

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO**  
**CAMPUS DE IRATI, PARANÁ**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMAR O VOLUME COMERCIAL EM**  
**FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO ESTADO DO AMAZONAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MARILU RAMOS**

**IRATI-PR**

**2012**

**MARILU RAMOS**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMAR O VOLUME COMERCIAL EM  
FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO ESTADO DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Orientador

Prof. Dr. Andrea Nogueira Dias

Co-orientadora

IRATI-PR

2012

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

- RAMOS, Marilu.  
R175c Comparação de métodos para estimar o volume comercial em Floresta Ombrófila Densa no Estado do Amazonas / Marilu Ramos. – Irati, PR : UNICENTRO, 2012.
- 54f.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro - Oeste, PR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais  
Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho  
Coorientadora: Prof. Dr. Andrea Nogueira Dias
1. Engenharia Florestal – equações de volume. 2. Funções de afilamento. 3. Floresta Amazônica. 4. Volume Comercial. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Dias, Andrea Nogueira. III. Título.
- CDD 20ª ed. 634.95

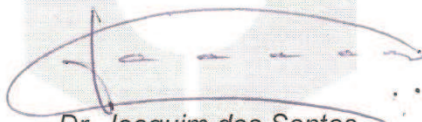
## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

### PARECER

Defesa Nº 38

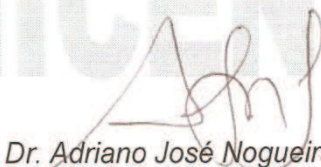
A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati, após arguir a mestranda **Marilu Ramos** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “Comparação de métodos para estimar o volume comercial em Floresta Ombrófila Densa no Estado do Amazonas”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da estudante, habilitando-a ao título de **Mestre em Ciências Florestais**, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

Irati-PR, 20 de agosto de 2012.



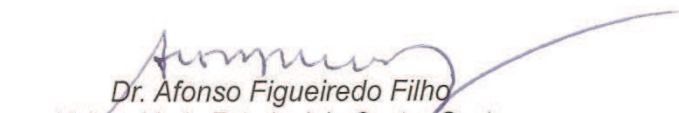
*Dr. Joaquim dos Santos*

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
Primeiro Examinador



*Dr. Adriano José Nogueira Lima*

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
Segundo Examinador



*Dr. Afonso Figueiredo Filho*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

A Deus

A uma pessoa muito especial, José Alexandre, por todo amor, carinho, compreensão e incentivo; pelas minhas ausências durante a realização deste trabalho

Aos meus pais, que em todos os momentos difíceis de minha vida, têm intercedido junto à

Deus pelo meu sucesso e felicidade

Aos meus irmãos, Eduardo e Marinês e cunhados (as)

Aos meus sobrinhos Raphael Vinícius e Miguel

**DEDICO esta conquista com gratidão e amor**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) – Madeiras da Amazônia e ao Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia (INPA), na pessoa do Prof. Dr. Niro Higuchi, pela oportunidade concedida.

À Mil Madeireira Itacoatiara Ltda. (Precious Wood Amazon) pela concessão da área para realização da pesquisa.

À Universidade Estadual do Centro Oeste, em especial ao curso de Engenharia Florestal e seus docentes pela minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Dr. Afonso Figueiredo Filho pela atenção, paciência e por suas virtudes como pessoa e como mestre, dispensada a mim ao longo deste trabalho.

À minha co-orientadora Dr. Andrea Nogueira Dias pelas colaborações e por elucidar muitas “confusões” em meu estudo.

A todos os amigos e colegas da turma de mestrado de 2010 que também tiveram paciência e contribuíram com muitos momentos de descontração.

A Raquel Álvares Leão que foi incansável em todas as viagens de campo que realizamos, pela paciência em me ouvir e pelo incentivo.

