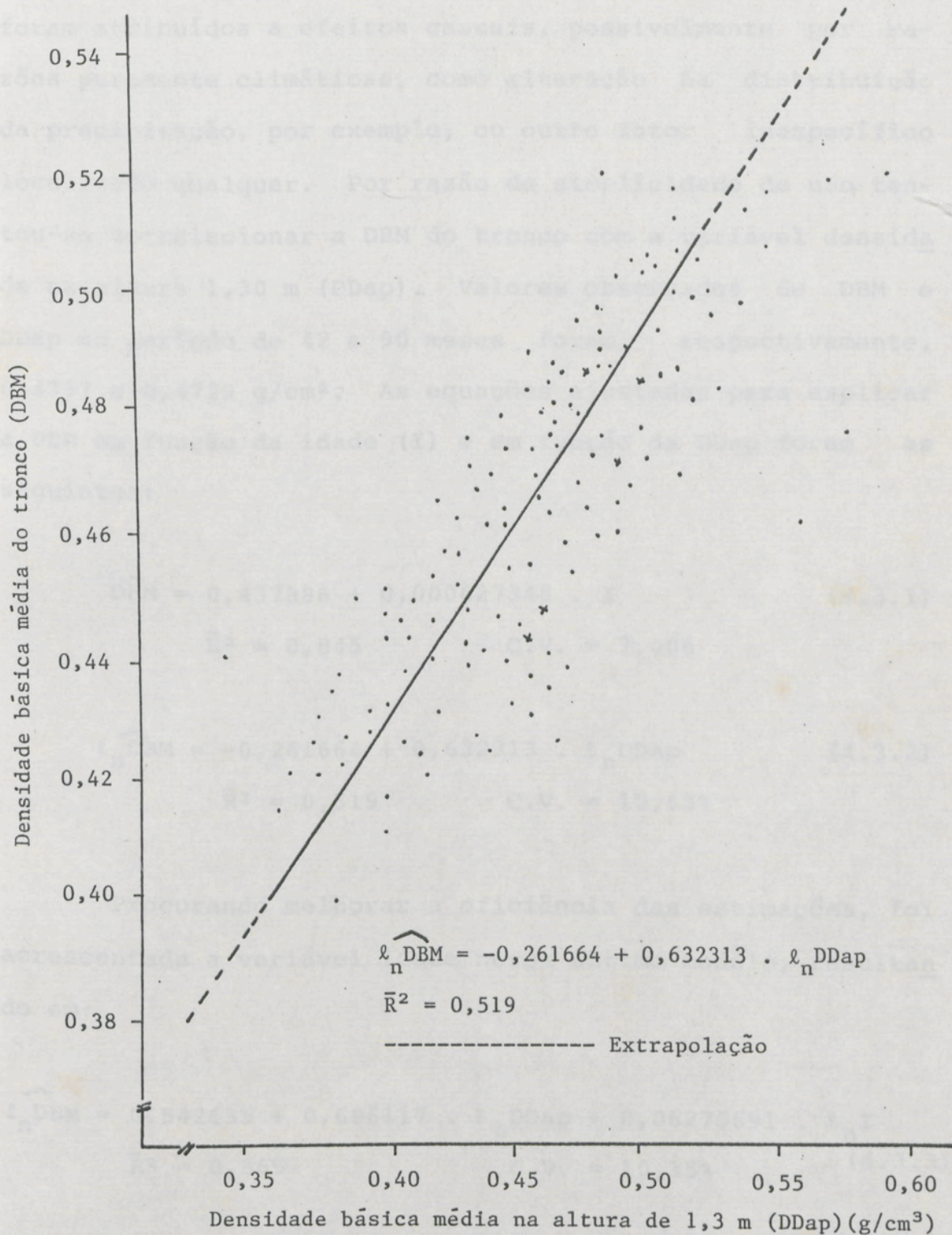


FIGURA 3 - Densidade Básica Média do Tronco (DBM), em Relação à Densidade na Altura 1,30 m (DDap).



observados de DBM foram apresentados no Apêndice A, e aqueles discrepantes dos valores estimados na idade 78 meses foram atribuídos a efeitos casuais, possivelmente por razões puramente climáticas, como alteração na distribuição da precipitação, por exemplo, ou outro fator inespecífico localizado qualquer. Por razão de simplicidade de uso, tentou-se correlacionar a DBM do tronco com a variável densidade na altura 1,30 m (DDap). Valores observados de DBM e DDap no período de 42 a 90 meses foram, respectivamente, 0,4797 e 0,4729 g/cm<sup>2</sup>. As equações ajustadas para explicar a DBM em função da idade (I) e em função da DDap foram as seguintes:

$$\widehat{DBM} = 0,437886 + 0,000627348 \cdot I \quad (4.3.1)$$

$$\bar{R}^2 = 0,845 \quad C.V. = 7,00\%$$

$$\ell_n \widehat{DBM} = -0,261664 + 0,632313 \cdot \ell_n DDap \quad (4.3.2)$$

$$\bar{R}^2 = 0,519 \quad C.V. = 10,63\%$$

Procurando melhorar a eficiência das estimações, foi acrescentada a variável idade nesse último modelo, resultando em:

$$\ell_n \widehat{DBM} = 0,542635 + 0,606117 \cdot \ell_n DDap + 0,06275691 \cdot \ell_n I \quad (4.3.3)$$

$$\bar{R}^2 = 0,565 \quad C.V. = 10,15\%$$

A Figura 4 é a representação gráfica dessa equação. O ajustamento apresentado pelas equações 4.3.2 e 4.3.3, em



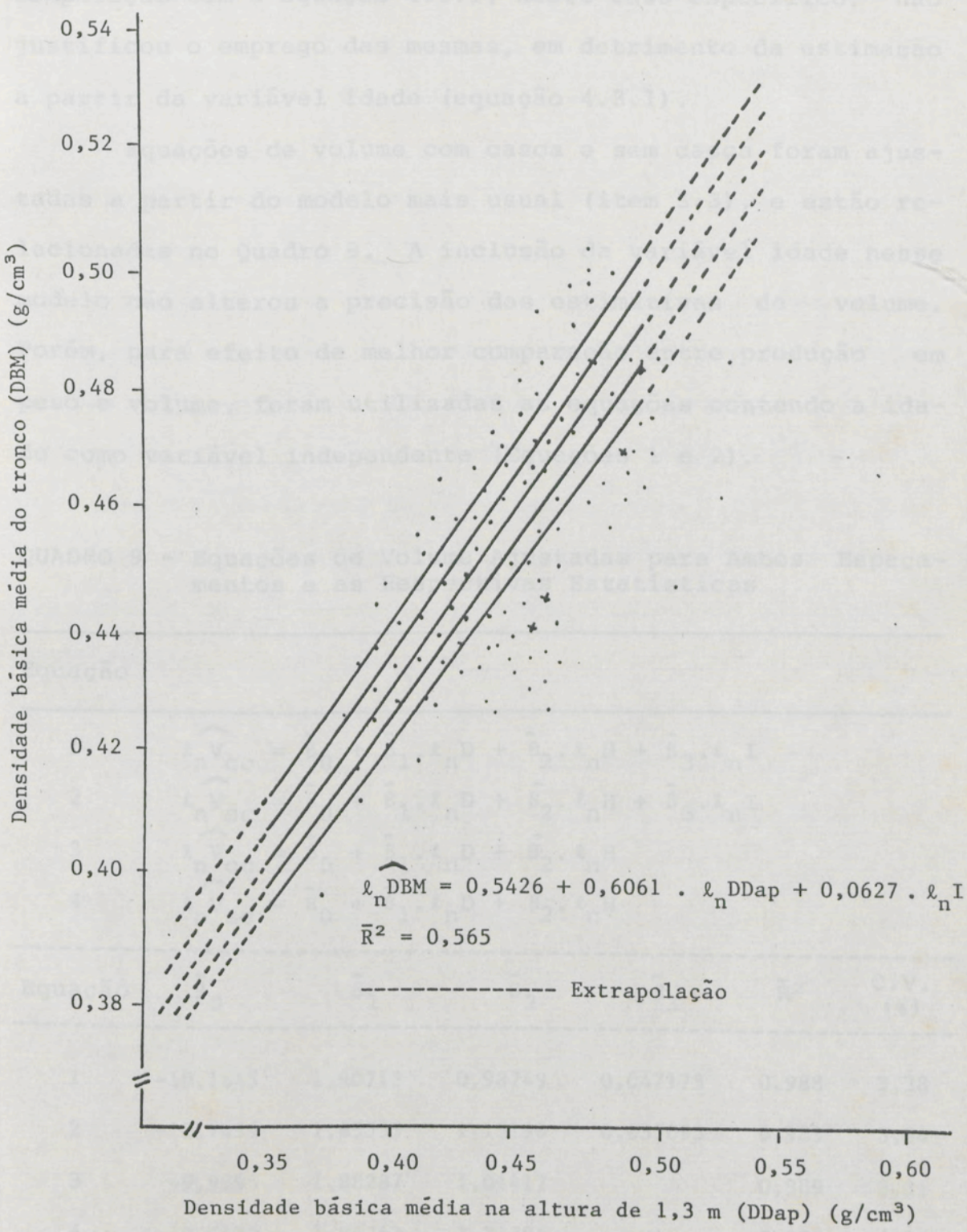


FIGURA 4 - Densidade Básica Média do tronco (DBM), em Relação à Densidade na Altura 1,30 m (DDap) e à Idade (I).



comparação com a equação 4.3.1, neste caso específico, não justificou o emprego das mesmas, em detrimento da estimação a partir da variável idade (equação 4.3.1).

Equações de volume com casca e sem casca foram ajustadas a partir do modelo mais usual (item 3.3), e estão relacionadas no Quadro 9. A inclusão da variável idade nesse modelo não alterou a precisão das estimativas de volume. Porém, para efeito de melhor comparação entre produção em peso e volume, foram utilizadas as equações contendo a idade como variável independente (Equações 1 e 2).

QUADRO 9 - Equações de Volume Ajustadas para Ambos Espaçamentos e as Respectivas Estatísticas

Equação						
1	$\hat{\ln V}_{cc} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot \ln D + \hat{\beta}_2 \cdot \ln H + \hat{\beta}_3 \cdot \ln I$					
2	$\hat{\ln V}_{sc} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot \ln D + \hat{\beta}_2 \cdot \ln H + \hat{\beta}_3 \cdot \ln I$					
3	$\hat{\ln V}_{cc} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot \ln D + \hat{\beta}_2 \cdot \ln H$					
4	$\hat{\ln V}_{sc} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot \ln D + \hat{\beta}_2 \cdot \ln H$					
Equação	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1	-10,1645	1,90713	0,98749	0,047173	0,988	3,38
2	-10,7499	1,85535	1,19190	0,037095	0,983	3,84
3	-9,9795	1,88287	1,01417		0,989	3,31
4	-10,6430	1,84763	1,21796		0,986	3,51

$V_{cc}$  = volume com casca, por árvore ( $m^3$ );  $V_{sc}$  = volume sem casca, por árvore ( $m^3$ );  $\ln$  = logaritmo natural.



A partir da equação 3 dos Quadros 8 e 9, respectivamente, foram confeccionadas tabelas de peso e volume com casca, as quais estão representadas no Apêndice B.

#### 4.4. *Produção e Incremento em Área Basal, Peso e Volume*

De forma a comparar o efeito dos espaçamentos na produção em peso e volume, e conseqüentemente nos seus incrementos, foi ajustado um modelo simplificado, segundo CHAMBERS (1980). Conforme ítem 3.5, esse modelo requer a estimacão do incremento em área basal, cujo somatório para definidos períodos é substituído na variável área basal de uma equação de produção. Isso permite predizer a produção numa idade mais avançada qualquer. Dados observados das populações dos dois espaçamentos analisados, requeridos para o ajustamento desse modelo, foram resumidos no Apêndice C.