A todos os colaboradores da Empresa Mil Madeireiras que estiverem em campo e aos que nos acolheram e nos orientaram em nossos trabalhos.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1. Objetivo geral .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	5
3.1. Inventário florestal.....	5
3.2. Estimativas de volume de árvores em pé.....	7
3.2.1. Fator de forma .....	7
3.2.2. Funções de afilamento.....	9
3.2.3. Equações de volume.....	11
3.2.4. Equações de razão .....	14
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
4.1. Caracterização da área de estudo .....	16
4.2. Caracterização da amostra .....	16
4.3. Procedimentos testados para estimar o volume comercial de árvores em pé .....	18
4.3.1. Fator de forma comum ou artificial.....	19
4.3.2. Funções de afilamento.....	19
4.3.3. Modelos volumétricos de simples e dupla entrada.....	22
4.3.4. Equações de razão ( <i>ratio equations</i> ).....	23
4.4. Comparação das estimativas geradas pelos procedimentos testados para estimar o volume comercial com casca.....	24
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
5.1. Caracterização dos dados .....	25
5.2. Fator de forma artificial .....	27
5.3. Funções de afilamento para estimar diâmetros .....	30
5.4. Funções de afilamento para estimar volume comercial .....	35
5.5. Equações de volume .....	37
5.6. Equações de volume por família.....	39
5.7. Equações de razão .....	42
5.8. Comparação entre os vários procedimentos testados para estimar o volume comercial com casca .....	44
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	48
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Número de árvores (Nº Árv.) amostradas por espécie (sp.) e família (Fam.).....	17
<b>Tabela 2.</b> Árvores amostradas em classes de diâmetro a 1,3 m (d <sub>1,3</sub> ) e de altura comercial (hc).....	18
<b>Tabela 3.</b> Modelos matemáticos testados para expressar o perfil dos troncos das árvores amostradas .....	19
<b>Tabela 4.</b> Modelos matemáticos testados para estimar o volume comercial com casca .....	22
<b>Tabela 5.</b> Modelos estatísticos testados para estimar volumes relativos e comerciais.....	23
<b>Tabela 6.</b> Tratamentos considerados nas análises estatísticas .....	24
<b>Tabela 7.</b> Valores médios de diâmetro à altura do peito (d <sub>1,3</sub> ), altura comercial (hc) e volume comercial com casca (vcc) para as espécies amostradas .....	26
<b>Tabela 8.</b> Fator de forma artificial mínimo (Mín.), médio e máximo (Máx.) e Coeficiente de Variação (CV) para as espécies estudadas .....	28
<b>Tabela 9.</b> Fator de forma médio $f_{1,3}$ por centro de classe de diâmetro (d <sub>1,3</sub> ) para a amostra e para algumas espécies estudadas .....	29
<b>Tabela 10.</b> Fator de forma artificial médio ( $f_{1,3}$ ) e coeficiente de variação (CV%) para as famílias das espécies cubadas.....	30
<b>Tabela 11.</b> Coeficientes e estatísticas dos modelos de afilamento testados para estimar diâmetros ao longo do fuste.....	31
<b>Tabela 12.</b> Estatísticas para estimativa do diâmetro ao longo do fuste das árvores (0 m a 30%, 30% a 70% e de 70% a 100% da altura comercial), com o polinômio de quinto grau e o modelo de Garcia et al. (1993) .....	34
<b>Tabela 13.</b> Ranking da performance de funções de afilamento para estimar diâmetros (di) em porções relativas do tronco .....	34
<b>Tabela 14.</b> Erro padrão de estimativa para volume comercial com casca obtido a partir de funções de afilamento.....	35
<b>Tabela 15.</b> Estatísticas para estimativa do volume em três porções relativas do fuste comercial com os modelos de Demaerschalk (1972) e de quinto grau .....	36
<b>Tabela 16.</b> Ranking da performance das funções de afilamento para estimar volume em três porções relativas do fuste comercial com casca (vc) para o polinômio de quinto grau e de Demaerschalk (1972) .....	37



<b>Tabela 17.</b> Coeficientes e estatísticas dos modelos de simples e dupla entrada testados para estimar o volume comercial com casca para toda a amostra.....	38
<b>Tabela 18.</b> Comparação entre as estatísticas de análise de diferentes trabalhos que testaram modelos volumétricos para estimar volume comercial de espécies nativas da floresta amazônica.....	39
<b>Tabela 19.</b> Estatísticas e coeficientes das equações de volume de simples e dupla entrada para estimar volume comercial com casca para espécies das famílias Fabaceae-Faboideae, Lauraceae e Sapotaceae.....	41
<b>Tabela 20.</b> Coeficientes e estatísticas para os modelos de razão utilizados para a estimativa do volume comercial com casca.....	43
<b>Tabela 21.</b> Médias dos volumes comerciais com casca (vcc) observados e estimados, intervalo de confiança e variâncias para cada tratamento ( $s^2$ ).....	45
<b>Tabela 22.</b> Análise de variância para comparação dos tratamentos.....	46
<b>Tabela 23.</b> Comparação de médias dos 7 tratamentos pelo Teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{d}_i$ com o Polinômio de 5º grau.....	32
<b>Figura 2.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{d}_i$ com o modelo de Garcia et al. (1993).....	32
<b>Figura 3.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{d}_i$ com o modelo do Kozak et al. (1969).....	32
<b>Figura 4.</b> Perfil médio do tronco, estimado pelo modelo de Garcia et al. (1993) e respectivos valores observados.....	32
<b>Figura 5.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{v}_c$ com o modelo de afilamento de Demaerschalk (1972).....	36
<b>Figura 6.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{v}_c$ com o Polinômio de 5º Grau.....	36
<b>Figura 7.</b> Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo de Hohenadl-Krenn.....	39
<b>Figura 8.</b> Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo Meyer.....	39
<b>Figura 9.</b> Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo de simples entrada de Hohenadl-Krenn, para a família Sapotaceae.....	42
<b>Figura 10.</b> Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo de dupla entrada de Meyer, para a família Sapotaceae.....	42
<b>Figura 11.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{v}_c$ com o modelo de razão de Burkhart pelo ajuste não linear.....	44
<b>Figura 12.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{v}_c$ com o modelo de razão de Clutter pelo ajuste não linear.....	44
<b>Figura 13.</b> Distribuição de Resíduos para $\hat{v}_c$ com o modelo de razão de Cao et al. pelo ajuste não linear.....	44

## RESUMO

Esta pesquisa comparou diferentes métodos para a estimativa de volume comercial em pé de espécies arbóreas amazônicas. Foram amostradas 268 árvores na Fazenda Monte Verde, Itacoatiara – AM, distribuídas em 38 espécies de 19 famílias. Os volumes das árvores foram determinados pela fórmula de Smalian e utilizados para testar os seguintes procedimentos para estimar o volume comercial: fator de forma artificial da amostra, por espécie e em classes de diâmetro; funções de afilamento; equações de volume e equações de razão, totalizando, portanto, 6 tratamentos que foram comparados com os volumes obtidos por Smalian (testemunha). A acuracidade dos modelos testados foi avaliada a partir do erro padrão da estimativa ( $S_{yx}\%$ ), coeficiente de determinação corrigido para a variável de interesse ( $R^2$ ) e pela análise gráfica dos resíduos. Para complementar a análise das funções de afilamento, foram também utilizadas as estatísticas, desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), soma do quadrado dos resíduos relativo (SQRR) e porcentagem dos resíduos (RP) com a finalidade de se ter uma análise mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo de todo o fuste. Para comparar a média entre os tratamentos foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado e o teste de Tukey para o nível crítico  $\alpha \leq 0,01$ . A análise de variância mostrou a existência de diferenças significativas entre os métodos, todavia, o teste de Tukey não identificou diferença entre as médias dos tratamentos. Concluiu-se que a equação de volume de dupla entrada de Meyer foi o método de melhor desempenho para estimar o volume comercial. A utilização de um fator de forma médio por classe de diâmetro gera estimativas mais precisas do que um fator de forma médio único para a amostra. O volume comercial estimado a partir das equações de afilamento testadas foi menos preciso que o estimado por equações de volume e que a utilização de equações de razão não se mostrou adequada quando o diâmetro foi usado como variável de entrada, mas muito apropriado quando a entrada adotada foi alturas comerciais.

**Palavras-chave:** equações de volume, funções de afilamento, floresta amazônica, volume comercial.

## ABSTRACT

This study compared different methods for the estimation of merchantable volume of standing trees species of Amazonia. We sampled 268 trees at Fazenda Monte Verde, Itacoatiara - AM, distributed in 38 species of 19 families. The volumes of the trees were determined by the Smalian formula and used to test the following procedures to estimate the commercial volumes: form factors of the sample by species and diameter classes; taper functions, volume equations and ratio equations, totalizing, therefore, six treatments, which were compared with those obtained by volume Smalian (control). The accuracy of the tested models was evaluated using the standard error of estimate ( $S_{yx}\%$ ), coefficient of determination adjusted and corrected for the variable of interest ( $R^2$ ) and by the graphical residual analysis. To complement the analysis of taper functions were also used statistics, deviation, standard deviation of differences, sum of squared relative residuals and relative residuals for the purpose of having a more detailed analysis of the performance of estimates along the stem. To compare the means between treatments was used a completely randomized design and Tukey's test for the critical level  $\alpha \leq 0.01$ . Analysis of variance showed significant differences between the methods, however, the Tukey test identified no difference between treatment means. It was concluded that double entry Meyer volume equation was the best method of performance to estimate the commercial volume. The use of an average form factor by diameter class generates more precise estimates than a single form factor for all sample. The commercial volume estimated from the taper functions tested were less accurate than the estimated by volume equations and the use of ratio equations was not adequate when the diameter used as input variable, but very suitable when the input adopted was commercial heights.

**Keywords:** volume equations, taper functions, Amazonian forest, merchantable volume

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o único país de dimensões continentais que ainda apresenta mais da metade de seu território coberto por vegetação nativa, a maior parte constituída de florestas tropicais, como a Amazônia e a Mata Atlântica, além de importantes regiões ocupadas por outros biomas. Nestes ambientes encontram-se cerca de 20% das espécies de seres vivos do planeta, o que coloca o país na primeira posição entre os mega-biodiversos. Além disso, o Brasil se destaca quanto à diversidade sociocultural, representada por mais de 200 povos indígenas e por inúmeras comunidades tradicionais detentoras de considerável conhecimento e habilidades sobre sistemas tradicionais de manejo dos recursos da biodiversidade (MDA, 2007).