A percentagem de sobrevivência foi calculada considerando-se o número real de árvores existentes na parcela (número de cepos + número de falhas), e não o número teórico (10.000/espacamento), como é usual. Então,

$$\text{Percentagem de sobrevivência} = 100. \left[ \frac{\text{número de cepos}}{\text{número de cepos} + \text{número de falhas}} \right]$$

Observou-se que a percentagem de sobrevivência, a altura dominante, a altura média, o diâmetro médio, o índice de local e a percentagem de casca variaram muito pouco entre espaçamentos. Ainda, a percentagem de casca diminuiu com a idade.



Dados de incrementos são sempre muito variáveis, devido a efeitos combinados de variações climáticas e erro instrumental. Em consequência, uma grande frequência é requerida para obter índices de ajustamento satisfatórios os quais dificilmente ultrapassam valores de 0,70 ou 0,80 (ALDER, 1980). Para contornar essas inconveniências, diversos modelos de regressão foram testados para a estimação do incremento em área basal (dB). Aquelas equações mais promissoras resultantes foram listadas no Quadro 10, com as suas respectivas estatísticas.

Com base na interpretação das estatísticas  $\bar{R}^2$  e C.V., as equações 1a e 1b apresentaram melhor ajuste; todavia, considerando-se também a análise gráfica dos resíduos, optou-se pelas equações 3a e 3b como sendo aquelas que melhor estimam o incremento em área basal. Elas serviram para organizar o Quadro 11, a partir da suposição de uma área basal inicial de 10 m<sup>2</sup>/ha, fixada pelo manejador de acordo com seus objetivos. Melhor interpretação sobre a tendência dos incrementos em relação à idade e à qualidade de local é obtida na Figura 5. Enquanto aparentemente não houve diferença do incremento entre espaçamentos numa mesma classe de local, isso não aconteceu entre as classes de local. Na classe de local I, do espaçamento 3,0 x 2,0 m, a taxa estimada do incremento em área basal foi maior que no espaçamento 3,0 x 1,5 m, observando-se comportamento contrário na classe de local II. Isso pode ser depreendido ao interpretar o Quadro 11 e a Figura 5.

Equações de produção em peso e volume para cada espaçamento, contendo a idade, área basal e índice de local como



QUADRO 10 - Equações de Incremento Corrente Mensal em Área Basal (m<sup>2</sup>/ha), para os Espaçamentos 3,0 x 1,5 e 3,0 x 2,0 m

Equação		Espaçamento (cm)
1a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot B \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S + \widehat{\beta}_3 \cdot \ell_n B$	3,0 x 1,5
1b	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot B \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S + \widehat{\beta}_3 \cdot \ell_n B$	3,0 x 2,0
2a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I)^2 + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 1,5
2b	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I)^2 + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 2,0
3a	$\ell_n \widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 1,5
3b	$\ell_n \widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 2,0
4a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 1,5
4b	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I) + \widehat{\beta}_2 \cdot S$	3,0 x 2,0
5a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ell_n (I)$	3,0 x 1,5
5a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ell_n (I)$	3,0 x 2,0
6a	$\widehat{\log dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I)$	3,0 x 1,5
6b	$\widehat{\log dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot (1/I)$	3,0 x 2,0
7a	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot I + \widehat{\beta}_2 \cdot I^2$	3,0 x 1,5
7b	$\widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot I + \widehat{\beta}_2 \cdot I^2$	3,0 x 2,0
8a	$\ell_n \widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ell_n (I) + \widehat{\beta}_2 \cdot I$	3,0 x 1,5
8b	$\ell_n \widehat{dB} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \cdot \ell_n (I) + \widehat{\beta}_2 \cdot I$	3,0 x 2,0

Continua...



QUADRO 10, Cont.

Equação	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1a	4,55140	23,18850	0,24359	-1,8025	0,684	29,27
1b	1,85666	15,32290	0,02111	-1,3029	0,646	28,41
2a	0,26853	2613,96000	0,11628	-	0,501	36,77
2b	-1,69506	3069,72000	0,21688	-	0,600	30,20
3a	-0,83254	51,05790	0,04318	-	0,528	43,85
3b	-1,71345	56,73020	0,10549	-	0,539	48,83
4a	-1,52696	121,65200	0,11624	-	0,527	35,79
4b	-2,55509	106,59100	0,21688	-	0,606	30,04
5a	12,49220	-2,56217	-	-	0,504	36,64
5b	9,03029	-1,72460	-	-	0,276	40,69
6a	-0,13356	22,17850	-	-	0,508	44,84
6b	-0,17704	24,63780	-	-	0,275	73,83
7a	7,52139	-0,14787	0,00089	-	0,515	36,26
7b	6,24639	-0,11018	0,00062	-	0,287	40,41
8a	7,04843	-1,79228	0,01396	-	0,512	44,48
8b	10,24800	-2,81138	0,02948	-	0,276	73,68

dB = incremento em área basal (m<sup>2</sup>/ha/ano); S = índice de local (m); I = idade em meses.



QUADRO 11 - Incremento em Área Basal (dB) e Área Basal Acumulada (B), Estimadas pelas Equações  $\hat{\Delta}_n \text{dB} = -0,832545 + 51,0579.(1/I) + 0,0431809.S$  e  $\hat{B}_n \text{dB} = -1,71345 + 56,7302.(1/I) + 0,1054920.S$ , Referentes aos Espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, Respectivamente

Idade	Índice de Local							
	16		14		12		10	
	$\hat{\Delta}B$	$\hat{B}$	$\hat{\Delta}B$	$\hat{B}$	$\hat{\Delta}B$	$\hat{B}$	$\hat{\Delta}B$	$\hat{B}$
Espaçamento 3,0 x 1,5 m								
		*		*		*		*
30	4,76	10,00	4,36	10,00	4,00	10,00	3,67	10,00
42	2,92	14,76	2,68	14,36	2,46	14,00	2,26	13,67
54	2,23	17,68	2,05	17,04	1,87	16,46	1,72	15,93
66	1,88	19,91	1,72	10,09	1,58	18,34	1,45	17,65
78	1,67	21,79	1,53	20,81	1,40	19,92	1,29	19,10
90	1,53	23,46	1,40	22,34	1,28	21,32	1,18	20,39
102	1,43	24,99	1,31	23,74	1,20	22,60	1,10	21,57
114	1,35	26,42	1,24	25,05	1,14	23,80	1,04	22,67
126	1,30	27,77	1,19	26,29	1,09	24,89	1,00	23,67
138	1,25	29,07	1,15	27,48	1,05	25,94	0,96	24,63
Espaçamento 3,0 x 2,0 m								
		*		*		*		*
30	6,45	10,00	5,23	10,00	4,23	10,00	3,42	10,00
42	3,76	16,45	3,04	15,23	2,46	14,23	1,99	13,43
54	2,78	20,21	2,25	18,28	1,82	16,69	1,48	15,42
66	2,30	23,00	1,86	20,13	1,51	18,51	1,22	16,90
78	2,01	25,00	1,63	22,76	1,32	20,02	1,07	18,12
90	1,83	26,83	1,48	23,24	1,20	21,34	0,97	19,19
102	1,70	28,43	1,37	24,61	1,11	22,54	0,90	20,16
114	1,60	30,03	1,29	25,90	1,05	23,65	0,85	21,06
126	1,52	31,55	1,23	27,13	1,00	24,70	0,81	21,91
138	1,47	33,02	1,19	28,32	0,96	25,70	0,78	22,72

\* Área basal inicial, fixada pelo manejador de acordo com os objetivos do manejo.



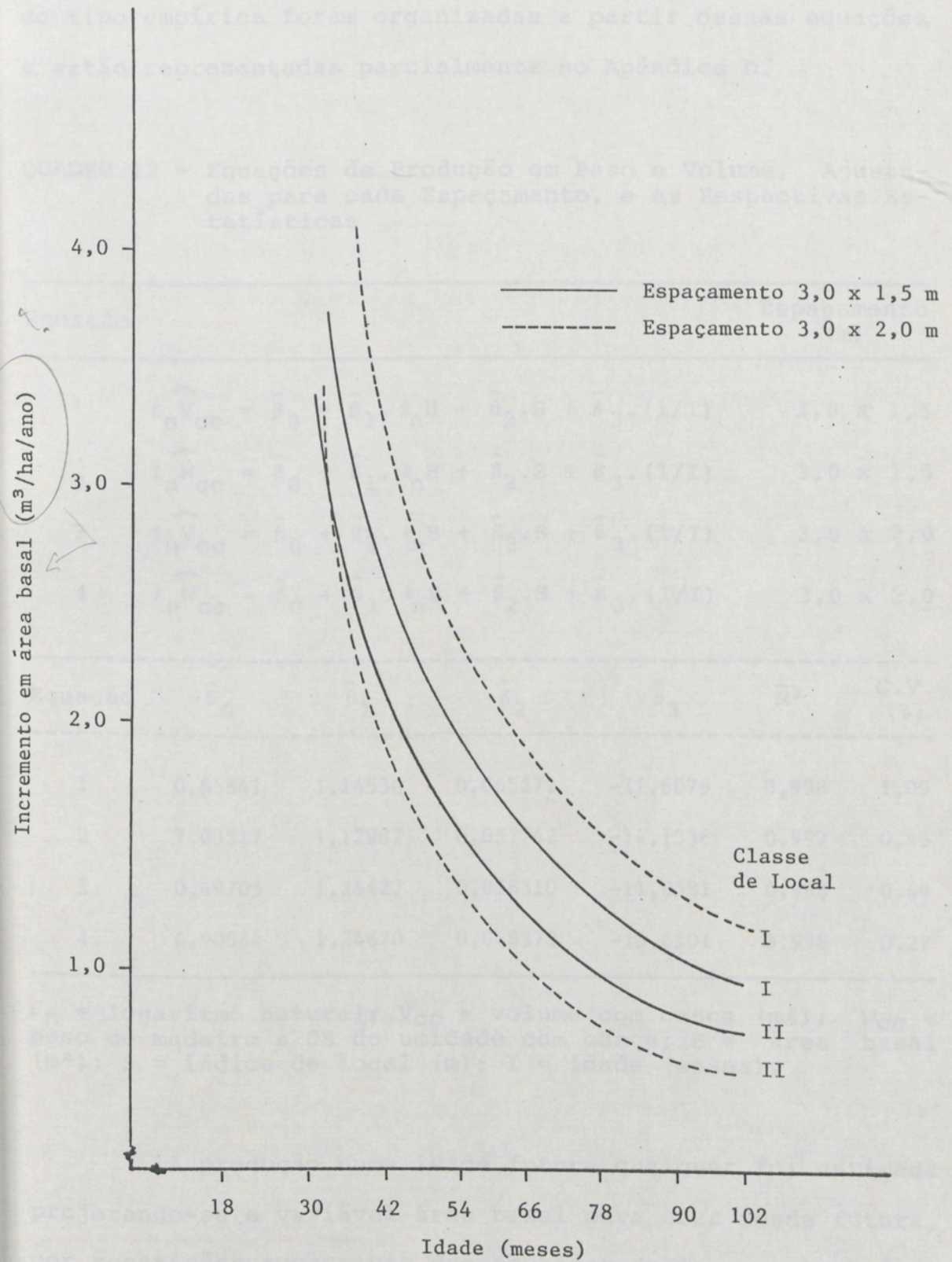


FIGURA 5 - Incremento em Área Basal ( $dB$ ), por Espaçoamento, em Relação à Idade (I) e à Classe de Local.



variáveis independentes, foram ajustadas conforme a metodologia de CHAMBERS (1980) (Quadro 12). Tabelas de produção do tipo empírica foram organizadas a partir dessas equações, e estão representadas parcialmente no Apêndice D.

QUADRO 12 - Equações de Produção em Peso e Volume, Ajustadas para cada Espaçamento, e as Respectivas Estatísticas

Equação					Espaçamento (m)
1	$\ln \widehat{V}_{CC} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \cdot \ln B + \tilde{\beta}_2 \cdot S + \tilde{\beta}_3 \cdot (1/I)$				3,0 x 1,5
2	$\ln \widehat{W}_{CC} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \cdot \ln B + \tilde{\beta}_2 \cdot S + \tilde{\beta}_3 \cdot (1/I)$				3,0 x 1,5
3	$\ln \widehat{V}_{CC} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \cdot \ln B + \tilde{\beta}_2 \cdot S + \tilde{\beta}_3 \cdot (1/I)$				3,0 x 2,0
4	$\ln \widehat{W}_{CC} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \cdot \ln B + \tilde{\beta}_2 \cdot S + \tilde{\beta}_3 \cdot (1/I)$				3,0 x 2,0

Equação	$\tilde{\beta}_0$	$\tilde{\beta}_1$	$\tilde{\beta}_2$	$\tilde{\beta}_3$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
1	0,65841	1,14536	0,065272	-11,6079	0,998	1,09
2	7,03317	1,12982	0,057742	-14,1336	0,997	0,46
3	0,49705	1,26427	0,056310	-11,8581	0,998	0,69
4	6,90864	1,24670	0,048372	-15,6501	0,998	0,27

$\ln$  = logaritmo natural;  $V_{CC}$  = volume com casca ( $m^3$ );  $W_{CC}$  = peso de madeira a 0% de umidade com casca;  $B$  = área basal ( $m^2$ );  $S$  = índice de local (m);  $I$  = idade (meses).

A produção numa idade futura qualquer foi estimada projetando-se a variável área basal para essa idade futura, por repetições sucessivas das equações de incremento em área basal (BUCKMAN, 1962). Uma vez obtida a área basal futura,



estimou-se a produção futura em volume e peso utilizando-se a tabela de produção empírica (Apêndice D).

#### 4.5. Comparação Entre Valores Observados e Preditos pelo Modelo de Crescimento e Produção

Para testar a validade do sistema de predição proposto, além do conjunto de parcelas utilizadas no ajustamento desse sistema, utilizou-se outro conjunto de parcelas independentes, no espaçamento 3,0 x 1,5 m, uma vez que dados independentes em espaçamento 3,0 x 2,0 m não eram disponíveis. Na comparação entre os valores observados e preditos, em área basal, volume e peso por hectare, foi empregada a mesma estatística utilizada por CLUTTER (1980), denominada "Porcentagem da Variação Explicada" (PVE), sendo:

$$PVE = 100. \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right\}$$

onde:

$Y_i$  = i-ésima observação de Y;

$\hat{Y}_i$  = i-ésimo valor predito de Y;

$\bar{Y}$  = valor médio de Y;

n = número de observações.

As médias observadas e estimadas das três variáveis consideradas, em todas as idades e índice de local, bem como os correspondentes valores de PVE, foram relacionados no Quadro 13. Valor maior de PVE indica maior correlação entre os dados observados e os estimados pelo modelo de



QUADRO 13 - Comparação de Valores Médios de Área Basal, Volume e Peso, Observados e Preditos pelo Modelo de Crescimento e Produção, Utilizando-se Dados do Ajustamento e Dados Independentes\*

Variável	Valor Médio Observado por Hectare	Valor Médio Estimado por Hectare	PVE
Dados não independentes Espaçamento 3,0 x 1,5 m			
Área basal (m <sup>2</sup> )	10,89	10,37	78,02
Volume (m <sup>3</sup> )	56,59	53,18	82,17
Peso (kg)	27620,51	25902,98	82,40
Dados não independentes Espaçamento 3,0 x 2,0 m			
Área basal (m <sup>2</sup> )	11,59	11,36	92,43
Volume (m <sup>3</sup> )	65,15	61,62	93,72
Peso (kg)	32095,22	30174,33	93,04
Dados independentes Espaçamento 3,0 x 1,5 m			
Área basal (m <sup>2</sup> )	10,82	10,92	95,56
Volume (m <sup>3</sup> )	58,26	60,07	98,89
Peso (kg)	28176,26	28831,27	99,53

\* Valores médios compreendem todas as idades e locais; PVE= percentagem da variação explicada.



crescimento e produção de Chambers, utilizado nesse estudo. Valores de PVE no espaçamento 3,0 x 2,0 m foram bastante altos, indicando alta correlação entre dados observados e estimados, o mesmo ocorrendo no espaçamento 3,0 x 1,5 m, com dados independentes. Embora um pouco menores que os anteriores, os valores de PVE no espaçamento 3,0 x 1,5 m, com dados não independentes, foram considerados plenamente satisfatórios, sendo a diferença para menor em relação aos dados independentes atribuída puramente à grande variação dos dados utilizados no ajustamento do modelo.

Desvio percentual para dados independentes individuais, isto é, correspondente a cada parcela, foram calculados e listados no Apêndice E. Essa listagem facultava uma melhor interpretação das grandezas dos desvios das estimativas, obtidas via modelo de crescimento e produção.

#### 4.6. Síntese da Metodologia Seguida para Predição da Produção

Objetivando uma melhor compreensão das fases componentes da metodologia utilizada para estimar a produção, foi organizado um quadro com a seqüência lógica de todas as equações envolvidas no processo, tomando-se o espaçamento 3,0 x 1,5 m, para efeito de exemplo (Quadro 14).

#### 4.7. Determinação da Idade de Rotação

Conforme pôde ser verificado em 4.4, o modelo de Chambers ajustado para predição da produção requer atribuição de uma área basal inicial; isso conduz a interpretações



QUADRO 14 - Equações Componentes do Modelo de Crescimento e Produção em Volume e Peso, para o Espaçamento 3,0 x 1,5 m

Referência no Texto (Quadro)	Equação
9	$\hat{\ell}_n V_C = -10,1645 + 1,90713 \cdot \ell_n D + 0,98749 \cdot \ell_n H + 0,047173 \cdot \ell_n I$
8	$\hat{\ell}_n W_C = -4,17065 + 1,93171 \cdot \ell_n D + 0,86562 \cdot \ell_n H + 0,15541 \cdot \ell_n I$
6	$\hat{H} = -2,93706 + 0,15248 \cdot S \cdot \ell_n I + 0,64691 \cdot D$
4	$\hat{H}_d = 2,90000 - 21,7415 \cdot (1/I)$
10	$\hat{\ell}_n dB = -0,83254 + 51,0579 \cdot (1/I) + 0,04318 \cdot S$
12	$\hat{\ell}_n V_{CC} = 0,65841 + 1,1453 \cdot \ell_n B + 0,065272 \cdot S - 11,6079 \cdot (1/I)$
12	$\hat{\ell}_n W_{CC} = 7,03317 + 1,12982 \cdot \ell_n B + 0,057742 \cdot S - 14,1336 \cdot (1/I)$

$\ell_n$  = logaritmo natural;  $V_C$  = volume com casca, por árvore;  $V_{CC}$  = volume com casca, por unidade de área;  $W_C$  = peso com casca, por árvore a 0% de umidade;  $W_{CC}$  = peso com casca, por unidade de área a 0% de umidade;  $H_d$  = altura dominante;  $H$  = altura média;  $dB$  = incremento em área basal.

específicas para as tendências das curvas de produção originadas desse modelo. Considerando a impossibilidade de se atribuir valores realmente representativos dos dados analisados de área basal inicial, para cada espaçamento, de forma a se obter curvas de crescimento e produção, visando conhecer a idade de corte, optou-se, então, pelo ajustamento de uma simples equação de produção, com base somente na



idade (modelo 3.4.1). Duas equações foram ajustadas para cada espaçamento, uma vez que os dados foram separados em duas classes de local. Uma terceira equação geral foi obtida para os dados com agrupamento das classes de local. Nesses ajustamentos foram utilizadas as estimativas de peso e volume por hectare, oriundas do modelo de Chambers. Usando-se as transformações 3.4.3 e 3.4.5 determinou-se o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA), respectivamente, em cada classe de local. O mesmo modelo 3.4.1 foi ajustado com dados de todos os locais dentro de cada espaçamento, resultando numa equação geral. As equações ajustadas estão apresentadas no Quadro 15, cabendo reportar que o valor de  $-\beta_1$  corresponde à idade, em meses, de máximo IMA, conforme 3.4.7.

Os incrementos médios anuais (IMA) e incrementos correntes anuais (ICA), estimados a partir da equação geral do Quadro 15, foram relacionados no Quadro 16, segundo a idade, e as equações para cada classe de local foram utilizadas para construir as Figuras 6 e 7.

Pôde-se observar que a idade ótima de corte (IMA = ICA) diminuiu com o aumento do índice de local, ou seja, os locais melhores atingem o máximo IMA em idade mais jovem, tanto em peso como em volume. E ainda, no espaçamento 3,0 x 1,5 m o máximo IMA é alcançado em idade mais jovem que no espaçamento 3,0 x 2,0 m. Conforme Quadro 15, o máximo IMA em volume para os espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m ocorre, aproximadamente nas idades 56 e 64 meses; isso em termos médios, sem considerar a classificação por índices de local. Para a variável peso, as idades aproximadas de



QUADRO 15 - Equações de Produção em Volume (V) e Peso (W), em Função da Idade, Segundo a Equação  $\ln Y = \ln \beta_0 + \ln \beta_1 \cdot (1/I)$

Equação	Espaço- mento (m)	Classe de Local	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\bar{R}^2$	C.V. (%)
Variável Volume						
1a	3,0x1,5	II	5,10903	-59,1783	0,852	10,18
2a	3,0x1,5	I	5,41882	-43,7450	0,845	6,62
3a	3,0x1,5	Geral	5,17783	-55,7484	0,756	8,12
4a	3,0x2,0	II	4,83643	-64,9114	0,678	9,45
5a	3,0x2,0	I	5,58201	-62,6371	0,788	5,64
6a	3,0x2,0	Geral	5,16777	-63,9033	0,488	12,53
Variável Peso						
1b	3,0x1,5	II	11,3450	-61,0284	0,865	3,63
2b	3,0x1,5	I	11,6308	-45,9219	0,866	2,57
3b	3,0x1,5	Geral	11,4085	-57,6708	0,780	4,54
4b	3,0x2,0	II	11,1091	-67,8513	0,714	3,32
5b	3,0x2,0	I	11,8219	-65,8712	0,817	2,25
6b	3,0x2,0	Geral	11,4259	-66,9721	0,535	4,44

Y = Volume ou peso, por hectare;  $\ln$  = logaritmo natural;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  = coeficientes da regressão.



QUADRO 16 - Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA), por Hectare, em Volume com Casca e Peso com Casca, dos Dados Observados e

$$\ln \hat{Y} = \ln \hat{\beta}_0 + \ln \hat{\beta}_1 \cdot (1/I)$$

Idade (meses)	Incremento Médio Anual (IMA)				Incremento Corrente Anual (ICA)			
	Volume c/c		Peso c/c		Volume c/c		Peso c/c	
	obs	est	obs	est	obs	est	obs	est
Espaçamento 3,0 x 1,5 m								
18	7,37	8,74	3338	3884	18,60	22,33	8695	10426
31	12,08	15,13	5584	7092	21,98	23,31	12560	11457
42	14,67	16,77	6813	8016	14,88	19,47	8164	9697
57	14,72	16,77	7171	8135	12,40	14,45	7326	7332
66	14,41	16,30	7190	7947	14,88	12,18	7536	6212
81	14,49	15,25	7254	7486		9,34		4792
Espaçamento 3,0 x 2,0 m								
30	9,84	10,39	4622	4814	16,92	22,53	8054	10952
43	12,00	14,00	5560	6693	16,92	21,30	8725	10676
54	13,00	15,22	6284	7329	15,62	18,47	8054	9395
67	13,51	15,53	6628	7615	10,76	15,22	6346	7879
78	13,12	15,32	6588	7563	14,67	12,92	7562	6685
93	13,37	14,73	6745	7316		10,42		5430

obs = observado; est = estimado.