A floresta Amazônica, por sua grande diversidade é considerada como um dos principais tipos de vegetação do nosso país devendo ser adequadamente manejada para garantir sua manutenção e conservação. A redução do estoque madeireiro deste tipo de floresta deriva de inúmeras causas, sendo algumas delas o aumento crescente da demanda por produtos florestais, sua valorização e o desperdício na industrialização dessas madeiras. Outras questões somam-se a isso, como o alto custo de implantação e de manutenção de florestas plantadas (CHICHORRO et al., 2003).

Quando se discorre sobre manejo é imprescindível relacionar esta atividade à sustentabilidade, ou seja, a uma exploração sustentável, se possível de impacto reduzido que esteja fundamentada em tecnologia adequada, planejamento, treinamento e desenvolvimento de mão-de-obra especializada para garantir o que regulamentou o Decreto de 1282/94, revogado pelo decreto 2788/98 sobre exploração das florestas na Amazônia definindo manejo sustentável de uso múltiplo como "a administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo, e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal". O conceito de 1994 foi ampliado para manejo florestal de uso múltiplo para incluir a utilização de produtos florestais não madeiráveis.

Uma afirmação de Scolforo (1997)<sup>1</sup>, citada por Colpini et al. (2009), diz que a

---

<sup>1</sup> Scolforo, J.R.S. **Manejo florestal**. UFLA/FAEPE, Lavras, 1997. 443 p.

precisão nas estimativas de produtividade (volume) em formações vegetais tropicais, torna-se um pré-requisito importante no planejamento e estabelecimento de ações de manejo.

Colpini et al. (2009) afirmaram que para a vegetação amazônica, devido à sua intensa diversidade, estudos de estimativas de produtividade, como o volume, ainda são escassos, isto é, não se tornaram alvo de estudo dos pesquisadores florestais, como os de povoamentos de espécies exóticas. Apesar disso, encontram-se disponíveis algumas equações gerais para as espécies arbóreas dessa floresta para estimar volumes (total ou comercial), capazes de gerar boas estimativas, como as desenvolvidas por Higuchi et al. (1997).

Na fase de planejamento, é importante destacar que os inventários realizados durante a fase pré-exploratória e no monitoramento da floresta se constitui em uma ferramenta importante e imprescindível ao manejador florestal, que pode, com os dados medidos de altura e diâmetro, estimar o volume de espécies especificadas como comerciais, com os quais se pode determinar o nível de exploração de dada área.

Muitos trabalhos têm se dedicado a estimar o volume comercial em pé de florestas, com o intuito de comparar modelos de estimação e até mesmo testar diferentes ferramentas, como é o caso desta pesquisa. Estudos com fator de forma e equações de volume são mais comuns, sendo desenvolvidos para a floresta como um todo ou para grupos de espécies.

Um grande problema enfrentado nas estimativas de volume comercial em pé para florestas nativas é a heterogeneidade deste ecossistema e é por isso que se torna difícil estimar volume em nível de espécie. O que normalmente ocorre é a estimativa de volume para um determinado grupo de espécies, ditas como importantes e comumente neste grupo se encontram as espécies comerciais, ou as de maior valor econômico.

Outras ferramentas interessantes para a determinação do volume individual são as funções de afilamento e as equações de razão, ambas podendo ser empregadas para a estimativa de volumes parciais ao longo do fuste. A primeira, e mais difundida, já vem sendo testada para estimar volume de florestas nativas (MOURA, 1994; QUEIROZ, 2006), apresentando a vantagem da estimativa de volumes ( $v_i$ ), diâmetros ( $d_i$ ) e alturas parciais ( $h_i$ ) ao longo do fuste. Os estudos com equações de razão têm sido direcionados a florestas plantadas, mas mesmo assim, muito pouco empregadas no Brasil. Este tipo de equação é uma relação entre o volume comercial e total e utiliza como variáveis de entrada a altura total e o diâmetro à altura do peito ( $d_{1,3}$ ), além de uma variável que representa níveis comerciais, como o diâmetro ( $d_i$ ) ou uma altura comercial ( $h_i$ ). Desta forma, sua aplicação em florestas nativas

onde se estima o volume comercial, exige certas mudanças conceituais e nas variáveis de entrada, tendo em vista que neste tipo de floresta, medem-se o  $d_{1,3}$  e a altura comercial, esta última com muita dificuldade e uma certa subjetividade.

A grande dificuldade quando se trata do manejo de florestas nativas passíveis de exploração está na precisão das estimativas do volume comercial, bem como a dificuldade na aplicação de uma ferramenta e/ou procedimento que necessita de um número maior de variáveis de entrada.