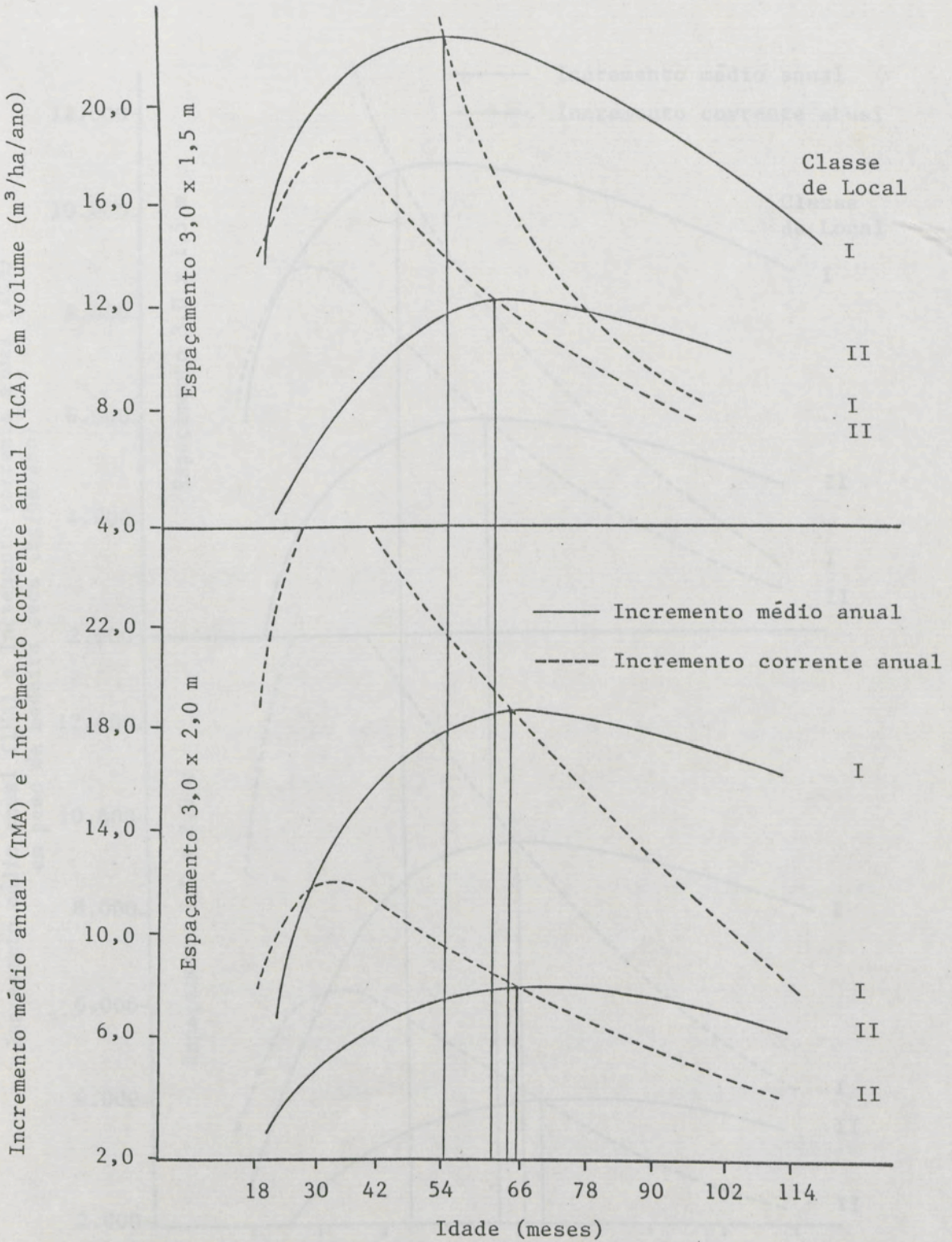


FIGURA 6 - Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA), em Volume, por Espaçamento e Classe de Local.



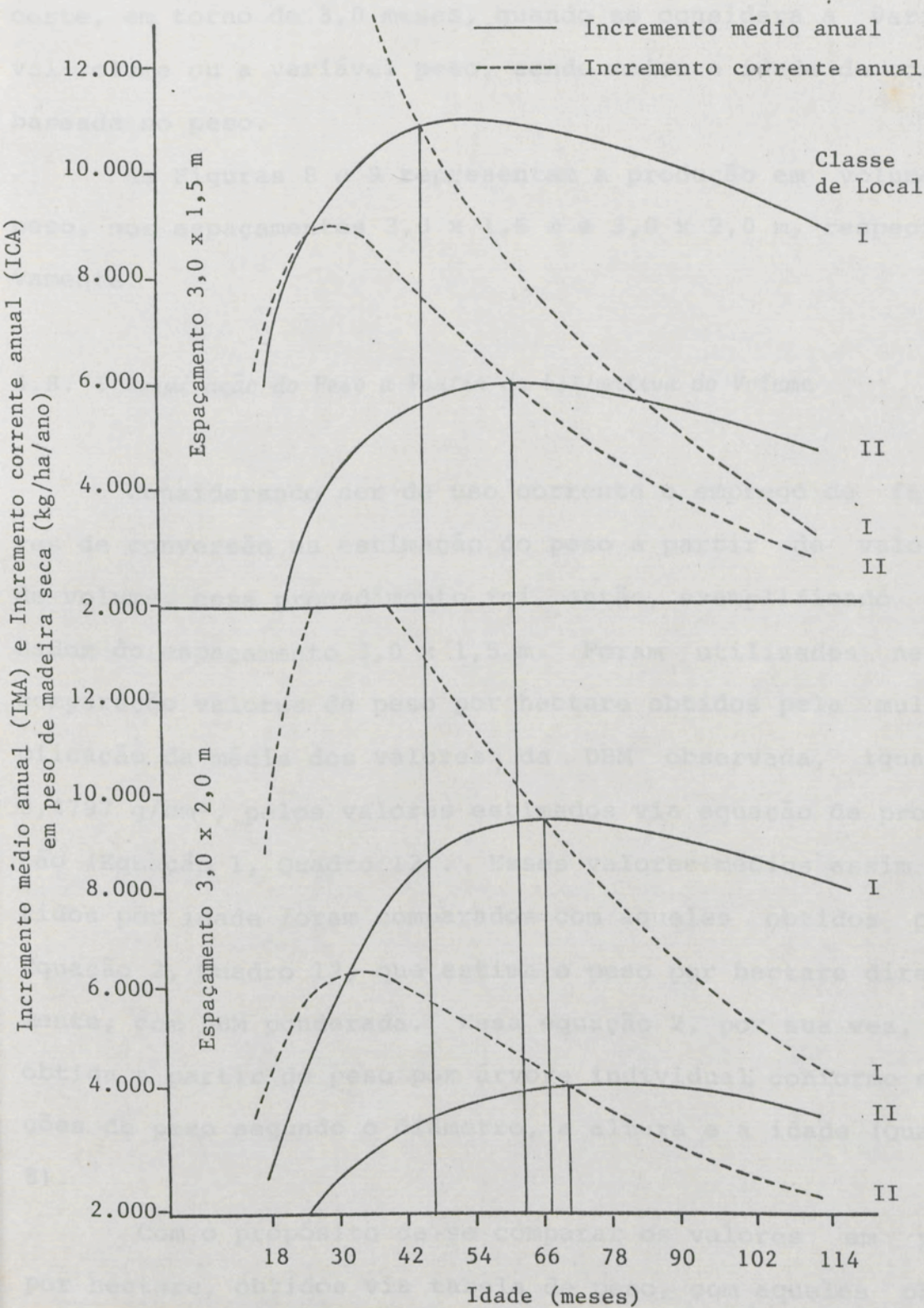


FIGURA 7 - Incremento Médio Anual e Incremento Corrente Anual, em Peso, por Espaçamento e Classe de Local.



máximo IMA são, respectivamente, 58 e 67 meses. Esses resultados sugerem haver uma pequena diferença de idade de corte, em torno de 3,0 meses, quando se considera a variável volume ou a variável peso, sendo maior a idade de corte baseada no peso.

As Figuras 8 e 9 representam a produção em volume e peso, nos espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, respectivamente.

#### 4.8. Determinação do Peso a Partir da Estimativa do Volume

Considerando ser de uso corrente o emprego de fatores de conversão na estimação do peso a partir de valores de volume, esse procedimento foi, então, exemplificado com dados do espaçamento 3,0 x 1,5 m. Foram utilizados nessa comparação valores de peso por hectare obtidos pela multiplicação da média dos valores da DBM observada, igual a  $0,4797 \text{ g/cm}^3$ , pelos valores estimados via equação de produção (Equação 1, Quadro 12). Esses valores médios assim obtidos por idade foram comparados com aqueles obtidos pela Equação 2, Quadro 12, que estima o peso por hectare diretamente, com DBM ponderada. Essa equação 2, por sua vez, foi obtida a partir do peso por árvore individual, conforme equações de peso segundo o diâmetro, a altura e a idade (Quadro 8).

Com o propósito de se comparar os valores em peso por hectare, obtidos via tabela de peso, com aqueles obtidos a partir da estimativa do volume, confeccionou-se o Quadro 17, supondo área basal inicial igual a  $10\text{m}^2/\text{ha}$ , e índice de local 12.



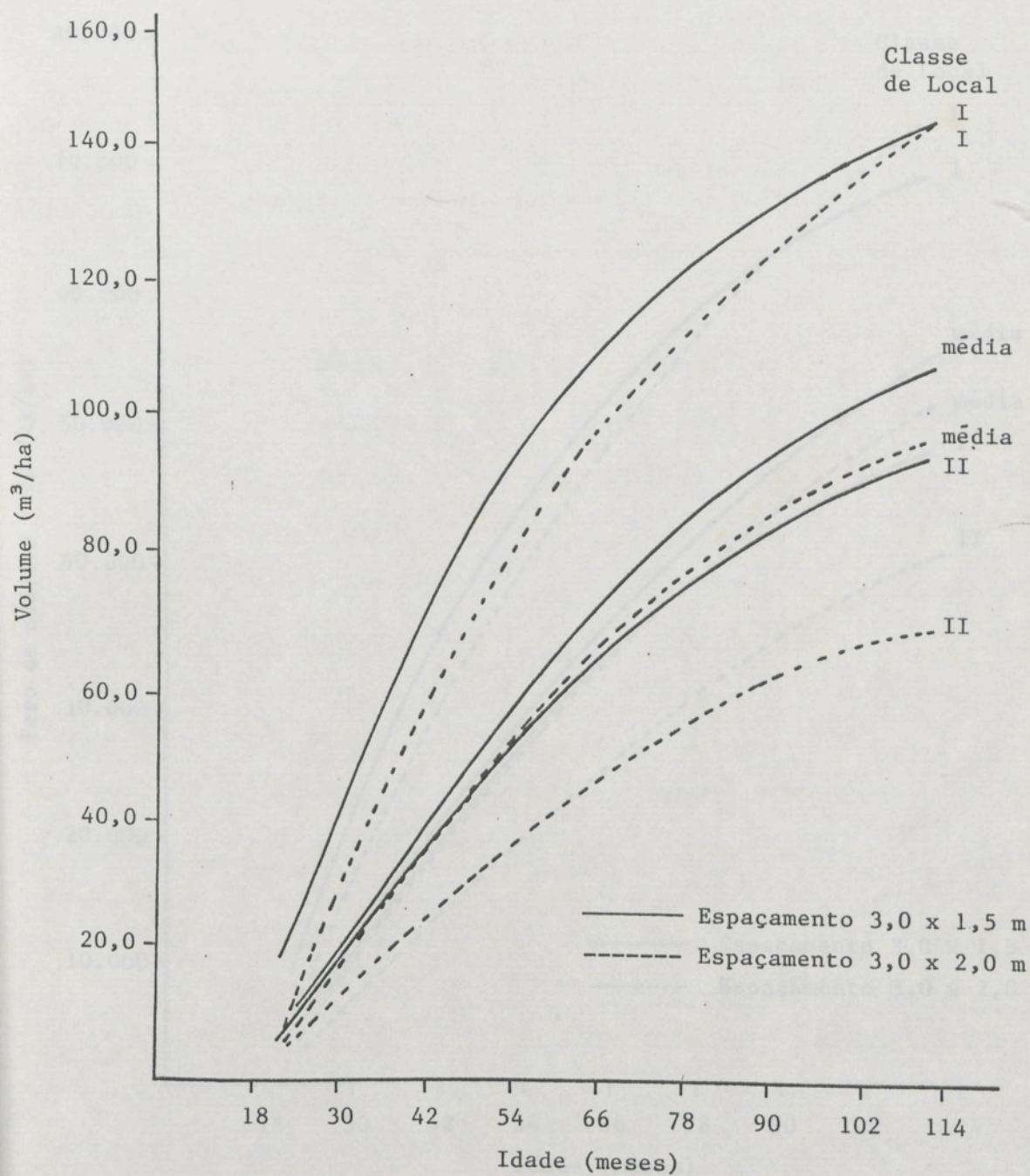


FIGURA 8 - Produção em Volume, por Espaçamento e Classe de Local.