Considerando a importância em se dispor de ferramentas adequadas para estimar os volumes de árvores em pé, notadamente para a floresta amazônica, onde há uma carência evidente dessas informações, nesta pesquisa são testados métodos tradicionais, como fatores de forma e equações de volume, já em uso, mas ainda pouco disponíveis e tecnologias ainda pouco testadas ou incipientes para essa importante floresta brasileira, como as funções de afilamento e equações de razão.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Avaliação de diferentes procedimentos para estimar o volume comercial de árvores em pé da Floresta Ombrófila Densa no Estado do Amazonas.

### 2.2. Objetivos específicos

- Determinar o fator de forma artificial para as espécies amostradas;
- Ajustar funções de afilamento;
- Ajustar modelos volumétricos de simples e dupla entrada, considerando todas as espécies e por família;
- Ajustar equações de razão (*ratio equations*).
- Comparar os volumes comerciais estimados pelos diferentes procedimentos com os volumes comerciais cubados.



### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Inventário florestal

De acordo com Lima (2010), inventário florestal é definido como sendo “uma atividade que avalia o potencial qualitativo e quantitativo das espécies que compõem o ecossistema objeto de estudo e funciona como a base para o planejamento do uso dos recursos madeireiros e não madeireiros”. Sendo assim, os inventários florestais são realizados com a finalidade de planejamento da exploração e uso da terra (ARAÚJO et al., 1999) e os dados provenientes do inventário são apropriados para a estimativa de diferentes volumes da floresta, isto é, a estimação da produção e/ou do crescimento, dependendo do tipo de inventário realizado (CAMPOS et al., 2002).

Lima (2010) ressaltou ainda que podem ser variados os objetivos do inventário florestal, sendo que são diversas as causas que o motivam, entre elas: exploração florestal em grande, média e pequena escala, recreação, reserva florestal, bacias hidrográficas e manutenção da vida silvestre, para fins de reflorestamento comercial e para reconhecimento.

Por isso é importante ranquear estes objetivos, sendo esta organização imprescindível para o planejamento. Lima (2010) afirmou que a base deste planejamento é saber que tipo de inventário realizar, depois os dados necessários a serem levantados e então a classificação pela prioridade.

Com relação à floresta Amazônica, o inventário florestal está intrinsecamente ligado à teoria de amostragem, pois na Amazônia, as populações geralmente são extensas, de difícil acesso e na maioria das vezes necessitam ser inventariadas em curto espaço de tempo, como afirmam Péllico Neto e Brena (1997). Lima (2010) afirmou que na Amazônia, o grupo de pesquisadores do Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (LMF/INPA) já realizou e vem realizando inúmeros inventários florestais baseados em procedimentos estatísticos de amostragem, fixando tempo e recursos disponíveis para a execução do trabalho, mostrando a incerteza que há no levantamento.

Nos inventários florestais amazônicos são empregados diferentes tamanhos e formatos de parcelas, medindo-se diâmetro à altura do peito e, normalmente, estimando-se a altura comercial a partir da experiência do inventariador. Em um levantamento sobre o tamanho e forma de parcelas para inventários florestais de volume de madeira e estoque de carbono de

espécies arbóreas da Amazônia Central, Oliveira (2010) concluiu que os tamanhos de parcelas com melhores resultados para o diâmetro mínimo de inclusão (DMI) de 45 cm foi de 10.000 m<sup>2</sup>. Acrescentou este autor que o Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia vêm utilizando parcelas de 2.500 m<sup>2</sup>, apresentando-se como um tamanho ótimo de parcelas para as categorias de DMI de 10 cm, 20 cm e 25 cm; para DMI maiores que estes o ideal é aumentar o tamanho das parcelas para uma menor margem de erro. Para estes tamanhos, o formato adotado é o retangular em faixas, isto é, comprimentos grandes, em relação à largura da parcela.

Em florestas nativas, em geral, existe uma grande dificuldade na determinação da altura total e convenientemente, medem-se apenas a altura comercial e o diâmetro à altura do peito ( $d_{1,3}$ ) nos inventários. Muitas vezes, apenas esta última variável vem sendo medida pelas dificuldades inerentes à medição da altura comercial.

A partir dessas variáveis medidas nas parcelas, buscam-se estimar os volumes comerciais de cada árvore a fim de obter o volume por hectare e total da floresta. Várias ferramentas podem ser utilizadas para estimar o volume de árvores em pé, dentre elas podem-se citar fatores e quocientes de forma, equações de volume de simples e dupla entrada, funções de afilamento e equações de razão, sendo que na Amazônia ainda é bastante comum o uso de fatores de forma.