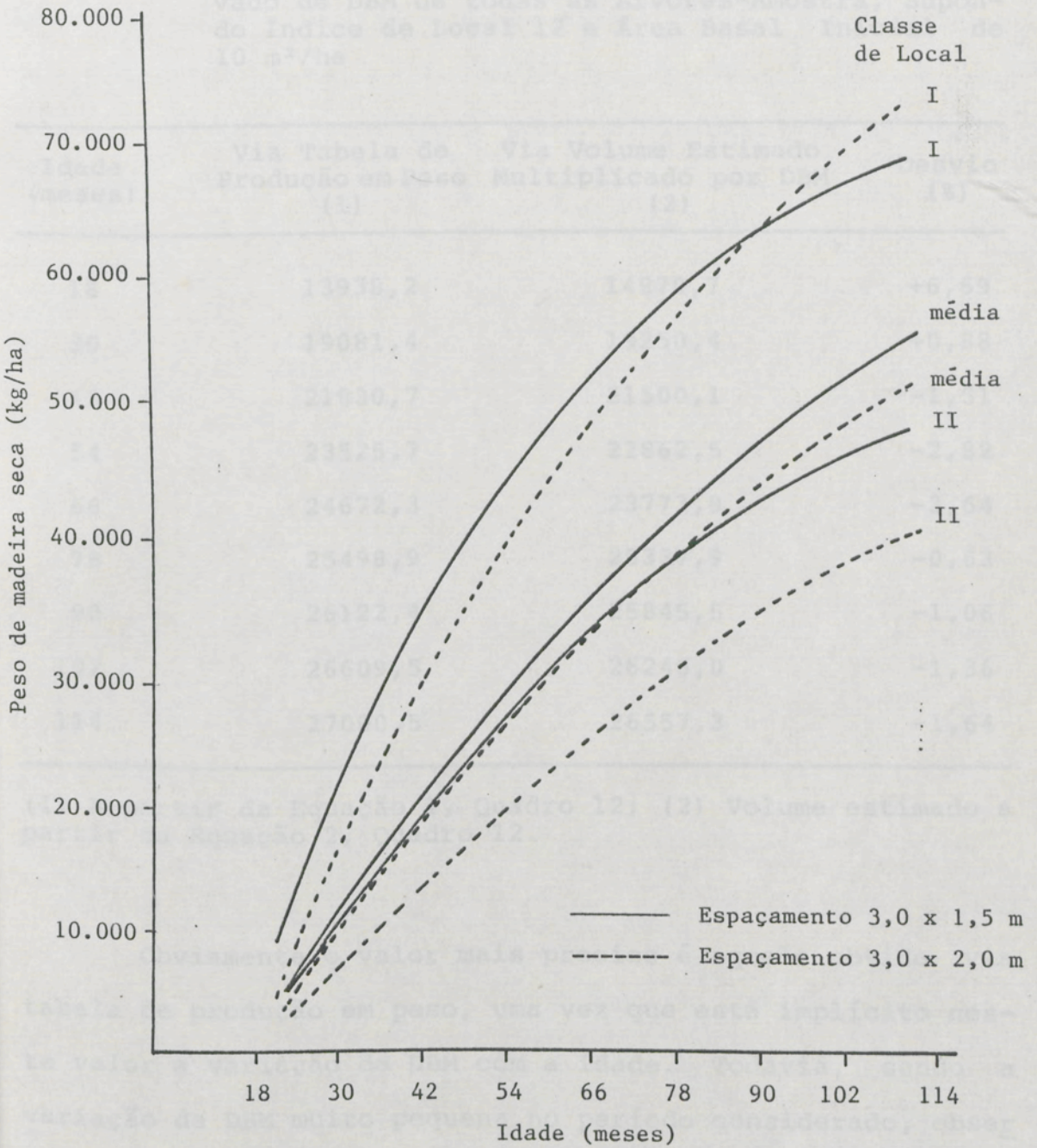


FIGURA 9 - Produção em Peso, por Espaçamento e Classe de Local.



QUADRO 17 - Produções em Peso por Hectare, para o Espaçamento 3,0 x 1,5 m, Obtidas Via Equação de Produção e Utilizando-se Diretamente o Valor Médio Observado de DBM de todas as Árvores-Amostra, Supondo Índice de Local 12 e Área Basal Inicial de 10 m<sup>2</sup>/ha

Idade (meses)	Via Tabela de Produção em Peso (1)	Via Volume Estimado Multiplicado por DBM (2)	Desvio (%)
18	13938,2	14870,7	+6,69
30	19081,4	19250,4	+0,88
42	21830,7	21500,1	-1,51
54	23525,7	22862,5	-2,82
66	24672,3	23773,9	-3,64
78	25498,9	25337,9	-0,63
90	26122,4	25845,5	-1,06
102	26609,5	26246,0	-1,36
114	27000,5	26557,3	-1,64

(1) A partir da Equação 1, Quadro 12; (2) Volume estimado a partir da Equação 2, Quadro 12.

Obviamente o valor mais preciso é aquele obtido via tabela de produção em peso, uma vez que está implícito neste valor a variação da DBM com a idade. Todavia, sendo a variação da DBM muito pequena no período considerado, observou-se um desvio percentual bastante pequeno quando se estimou o peso pela multiplicação do volume estimado por um valor médio único de DBM.

Em se tratando de valor médio de DBM, infere-se que pode ocorrer maior ou menor desvio entre o peso observado e o estimado, segundo a amostragem efetuada para obtenção da



DBM, isto é, a frequência e distribuição das árvores- amostra cortadas. Essa vulnerabilidade da DBM média observada, pode causar estimativas de peso mais ou menos precisas, o que sugere que a estimação dessa variável deva ser feita so mente a partir da equação de peso, e não a partir de valor médio de DBM.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os objetivos deste estudo foram avaliar o efeito de dois espaçamentos mais iguais no crescimento em volume por hectare de eucalipto, bem como construir tabelas de produção para esse espécie e determinar as idades de rotação técnicas que maximizam a produção.

Os dois espaçamentos foram avaliados duas vezes de acordo com o sistema de colheita, sendo em 6 períodos anuais, um espaçamento de 3,0 x 1,5 m e outro de 3,0 x 2,0 m. O estudo foi realizado no Município de Cachoeira-MG em uma propriedade de Cia. Agrícola Florestal Santa Bárbara.

Para determinar os volumes das árvores individuais foram utilizadas as equações de 127 árvores. A análise de variância mostrou que o efeito do espaçamento foi significativo em relação ao volume de madeira produzida por hectare. A equação de volume de madeira produzida por hectare em função da idade de corte das árvores foi determinada para o espaçamento de 3,0 x 1,5 m e para o espaçamento de 3,0 x 2,0 m.



## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os objetivos deste estudo foram analisar o efeito de dois espaçamentos mais usuais no crescimento em volume e peso de *Eucalyptus grandis*, bem como construir tabelas de produção para essa espécie e determinar as idades de rotação técnica que otimizam a produção.

Com esse propósito foram utilizadas duas redes de parcelas permanentes, remedidas em 6 períodos anuais, uma no espaçamento 3,0 x 1,5 m e outra no espaçamento 3,0 x 2,0 m. Esses dados foram coletados no Município de Carbonita-MG, em plantios de propriedade da Cia. Agrícola e Florestal Santa Bárbara.

Para determinação do volume das árvores individuais, procedeu-se à cubagem rigorosa de 127 árvores-amostra. Essas mesmas árvores constituíram a fonte de dados para determinação da densidade da madeira. A partir dessas medições foram ajustadas equações de volume e peso de madeira a 0% de umidade por árvore. Equações de altura foram também



ajustadas para cada espaçamento, a partir da medição da altura das 20 primeiras árvores de cada parcela, do diâmetro na altura de 1,3 m de todas as árvores e de 8 alturas dominantes. Com essas equações procedeu-se a totalização das parcelas e classificação dessas segundo o índice de local, o que possibilitou a obtenção de valores observados de incremento em área basal, bem como do volume e peso de madeira, por hectare. Equações foram também ajustadas para estimar essas três variáveis. As equações de produção em peso e volume obtidas, representativas de uma tabela de produção empírica foram, então, implementadas de forma a estimar a produção futura. Isso foi feito substituindo nessas equações a estimativa de produção futura da área basal por hectare, a qual foi obtida a partir da soma dos incrementos anuais, resultantes da equação de incremento em área basal. Esse procedimento traduz o modelo de crescimento e produção proposto por CHAMBERS (1980).

Baseando-se no máximo incremento médio anual em volume e em peso de madeira, determinou-se a idade de rotação técnica para a espécie, segundo o espaçamento e a classe de local.

Com base nos resultados encontrados, pôde-se concluir que:

a) A produção em peso e volume é maior no espaçamento 3,0 x 1,5 m, todavia, em locais melhores, a produção tende a se igualar a partir de 114 meses;

b) A idade de rotação do ponto de vista do máximo incremento em volume e do máximo incremento em peso é, respectivamente, 12,8% e 13,8% menor no espaçamento 3,0 x 1,5 m



do que no espaçamento 3,0 x 2,0 m. Em ambos espaçamentos o máximo IMA (incremento médio anual) em peso ocorre, aproximadamente, 4% mais tarde que o máximo IMA em volume, devido a aumentos ocorridos na DBM. Estes valores são, respectivamente, 55,7 e 57,7 meses (idade de máximo IMA em volume) e 64,0 e 67,0 meses (idade de máximo IMA em peso) nos espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m;

c) Em ambos espaçamentos a idade de máximo IMA diminui com o aumento do índice de local;

d) O modelo de crescimento e produção apresentado não é compatível por definição, uma vez que o crescimento não é função derivada da equação de produção, todavia é consistente, pois leva à estimativas não tendenciosas da produção futura.

e) Deve-se proceder uma análise econômica para verificar se o maior custo de implantação e exploração no espaçamento 3,0 x 1,5 m será compensado pelo ganho em termos de produção final. Encontrou-se uma diferença na ocasião do corte da ordem de 16,9% (65,22 m<sup>3</sup>/ha no espaçamento 3,0 x 1,5 m e 55,8 m<sup>3</sup>/ha no espaçamento 3,0 x 2,0 m).

f) A densidade básica média (DBM) de *Eucalyptus grandis* cresce com a idade, tendendo à estabilização, sendo o valor médio igual a 0,4797 g/cm<sup>3</sup>, no intervalo observado de 42 a 90 meses;

g) A densidade básica média do tronco (DBM) não apresentou alta correlação com a densidade tomada na altura de 1,3 m (Dap);

h) O índice de local médio em ambos espaçamentos é igual a 12,5 m, variando de 10,0 a 16,0 m, para idade-índice de 54 meses;



i) A metodologia proposta por Graybill, para testar a igualdade de equações de regressão é bastante prática e confere confiabilidade aos resultados;

j) O uso de equações e tabelas de peso é mais confiável que o uso de tabelas de volume associadas a um único valor de DBM, quando se deseja a produção em peso.

#### BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. ALLEN, D. Forest volume estimation and yield prediction. Rome, 1950. 194 p. v. 2 (FAO Forestry Paper 22/2)
2. BATISTA, J.L. e COELHO, M.T. Escolha de métodos estatísticos para a análise de dados de plantações de eucalipto. IPEF, (32), 33-42, 1986.
3. BURNHAM, R.B. Growth and yield of eucalyptus in Washington. D.C.; USDA, 1962. 50 p. (Tech. Bull. 1374)
4. CARVALHO, A.F.S. Desempenho de um sistema integrado de produção e silvicultura em eucalipto. Vitoria, UFV, 1985. 72 p. (Rev. 2, 2)
5. CAMPOS, S.C.C. e CRISTINA, J.C. Análise de dados de plantações de eucalipto. Vitoria, UFV, 1981. 43 p. (Bol. Técnico, 1)
6. CAMPOS, S.C.C. e PEREIRA, R.A. Análise de dados de plantações de eucalipto. Vitoria, UFV, 1981. 43 p. (Bol. Técnico, 1)



## BIBLIOGRAFIA

1. ALDER, D. *Forest volume estimation and yield prediction: yield prediction*. Rome, 1980. 194 p. v. 2 (FAO, Forestry Paper 22/2)
2. BATISTA, J.L. & COUTO, H.T. Escolha de modelos matemáticos para construção de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp. no estado de São Paulo. IPEF, (32):33-42, 1986.
3. BUCKMAN, R.E. *Growth and yield of red pine in Minnesota*. Washington, D.C.; USDA, 1962. 50 p. (Tech. bull. 1272)
4. CAMPOS, A.L.S. *Desenvolvimento de um sistema compatível de crescimento e produção para manejo de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden)*. Viçosa, UFV, 1986. 73 p. (Tese M.S.)
5. CAMPOS, J.C.C. & RIBEIRO, J.C. *Produção dos povoamentos de Eucalyptus sp. na região do Triângulo Mineiro*. Viçosa, SIF, 1983. 43 p. (Bol. Técnico, 1)
6. CAMPOS, J.C.C. & PEREIRA, A.R. *Métodos para estabelecimento de parcelas permanentes para estudo de crescimento e produção em plantações de eucaliptos*. Viçosa, SIF, 1981. 10 p. (Bol. Técnico, 12)



7. CAMPOS, J.C.C. *Inventário florestal nacional; reflorestamento em Minas Gerais.* Brasília, IBDF, 1984. 126 p.
8. CHAMBERS, C.J. *Empirical growth and yield tables for the Douglas Fir. zone.* Olympia, Department of Natural Resources, 1980. 50 p. (Report, 41)
9. CLUTTER, J.L. *Compatible growth and yield models for loblolly pine.* *Forest Sci.*, 9 (3):354-71, 1963.
10. CLUTTER, J.L. & JONES, E.P. *Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantation.* Asheville, USDA, 1980. 14 p. (Forest Service Research Paper SE-217)
11. CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENNAR, L.V.; BRISTER, G. H.; BAYLEY, R.L. *Timber management: a quantitative approach.* New York. John Wiley & Sons, 1983. 333 p.
12. GOLFARI, L. *Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para o reflorestamento.* Belo Horizonte, Centro de Pesquisas Florestais do IBDF na região do cerrado, 1975. 65 p. (Série técnica, 3)
13. GRAYBILL, F.A. *Theory and Application of the linear model.* Massachusetts, Duxburg Press. 1976. 704 p.
14. HEINSDIJK, D.; SOARES, R.O.; ANDEL, S.; ASCOLY, R.B. *Plantações de eucaliptos no Brasil - estudo preliminar dos volumes e capacidades de produção.* Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1965. 56 p. (Bol., 10)
15. HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. *Forest mensuration.* 2. ed. New York, Ronald Press, 1972. 410 p.
16. JOHNSTONE, W.D. *Effects of spacings 7-year old lodgepole pine in west - central Alberta.* Edmonton, Alberta, Forest Research Centre, 1981.
17. KILPATRICK, D.J.; SANDERSON, J.M.; SAVILL, P.S. *The influence of five early respacing treatments on the growth of sitka spruce.* *Forestry*, 54(1):17-28. 1981.
18. MAEGLIN, R.R. *Effect of tree spacing on weight yields for Red Pine and Jack Pine.* *Journal of Forestry*, 65(9): 647-650, september, 1967.



19. MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento. *Anuário estatístico de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 1984.
20. MITCHELL, DENNETH J. Impact of planting density and juvenile spacing on the yield of Douglas-Fir. In: IUFRO SUBJ. GROUP 1, MENSURATION, GROWTH AND YIELD, Blacksburg, 1977. Proceedings, Blacksburg, School of Forestry and Wildlife Res., 1978. p. 1-16.
21. OWENS, E.G.; JORGENSEN, J.R.; BALMER, W.E. *Effects of various spacings on Loblolly Pine growth 15 years after planting*. Whashington, USDA, 1975. (Forest Service Research SE-211)
22. RALPH, J.A.; PARKS, P.J.; FARRAR, R.M.; VASIEVISH, J.M. *Regional timber yield and cost information for the south: modeling techniques*. Whashington, USDA, 1984. 28 p. (General Technical Report RM-112)
23. REZENDE, J.L.P. Técnicas de análise econômica usadas nas tomadas de decisões referentes a reformas de eucaliptais. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE EUCALIPTAIS, Belo Horizonte, 1987. Trabalhos ... Viçosa, SIF, 1987. p. 1-28.
24. REZENDE, J.L.P.; MINETTE, L.J.; TORQUATO, M.C. Determinação da idade ótima de corte para *Eucalyptus* spp., para as Regiões Litorânea, Metalúrgica e do Rio Doce. *Revista Árvore*, 11(1):78-79. 1987.
25. REZENDE, M.A. & FERRAZ, E.S.B. Incrementos anuais em volume e massa e idade ideal de corte para *Eucalyptus grandis*. IPEF, (32):43-48, 1986.
26. SADIQ, R.A. *Evaluation of forest growth and yield models*. Toronto, University of Toronto, 1980, 101 p. (Tese Ph.D.)
27. STAGE, A. Relations between models inventories and decisions resource management. In: FORESTRY PREDICTIVE MODELS: problems and application. Pullman, USDA, 1981. p. 33-35.
28. STEPHEN, J.T. & MORTON, R.T. Forest stand models: what for? *The Forestry Chronicle*, 61 (1):5-10. 1985.



29. TREVIZOL JUNIOR, T.L. *Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de Eucalyptus grandis (W. Hill ex-Maiden)*. Viçosa, UFV, 1985, 74 p. (Tese M.S.)
30. VITAL, B.R.; CAMPOS, J.C.C.; RIBEIRO, J.C.; DELLA LUCIA, R.M.; TORQUATO, M.C. *Tabelas de peso seco para algumas espécies de eucalipto*. Viçosa, SIF, 1985. (Bol. Técnico, 1)
31. VITAL, B.R. *Métodos de determinação da densidade da madeira*. Viçosa, SIF, 1984. (Bol. Técnico, 1)
32. VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PEREIRA, A.R. *Influência do espaçamento na qualidade da madeira de Eucalyptus grandis, aos 30 meses de idade*. *Revista Árvore*, 5(2):210-217, 1981.
33. ZAVITKOVSKI, J. & DAWSON, D.H. *Structure and biomass production on 1 - to 7 - year-old intensively cultured jack pine plant-*. North Central Forest Experiment Station, Forest Service, USDA. 1978. 15 p. (USDA Forest Service Research Paper NC-157).
34. ZOBEL, B.; ROBERDS, J.H.; RALSTON, J. *Dry wood weight Yields of Loblolly Pine*. *Journal of Forestry*, 67:822-24, 1969.



APÈNDICE A

APÈNDICES

VALORES DE DENSIDADE BÁSICA MÉDIA



APENDICE A

QUADRO 1A - Valores Observados de Densidade Básica Média do Tronco (DBM), e Densidade Básica na Altura de 1,3 m (DBAp), em g/cm³

Idade (meses)	DBM	DBAp	Idade (meses)	DBM	DBAp
42	0,4372	0,5157	66	0,5364	0,5279
42	0,4586	0,4692	66	0,5325	0,5095
42	0,4452	0,4392	66	0,4994	0,4922
42	0,4061	0,4061	66	0,4612	0,4574
42	0,4380	0,4321	66	0,4718	0,4672
42	0,4454	0,4689	66	0,5267	0,5195
42	0,4321	0,4155	66	0,4629	0,4502
42	0,4665	0,4598	66	0,4980	0,4920
42	0,4237	0,4118	66	0,4681	0,4535
42	0,4774		66	0,4866	0,4796
42	0,4732	0,4621	78	0,4459	0,4327
42	0,4316	0,4272	78	0,4676	0,4600
42	0,4943	0,4902	78	0,4716	0,4476
42	0,4408	0,4301	78	0,4530	0,4472
42	0,4286	0,3925	78	0,4842	0,3058
42	0,4325	0,3992	78	0,4233	0,4082
42	0,4475	0,4653	78	0,4301	0,4101
42	0,4464	0,4523	78	0,4324	0,4233
42	0,4612	0,4350	78	0,4874	0,4897
54	0,5108	0,4621	78	0,4720	0,4523
54	0,4629	0,4568	78	0,4580	0,4759
54	0,5101	0,6132	78	0,4935	0,4869
54	0,5200	0,5437	78	0,4655	0,4541
54	0,4931	0,4710	78	0,4192	0,4132
54	0,4907	0,4820	78	0,4730	0,4492
54	0,4832	0,4952	78	0,4824	0,4764
54	0,4385	0,5415	78	0,4504	0,4782
54	0,4727	0,4583	78	0,4920	0,4742

APENDICE A

VALORES DE DENSIDADE BÁSICA MÉDIA

Continua...



## APÊNDICE A

QUADRO 1A - Valores Observados de Densidade Básica Média do Tronco (DBM), e Densidade Básica na Altura de 1,3 m (DDap), em g/cm<sup>3</sup>

Idade (meses)	DBM	DDap	Idade (meses)	DBM	DDap
42	0,4872	0,5157	66	0,5364	0,5279
42	0,4686	0,4692	66	0,5325	0,5095
42	0,4452	0,4392	66	0,4994	0,4922
42	0,4061	0,4061	66	0,4611	0,4574
42	0,4380	0,4321	66	0,4718	0,4678
42	0,4454	0,4689	66	0,5267	0,5195
42	0,4321	0,4155	66	0,4620	0,4502
42	0,4665	0,4598	66	0,4980	0,4928
42	0,4237	0,4118	66	0,4681	0,4655
42	0,4778	0,4832	66	0,4866	0,4796
42	0,4732	0,4621	78	0,4459	0,4127
42	0,4336	0,4272	78	0,4676	0,4400
42	0,4943	0,4902	78	0,4716	0,4436
42	0,4741	0,4275	78	0,4711	0,4359
42	0,4408	0,4501	78	0,4550	0,4478
42	0,4296	0,3925	78	0,4842	0,5048
42	0,4325	0,3997	78	0,4253	0,4082
42	0,4475	0,4653	78	0,4301	0,4101
42	0,4464	0,4525	78	0,4334	0,4233
42	0,4630	0,4356	78	0,4874	0,4697
54	0,5105	0,4673	78	0,4788	0,4521
54	0,4625	0,4568	78	0,4680	0,4709
54	0,5443	0,6133	78	0,4935	0,4689
54	0,5260	0,5437	78	0,4856	0,4581
54	0,4991	0,4710	78	0,4492	0,4132
54	0,4907	0,4820	78	0,4738	0,4492
54	0,4632	0,4953	78	0,4824	0,4964
54	0,4200	0,5415	78	0,4684	0,4782
54	0,4727	0,4993	78	0,4020	0,3342

Continua...



QUADRO 1A, Cont.