Para o desenvolvimento destes procedimentos é necessário a cubagem de uma amostra representativa de árvores da população que se deseja inventariar, organizando-se dessa amostra uma matriz de dados que tenha o  $d_{1,3}$  (DAP), a altura comercial, os volumes comerciais com e sem casca e os diâmetros com e sem casca nas diversas alturas do fuste comercial de cada árvore.

A cubagem rigorosa por métodos analíticos é uma importante ferramenta para estudiosos florestais, gerando volumes de maneira acurada e fácil operacionalidade em campo. A cubagem pelo método de Smalian, Huber e Newton são as mais conhecidas e usadas para a determinação de volumes individuais, segundo Loetsch et al. (1973)<sup>2</sup> *apud* Moura (1994), sendo que todas implicam na medição de diâmetros em seções ao longo do fuste. A diferença entre estas ferramentas está na posição e no número de medições de cada seção, sendo que pela fórmula de Smalian, medem-se as extremidades de cada seção, pela fórmula de Huber, mede-se o centro da tora, enquanto a fórmula de Newton consideram-se as

---

<sup>2</sup> LOETSCH, F.; HALLER, K. E. Forest inventory. München: BLV, v.1, 1973. 436 p.

extremidades e o centro de cada seção.

A partir da matriz de dados da amostra cubada, testam-se modelos matemáticos, ajustando-os por meio da técnica de regressão, selecionando-se então as mais apropriadas com base em estatísticas geradas que comparam, em geral, valores estimados com os valores observados da amostra de árvores empregadas nos ajustes dos modelos.

Na avaliação de uma floresta o volume pode ser considerado uma das principais características, principalmente quando a matéria-prima florestal é destinada para fins comerciais (MOURA, 1994; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

### 3.2. Estimativas de volume de árvores em pé

A estimativa do volume das árvores em um inventário florestal geralmente emprega um dos seguintes procedimentos: fator de forma, equações de volume ou de razão e funções de afilamento.

#### 3.2.1. Fator de forma

Dentre os vários métodos desenvolvidos para a estimativa de volumes individuais das árvores está o fator de forma, que exprime a razão entre o volume cubado da árvore pelo volume do cilindro com base no diâmetro à altura do peito ( $d_{1,3}$ ). Sua finalidade é corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore (MACHADO et al., 2005).

Drescher et al. (2001) apresentaram um conceito para fator de forma, baseado nos trabalhos de Silva (1977)<sup>3</sup> e Finger (1992)<sup>4</sup>, como sendo um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore; o fator de forma deve ser multiplicado pelo volume do cilindro para, então, obter-se a estimativa do volume do fuste da árvore.

A estimativa do volume individual de árvores, empregando-se o fator de forma, é uma importante ferramenta de correção do volume real da árvore. De acordo com Drescher et al. (2001) o fator de forma pode ser real ou verdadeiro e falso ou artificial, dependendo da altura que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Se a técnica empregada para medição do diâmetro considera a altura relativa ou absoluta, origina-se, conseqüentemente, o fator de

---

<sup>3</sup> SILVA, J.A. **Seleção de parcelas amostrais aplicadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos em Santa Maria - RS.** Santa Maria, 1974. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1974.

<sup>4</sup> FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria : UFSM / CEPEF – FATEC, 1992. 269 p.

forma real ou falso, respectivamente.

É importante ressaltar uma afirmação de Couto (1984)<sup>5</sup> no trabalho de Couto e Bastos (1987) que menciona que o uso do fator de forma médio deve ser restrito às condições locais de sítio. Qualquer extrapolação além desses limites pode ser perigosa sob o ponto de vista de previsão dos resultados finais.

Em estudos sobre biomassa na Amazônia, Nogueira et al. (2008) afirmaram que para as estimativas de biomassa das florestas amazônicas, em muitos estudos tem sido usado um fator de forma único, médio, para o conjunto da Amazônia, independente do tipo de floresta.

Flor (1977) afirmou que os problemas que poderão advir com o uso do fator de forma surgem quando ele é calculado em função do volume, porque, tanto o fator de forma quanto o volume estão relacionados com o diâmetro à altura do peito e a altura do fuste, sendo que a relação entre estes varia com o sítio, isto é, existe um erro embutido nas variáveis empregadas para o cálculo do fator de forma, por isso o emprego desta técnica deve ser ponderado.

No trabalho realizado por Ubialli et al. (2003) foram apresentados alguns valores de fator de forma médio para algumas espécies de grande valor comercial da Amazônia matogrossense. Esses autores relataram que o fator de forma comum ( $f_{1,3}$ ) de 0,712, proposto pela SUDAM (1973)<sup>6</sup>, é o fator de forma médio mais empregado para a estimativa de volume de espécies florestais amazônicas. Os autores recomendaram ainda, o agrupamento de espécies por classe de forma para serem referenciadas pelo uso de expressões de forma.