Idade (meses)	DBM	DDap	Idade (meses)	DBM	DDap
54	0,5149	0,5172	78	0,4742	0,4922
54	0,4618	0,4562	78	0,4693	0,4665
54	0,5005	0,4628	78	0,5213	0,5127
54	0,4645	0,4927	78	0,4815	0,4753
54	0,4722	0,4614	78	0,4620	0,4436
54	0,5083	0,5406	90	0,4849	0,4849
54	0,5103	0,5282	90	0,4945	0,4682
54	0,4602	0,4725	90	0,5028	0,4771
54	0,4960	0,4922	90	0,4615	0,4571
54	0,4957	0,4786	90	0,5329	0,5087
54	0,4998	0,4993	90	0,5288	0,5246
54	0,5347	0,5410	90	0,5442	0,5790
54	0,4674	0,4484	90	0,5042	0,4765
54	0,4882	0,4967	90	0,5053	0,4905
54	0,5255	0,5107	90	0,5607	0,5056
54	0,4623	0,4614	90	0,5129	0,4929
54	0,4940	0,4826	90	0,4885	0,4511
54	0,4797	0,4728	90	0,4762	0,4754
54	0,4606	0,4621	90	0,4969	0,4896
54	0,5139	0,5229	90	0,5089	0,5096
54	0,5108	0,5211	90	0,4516	0,4541
54	0,3545	0,4270	90	0,4756	0,4551
54	0,4671	0,5639	90	0,5246	0,5195
54	0,4555	0,4359	90	0,5008	0,4906
54	0,4378	0,4087	90	0,4487	0,4483
54	0,4244	0,4390	90	0,5226	0,5146
66	0,4363	0,4444	90	0,5250	0,5133
66	0,4800	0,4867	90	0,4909	0,4616
66	0,4691	0,4597	90	0,5093	0,4830
66	0,4663	0,4489	90	0,5181	0,5242
66	0,4707	0,4568	90	0,4862	0,4696
66	0,6000	0,4412	90	0,4890	0,4858
66	0,4936	0,4616	90	0,4687	0,4597
66	0,5018	0,4792			
66	0,4556	0,4444			
66	0,5397	0,5297			



APÊNDICE B

QUADRO 18 - Tabela de Volume, em m<sup>3</sup>, para Árvores Individuais Segundo a Espécie e Altura - 1973 - 1.92287, 5, 2 + 1.01417, 7H

Altura (m)	Diâmetro (cm)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
6	0,008	0,013	0,021	0,032	0,043	0,053	0,064	0,075
7	0,010	0,017	0,028	0,040	0,052	0,063	0,074	0,085
8	0,011	0,019	0,031	0,044	0,056	0,068	0,080	0,092
9	0,013	0,022	0,035	0,048	0,061	0,073	0,085	0,097
10	0,014	0,025	0,039	0,052	0,065	0,078	0,091	0,104
11	0,015	0,026	0,041	0,054	0,067	0,080	0,093	0,106
12	0,017	0,029	0,044	0,057	0,070	0,083	0,096	0,109
13	0,018	0,031	0,046	0,059	0,072	0,085	0,098	0,111
14	0,020	0,033	0,048	0,061	0,074	0,087	0,100	0,113
15	0,021	0,034	0,049	0,062	0,075	0,088	0,101	0,114
16	0,023	0,036	0,051	0,064	0,077	0,090	0,103	0,116
17	0,024	0,037	0,052	0,065	0,078	0,091	0,104	0,117
18	0,025	0,038	0,053	0,066	0,079	0,092	0,105	0,118
19	0,027	0,040	0,055	0,068	0,081	0,094	0,107	0,120
20	0,028	0,041	0,056	0,069	0,082	0,095	0,108	0,121
21	0,030	0,043	0,058	0,071	0,084	0,097	0,110	0,123
22	0,031	0,044	0,059	0,072	0,085	0,098	0,111	0,124
23	0,033	0,046	0,061	0,074	0,087	0,100	0,113	0,126
24	0,034	0,047	0,062	0,075	0,088	0,101	0,114	0,127
25	0,035	0,048	0,063	0,076	0,089	0,102	0,115	0,128

APÊNDICE B

TABELAS DE VOLUME E PESO



## APÊNDICE B

QUADRO 1B - Tabela de Volume, em  $m^3$ , para Árvore Individual,  
Segundo a Equação:  $\ln V = -9,9795 + 1,88287 \cdot \ln D$   
 $+ 1.01417 \cdot \ln H$

Altura (m)	Diâmetro (cm)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
6	0,008	0,014	0,022	0,031	0,041	0,053	0,066	0,080
7	0,010	0,017	0,025	0,036	0,048	0,062	0,077	0,094
8	0,011	0,019	0,029	0,041	0,055	0,071	0,088	0,108
9	0,013	0,022	0,033	0,046	0,062	0,080	0,099	0,121
10	0,014	0,024	0,037	0,052	0,069	0,089	0,111	0,135
11	0,015	0,026	0,040	0,057	0,076	0,098	0,122	0,149
12	0,017	0,029	0,044	0,062	0,083	0,107	0,133	0,162
13	0,018	0,031	0,048	0,067	0,090	0,116	0,144	0,176
14	0,020	0,034	0,051	0,072	0,097	0,125	0,156	0,190
15	0,021	0,036	0,055	0,078	0,104	0,134	0,167	0,203
16	0,023	0,039	0,059	0,083	0,111	0,143	0,178	0,217
17	0,024	0,041	0,063	0,088	0,118	0,152	0,189	0,231
18	0,025	0,044	0,066	0,094	0,125	0,161	0,201	0,245
19	0,027	0,046	0,070	0,099	0,132	0,170	0,212	0,259
20	0,028	0,049	0,074	0,104	0,139	0,179	0,223	0,272
21	0,030	0,051	0,078	0,109	0,146	0,188	0,235	0,286
22	0,031	0,053	0,081	0,115	0,153	0,197	0,246	0,300
23	0,033	0,056	0,085	0,120	0,160	0,206	0,257	0,314
24	0,034	0,058	0,089	0,125	0,167	0,215	0,269	0,328
25	0,035	0,061	0,093	0,131	0,174	0,224	0,280	0,341



QUADRO 2B - Tabela de Peso de Madeira a 0% de Umidade, em kg, para Árvore Individual, Segundo a Equação:  
 $\ln W = 3.79097 + 0,01558.(D^2.H)$

Altura (m)	Diâmetro (cm)							
	6	8	10	12	14	16	18	20
6	7,16	9,77	13,14	17,25	22,11	27,72	34,08	41,18
7	7,72	10,77	14,70	19,50	25,17	31,71	39,13	47,41
8	8,28	11,77	16,25	21,74	28,22	35,70	44,17	53,65
9	8,84	12,77	17,81	23,98	31,27	39,69	49,22	59,88
10	9,40	12,76	19,37	26,23	34,33	43,68	54,27	66,11
11	9,96	14,76	20,93	28,47	37,38	47,66	59,32	72,34
12	10,52	15,76	22,49	30,71	40,44	51,65	64,37	78,57
13	11,08	16,75	24,04	32,96	43,49	55,64	69,41	84,81
14	11,64	17,75	25,60	35,20	46,54	59,63	74,46	91,04
15	12,20	18,75	27,16	37,44	49,60	63,62	79,51	97,27
16	12,77	19,74	28,72	39,69	52,65	67,61	84,56	103,50
17	13,33	20,74	30,28	41,93	55,70	71,60	89,61	109,73
18	13,89	21,74	31,83	44,17	58,76	75,58	94,65	115,97
19	14,45	22,74	33,39	46,42	61,81	79,57	99,70	122,20
20	15,01	23,73	34,95	48,66	64,86	83,56	104,75	128,43
21	15,57	24,73	36,51	50,90	67,92	87,55	109,80	134,66
22	16,13	25,73	38,07	53,15	70,97	91,54	114,85	140,89
23	16,69	26,72	39,62	55,39	74,03	95,53	119,89	147,13
24	17,25	27,72	41,18	57,64	77,08	99,51	124,94	153,36
25	17,81	28,72	42,74	59,88	80,13	103,50	129,99	159,59
26	18,37	29,72	44,30	62,12	83,19	107,49	135,04	165,82
27	18,93	30,71	45,86	64,37	86,24	111,48	140,08	172,05
28	19,50	31,71	47,41	66,61	89,29	115,47	145,13	178,29



APÊNDICE C

QUADRO 1C - Características do Povoamento. Média Geral por Idade no Espaço 3,0 x 1,5 m.

Espaçamento 3,0 x 1,5 m	Idade (Anos)					
	10	11	12	13	14	15
Porcentagem de Sobrevivência	94,15	93,03	93,71	92,49	91,63	91,32
Altura Dominante (m)	6,34	8,78	10,98	12,36	11,97	13,97
Altura Média (m)	5,77			10,88	10,99	11,61
Diâmetro Médio (m)	5,05	4,83	5,02	5,96	6,32	6,03
Índice de Local (m)	12,47	12,46	12,48	12,48	12,45	12,47
Área basal (m <sup>2</sup> )	3,58	7,61	10,72	15,02	16,16	16,39
Incremento em Área basal (m <sup>2</sup> )		3,58	3,11	4,30	1,04	1,23

APÊNDICE C

CARACTERÍSTICAS DOS POVOAMENTOS



## APÊNDICE C

QUADRO 1C - Características do Povoamento. Média Geral por Idade no Espaçamento 3,0 x 1,5 m

Espaçamento 3,0 x 1,5 m	Idade (meses)					
	18	31	42	57	66	81
Porcentagem de Sobrevivência	94,15	93,03	93,71	92,40	91,60	91,32
Altura Dominante (m)	6,34	8,78	10,08	12,30	12,97	13,92
Altura Média (m)	5,77	7,86	9,22	10,27	10,90	11,63
Diâmetro Médio (m)	5,05	6,83	8,08	8,96	9,32	10,03
Índice de Local (m)	12,42	12,46	12,46	12,46	12,45	12,45
Área Basal (m <sup>2</sup> )	3,54	7,61	10,77	13,03	14,16	16,19
Incremento em Área Basal (m <sup>2</sup> )	-	3,58	3,35	1,71	1,61	1,48



QUADRO 2C - Características do Povoamento. Média Geral por Idade no Espaçamento 3,0 x 2,0 m

Espaçamento 3,0 x 2,0 m	Idade (meses)					
	30	43	54	67	78	93
Porcentagem de Sobrevivência	92,75	93,62	93,12	91,70	91,03	89,04
Altura Dominante (m)	8,62	11,01	12,21	12,81	14,00	15,32
Altura Média (m)	7,59	9,11	10,12	10,96	11,55	13,32
Diâmetro Médio (m)	7,22	8,59	9,50	10,34	10,72	11,48
Índice de Local (m)	12,38	12,38	12,38	12,38	12,38	12,38
Área Basal (m <sup>2</sup> )	6,29	9,04	11,11	13,00	14,04	15,93
Incremento em Área Basal (m <sup>2</sup> )	-	2,51	2,34	1,74	1,13	1,48



APÊNDICE D

QUADRO 10 - Tabela de Produção Empírica em Volume com Casca (m³/ha), para o Espaçamento 3,0 x 1,25 m, Segundo a Equação  $Y_{ij} = 0,45841 + 1,1453 \cdot L_{ij} + 0,065272 \cdot S + 11,6079 \cdot (1/S)$