Gomes (2008) testou, além de algumas equações de volume, o fator de forma 0,7, usualmente empregado para estimativa de volume comercial de espécies da floresta amazônica. Como resultado de sua pesquisa, afirmou que o emprego deste valor de fator de forma normalmente, tende a subestimar o volume, resultado obtido também por Rolim et al. (2006) ao testarem este mesmo valor de fator de forma e equações de volume para um grupo de 55 árvores de diferentes espécies.

O fator de forma médio de 0,7 foi usado no projeto RADAMBRASIL que fez o levantamento dos recursos naturais de todo o território brasileiro nos anos de 1970 e 1980 (RADAMBRASIL, 2012). Nogueira et al. (2008) desenvolveram um trabalho testando este mesmo fator de forma utilizado no projeto RADAMBRASIL para uma nova amostra. Neste projeto o fator de forma de 0,7 foi empregado para a estimativa do volume comercial de todas

---

<sup>5</sup> COUTO, H.T.Z. do. Sistemas integrados de levantamentos florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2, Piracicaba, 1984. *Anais*. Piracicaba, IPEF, 1984. p.121-127.

<sup>6</sup> SUDAM. **Levantamentos florestais realizados pela missão FAO na Amazônia** (1956-1961). Belém, 2v., 1973. 401-705p.

as espécies presentes no projeto. Os autores concluíram que o fator de forma médio, para espécies amazônicas, é sempre próximo de 0,7, mas que para espécies de grande porte este valor de fator de forma tende a superestimar o volume por serem estas árvores mais afiladas, isto é, árvores de grandes diâmetros tendem a ter um fator de forma médio inferior a 0,7.

### 3.2.2. Funções de afilamento

Existem muitas teorias que tentaram explicar a forma dos troncos, como a teoria da condução da água, proposta por Paul Jaccard, a partir de 1992 e a Teoria Mecanística introduzida por Simon Schwendener em 1874 e propagada por K. Metzger a partir de 1893 (MENG et al., 2007; QUEIROZ, 2006).

A forma do fuste das árvores pode ser influenciada por diferentes fatores, já que o crescimento das árvores não é constante ao longo do tronco. Muitos autores afirmaram que o comprimento de copa é o fator com influência direta sobre a forma do tronco (FRIEDL, 1989<sup>7</sup> *apud* QUEIROZ, 2006). Outros fatores que se relacionam com a forma do tronco são a densidade da floresta, posição sociológica que a árvore ocupa, sítio ou local onde a árvore cresce, herdabilidade genética, desbastes, idade, métodos silviculturais e causas anômalas, como doenças e/ou pragas (SCHNEIDER et al., 1996; SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1998; QUEIROZ, 2006).

O desenvolvimento de funções de afilamento vem aumentando por parte de pesquisadores que buscam encontrar um modelo que seja capaz de expressar, com alta precisão, o volume de árvores, e difundir esta técnica como mais uma alternativa para as estimativas de volume, assim como os fatores de forma e as equações de volume.

Vários autores concordam ao afirmarem que o primeiro trabalho que expressou a forma do tronco, por meio de modelo matemático, foi o realizado por Höjer, em 1903 (SCOLFORO, 1993<sup>8</sup> *apud* CONCEIÇÃO, 2004; FISCHER et al., 2001; QUEIROZ, 2006) e que muito se tem estudado sobre essas ferramentas, como pode ser observado nos trabalhos de Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer et al. (2001), Chichorro et al. (2003), Leite et al. (2006), Menon (2006) e Figueiredo et al. (2006b).

---

<sup>7</sup>FRIEDL, R.A. **Dinâmica da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucaria angustifolia*** (Bert) Ktze. Curitiba: UFPR – Setor de Ciências Agrárias, 1989, 166p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

<sup>8</sup> SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal**: volumetria. Mod. 2. Lavras: ESAL/FAEPE. 1993.

Fischer et al. (2001) afirmaram que “a aplicação dessas funções de afilamento é um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permitem valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal”. Serve, portanto, como base para o planejamento do manejo florestal sustentável, foco de muitos estudos de produção florestal na Amazônia, indicando, principalmente os volumes comerciais parciais ao longo do fuste, como forma de maximizar o aproveitamento da madeira pelo sortimento.

De acordo com Mendonça et al. (2007), citando Hush et al. (1993)<sup>9</sup>, as funções de afilamento são importantes ferramentas para quantificar os multiprodutos da madeira, já que são capazes de estimar a altura em qualquer diâmetro e o diâmetro a qualquer altura do fuste, bem como estimar o volume para segmentos específicos do tronco.