Linha (m)	L.L.	Área Base (m²/ha)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	10	5,57	8,67	12,33	15,92	19,62	23,41	27,27	31,21	35,22
	12	6,35	10,11	14,05	18,14	22,28	26,67	31,29	36,15	41,17
	14	7,24	11,51	16,01	20,67	25,47	30,39	35,61	41,29	47,12
	16	8,25	13,12	18,24	23,55	29,02	34,63	40,35	46,18	52,10
	18	9,40	14,95	20,78	26,84	33,07	38,63	45,07	51,61	57,75
20	10,71	17,03	23,68	30,52	37,68	44,29	51,37	58,43	65,58	
12	10	5,95	9,46	13,15	16,98	20,92	24,96	29,09	33,39	37,76
	12	6,77	10,78	14,98	19,15	23,36	27,63	31,77	36,23	41,10
	14	7,72	12,78	17,47	21,77	26,41	30,72	35,27	40,22	45,77
	16	8,80	14,59	19,85	24,62	29,27	34,05	39,04	44,12	49,72
	18	10,02	16,95	22,37	28,62	33,27	38,05	43,04	48,32	54,12
20	11,37	19,87	26,28	32,82	38,13	43,25	48,26	53,54	59,13	
14	10	6,27	9,68	13,47	17,48	21,66	25,99	30,46	35,07	39,73
	12	7,09	10,98	15,28	19,75	24,25	28,89	33,57	38,37	43,77
	14	8,08	12,06	16,84	21,67	26,85	31,69	36,79	41,99	47,07
	16	9,21	13,95	19,37	24,71	30,41	35,67	40,96	46,29	51,57
	18	10,49	16,29	22,21	28,27	34,71	40,27	45,37	50,78	56,27
20	11,98	19,03	26,43	34,15	41,08	46,77	51,78	57,78	63,77	
16	10	6,44	9,75	13,54	17,61	21,92	26,46	31,11	35,87	40,71
	12	7,24	10,98	14,97	19,37	23,94	28,83	33,71	38,67	43,76
	14	8,22	12,31	16,51	21,30	26,23	31,13	36,04	41,07	46,29
	16	9,33	13,97	18,69	23,73	29,23	34,04	39,53	44,73	49,87
	18	10,58	16,28	21,81	27,07	33,23	38,63	43,73	49,03	54,57
20	12,08	19,29	25,78	32,33	41,28	46,98	51,98	58,17	63,77	
18	10	6,82	10,33	14,14	18,01	22,00	26,50	31,29	36,07	40,97
	12	7,54	11,60	15,84	19,84	24,15	28,87	33,97	39,27	44,57
	14	8,39	13,07	17,81	22,27	26,77	31,64	37,05	42,17	47,57
	16	9,38	14,83	19,89	25,07	29,87	35,26	40,83	46,27	51,57
	18	10,52	17,03	22,71	28,27	34,27	40,27	45,37	50,78	56,27
20	11,82	19,63	26,71	34,17	41,27	46,77	51,78	57,78	63,77	

APÊNDICE D

TABELAS DE PRODUÇÃO EMPÍRICA

Tab. - Índice de linha



## APÊNDICE D

QUADRO 1D - Tabela de Produção Empírica em Volume com Casca (m<sup>3</sup>/ha), para o Espaçamento 3,0 x 1,5 m, Segundo a Equação  $\ln \hat{V}_{CC} = 0,65841 + 1,1453 \cdot \ln B + 0,065272 \cdot S - 11,6079 \cdot (1/I)$

Idade (meses)	I.L.	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	10	5,57	8,87	12,33	15,92	19,62	23,41	27,27	31,21	35,22
	12	6,35	10,11	14,05	18,14	22,35	26,67	31,08	35,56	40,13
	14	7,24	11,51	16,01	20,67	25,47	30,39	35,41	40,52	45,72
	16	8,25	13,12	18,24	23,55	29,02	34,63	40,35	46,18	52,10
	18	9,40	14,95	20,78	26,84	33,07	39,45	45,97	52,61	59,36
	20	10,71	17,03	23,68	30,58	37,68	44,96	52,39	59,95	67,64
36	10	5,95	9,46	13,15	16,98	20,92	24,96	29,09	33,29	37,56
	12	6,77	10,78	14,98	19,35	23,84	28,45	33,15	37,93	42,80
	14	7,72	12,28	17,07	22,05	27,17	32,41	37,77	43,22	48,77
	16	8,80	13,99	19,46	25,12	30,95	36,93	43,04	49,25	55,57
	18	10,02	15,95	22,17	28,62	35,27	42,08	49,04	56,12	63,32
	20	11,42	18,17	25,26	32,62	40,19	47,95	55,88	63,94	72,15
42	10	6,23	9,91	13,77	17,79	21,91	26,14	30,46	34,86	39,33
	12	7,09	11,29	15,69	20,26	24,97	29,79	34,71	39,72	44,82
	14	8,08	12,06	17,88	23,09	28,45	33,94	39,55	45,26	51,07
	16	9,21	14,65	20,37	26,31	32,41	38,67	45,06	51,57	58,19
	18	10,49	16,70	23,21	29,97	36,93	44,07	51,35	58,76	66,30
	20	11,96	19,03	26,45	34,15	42,08	50,21	58,51	66,96	75,55
48	10	6,44	10,25	14,25	18,41	22,68	27,06	31,53	36,09	40,71
	12	7,34	11,68	16,24	20,97	25,84	30,83	35,93	41,12	46,39
	14	8,37	13,31	18,51	23,90	29,45	35,13	40,94	46,85	52,86
	16	9,53	15,17	21,09	27,23	33,55	40,03	46,65	53,39	60,23
	18	10,86	17,28	24,03	31,03	38,23	45,62	53,15	60,83	68,63
	20	12,38	19,69	27,38	35,35	43,56	51,98	60,57	69,31	78,20
54	10	6,62	10,53	14,64	18,91	23,30	27,80	32,39	37,07	41,82
	12	7,54	12,00	16,69	21,54	26,55	31,67	36,91	42,24	47,66
	14	8,59	13,67	19,01	24,55	30,25	36,09	42,05	48,13	54,30
	16	11,16	17,75	24,68	31,87	39,27	46,86	54,60	62,49	70,50
	18	12,72	20,23	28,13	36,32	44,75	53,39	62,22	71,20	80,33

I.L. = Índice de local.



QUADRO 2D - Tabela de Produção Empírica em Peso com Casca (toneladas/ha), para o Espaçamento 3,0 x 1,5 m, Segundo a Equação  $\ln \bar{W}_{CC} = 7,03317 + 1,12982 \cdot \ln B + 0,057742 \cdot S - 14,1336 \cdot (1/I)$

Idade (meses)	I.L.	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	10	2,76	4,36	6,04	7,77	9,55	11,36	13,21	15,09	17,00
	12	3,10	4,90	6,78	8,72	10,71	12,75	14,83	16,94	19,08
	14	3,48	5,50	7,61	9,79	12,03	14,31	16,64	19,01	21,42
	16	3,90	6,17	8,54	10,99	13,50	16,07	18,68	21,34	24,04
	18	4,38	6,92	9,58	12,33	15,15	18,03	20,97	23,95	26,98
	20	4,91	7,77	10,76	13,84	17,00	20,24	23,54	26,89	30,28
36	10	2,98	4,72	6,53	8,40	10,33	12,29	14,29	16,33	18,39
	12	3,35	5,30	7,33	9,43	11,59	13,79	16,04	18,32	20,64
	14	3,76	5,94	8,23	10,59	13,01	15,48	18,00	20,57	23,17
	16	4,22	6,67	9,23	11,88	14,60	17,38	20,21	23,08	26,00
	18	4,74	7,49	10,36	13,34	16,39	19,51	22,68	25,91	29,19
	20	5,32	8,41	11,63	14,97	18,39	21,89	25,46	29,08	32,76
42	10	3,16	4,99	6,91	8,89	10,92	13,00	15,12	17,27	19,45
	12	3,54	5,60	7,75	9,98	12,26	14,59	16,97	19,38	21,83
	14	3,98	6,29	8,70	11,20	13,76	16,38	19,04	21,75	24,50
	16	4,46	7,06	9,77	12,57	15,44	18,38	21,37	24,42	27,50
	18	5,01	7,92	10,96	14,11	17,33	20,63	23,99	27,40	30,87
	20	5,62	8,89	12,30	15,83	19,46	23,16	26,93	30,76	34,65
48	10	3,29	5,20	7,20	9,27	11,39	13,56	15,76	18,01	20,29
	12	3,70	5,84	8,09	10,40	12,78	15,22	17,69	20,21	22,77
	14	4,15	6,56	9,08	11,68	14,35	17,08	19,86	22,69	25,56
	16	4,66	7,36	10,19	13,11	16,11	19,17	22,29	25,47	28,68
	18	5,22	8,26	11,43	14,71	18,08	21,52	25,02	28,58	32,20
	20	5,86	9,27	12,83	16,51	20,29	24,15	28,08	32,08	36,14
54	10	3,40	5,38	7,44	9,58	11,77	14,01	16,29	18,61	20,96
	12	3,82	6,04	8,35	10,75	13,21	15,72	18,28	20,89	23,53
	14	4,29	6,78	9,38	12,07	14,38	17,65	20,52	23,44	26,41
	16	4,81	7,60	10,53	13,54	16,64	19,81	23,03	26,31	29,64
	18	5,40	8,54	11,81	15,20	18,68	22,23	25,85	29,53	33,27
	20	6,06	9,58	13,26	17,06	20,97	24,95	29,02	33,15	37,34
60	10	3,49	5,52	7,64	9,83	12,08	14,38	16,72	19,10	21,52
	12	3,92	6,20	8,58	11,04	13,56	16,14	18,77	21,44	24,15
	14	4,40	6,96	9,63	12,39	15,22	18,12	21,07	24,06	27,11
	16	4,94	7,81	10,80	13,90	17,08	20,33	23,64	27,01	30,42
	18	5,54	8,76	12,13	15,60	19,17	22,82	26,54	30,32	34,15
	20	6,22	9,83	13,61	17,52	21,52	25,62	29,79	34,03	38,33

I.L. = índice de local.



APÊNDICE E

DESVIOS ENTRE VALORES OBSERVADOS E  
ESTIMADOS DA PRODUÇÃO



## APENDICE E

QUADRO 1E - Desvios entre os Valores Observados e Estimados da Produção em Área Basal ( $m^2/ha$ ), Volume ( $m^3/ha$ ) e Peso ( $kg/ha$ ), no Espaçamento 3,0 x 1,5 m

Idade	Área Basal Observada	Área Basal Estimada	Desvio % Área Basal	Desvio % Volume	Desvio % Peso
18	3,06	3,06	0,00	0,78	1,78
18	2,87	2,87	0,00	-2,37	-0,82
18	2,52	2,52	0,00	-0,20	1,09
18	4,92	4,92	0,00	0,93	1,92
18	9,89	9,89	0,00	-1,21	0,11
18	2,34	2,34	0,00	-1,74	-0,29
31	6,61	7,16	-7,68	-3,45	-4,70
31	6,17	6,63	-6,94	-6,17	-7,09
31	5,37	6,28	-14,49	-7,03	-7,93
31	8,72	9,02	-3,33	-4,66	-5,80
31	14,72	14,77	-0,34	-11,45	-11,83
31	5,98	6,10	-1,97	-8,93	-9,64
42	9,01	9,41	-4,25	-1,72	-2,88
42	8,25	8,70	-5,17	-3,94	-4,85
42	7,40	8,35	-11,38	-4,73	-5,62
42	11,71	11,27	3,90	-3,90	-4,88
42	19,49	17,45	11,69	-12,13	-12,16
42	8,69	8,17	6,36	-6,14	-6,87
57	10,17	11,65	-12,70	-0,32	-0,57
57	9,08	10,75	-15,53	-2,60	-2,58
57	8,78	10,40	-15,58	-2,33	-2,37
57	13,76	13,51	1,85	-2,59	-2,62
57	21,67	20,10	7,81	-11,56	-10,46
57	10,73	10,22	4,99	-3,18	-3,12
66	11,37	12,83	-11,38	1,94	2,17
66	10,21	11,03	-13,69	-0,11	0,39
66	10,15	11,48	-11,59	0,20	0,63
66	15,85	14,69	7,90	-1,07	-0,49
66	23,82	21,51	10,74	-10,24	-8,48
66	12,45	11,30	10,18	-0,76	-0,19
81	12,97	14,54	-10,80	4,73	5,86
81	11,62	13,40	-13,28	3,15	4,49
81	11,31	13,05	-13,33	3,59	4,82
81	17,60	16,64	5,77	1,78	3,25
81	26,22	23,54	11,38	-8,17	-5,33
81	14,21	12,87	10,41	2,36	3,78