A estimativa de produtividade, em volume total ou comercial, não fornece informações quantitativas sobre a madeira para um padrão de uso específico, ou seja, a quantidade de madeira para serraria, polpa de madeira ou de madeira para energia. E é neste ponto que as funções de afilamento expressam melhores essas quantidades, isto é, são capazes de expressar o volume de determinada parte do fuste, de acordo com um diâmetro mínimo estabelecido no planejamento florestal de uso da madeira (TESHOME, 2004).

Além das vantagens referentes à flexibilidade e amplitude das informações geradas, as funções de afilamento apresentam ainda o princípio da compatibilidade entre o volume total e os volumes comerciais estimados. Tal princípio garante que a soma dos volumes comerciais seja sempre igual ou menor que o volume total (Scolforo, 1997).

É importante ressaltar que as funções de afilamento, como os de Kozak et al. (1969)<sup>10</sup>, Demaerschalk (1972)<sup>11</sup>; Goulding e Murray (1976)<sup>12</sup>, Burkhart (1977)<sup>13</sup> e Biging (1984)<sup>14</sup>, foram desenvolvidos para se estimar volume comercial e total, da altura comercial e do diâmetro superior, tanto para povoamentos puros, equiâneos, como também para florestas naturais (CHICHORRO et al., 2003).

---

<sup>9</sup> HUSH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: The Ronald Press, 1993. 410 p.

<sup>10</sup> KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper function and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

<sup>11</sup> DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.

<sup>12</sup> GOULDING, C. J.; MURRAY, J. C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 5, n. 3, p. 313-322, 1976.

<sup>13</sup> BURKHART, H. E. Cubic-foot volume of Loblolly Pine to any merchantable top limit. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 1, n. 2, p. 7-9, 1977.

<sup>14</sup> BIGING, G. S. Taper equations for second mixed-conifers of Northern California. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 103-1117, 1984.

É possível maximizar o aproveitamento de uma árvore ou povoamento a partir do sortimento. Para tal, o uso da integral de um modelo de afilamento permite estimar o volume em qualquer porção do fuste. Este sortimento, seja para nativas ou plantadas, é uma importante ferramenta no planejamento da utilização dos recursos florestais e na avaliação do manejo empregado, pois permite a quantificação e classificação volumétrica de acordo com as dimensões e qualidade, para os múltiplos usos da madeira (FISCHER, 1997).

Quando os modelos de afilamento foram desenvolvidos, eram aplicados a florestas plantadas ou florestas naturais de clima temperado, para a determinação dos volumes comercial e total, da altura comercial e do diâmetro superior. Seu emprego em países de clima tropical, como o Brasil, aumentou após o plantio em larga escala das espécies exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Quanto às espécies nativas, são raros os trabalhos de afilamento, podendo-se destacar o trabalho de Moura (1994), no qual as funções de afilamento foram testadas por espécie, para sete espécies comerciais amazônicas, indicando o modelo de Demaerschalk (1972) como sendo o mais apropriado para expressar o afilamento dos fustes das árvores, para todas as espécies amostradas na pesquisa.

Outro trabalho pertinente, que estudou o forma do tronco de espécies florestais amazônicas foi o desenvolvido por Ubialli et al. (2003), que demonstraram que o modelo de Prodan et al. (1965) foi apropriado para a maioria das espécies estudadas e também para os agrupamentos de espécies propostos por eles, em função dos valores de fator de forma comum das espécies estudadas.

Destaca-se ainda, o estudo com funções de afilamento desenvolvido por Chichorro et al. (2003), que encontraram coeficiente de determinação maior que 93% para modelos de afilamento com o objetivo de quantificar múltiplos produtos da madeira da Mata Atlântica no Espírito Santo. Os resultados encontrados foram satisfatórios em termos de ajuste, porém não se exclui a necessidade de novas pesquisas sobre o assunto.

### **3.2.3. Equações de volume**

Para a estimação de volume em pé é frequente o uso de equações de volume. Couto e Bastos (1987), citando Couto (1984)<sup>5</sup>, ressaltaram a precisão deste método, afirmando que o mesmo é mais preciso quando comparado ao método de fator de forma. O volume de árvores tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade, empregando-se equações de volume,

ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro à altura do peito e da altura total ou até mesmo, altura comercial.

Os modelos matemáticos empregados para a estimativa do volume sólido de árvores individuais são desenvolvidos e testados para apresentarem a maior precisão possível (COUTO e BASTOS, 1987), dependendo obviamente, do conjunto de dados que se trabalha.

As equações de volume, nas quais os modelos matemáticos empregam uma única variável para a estimativa de volume, são chamadas Equações de Volume de Simples Entrada ou locais, sendo normalmente esta variável o  $d_{1,3}$ . Este procedimento pode ser adotado se confirmada a existência de elevada relação hipsométrica, ou seja, quando o diâmetro é capaz de explicar a altura por meio da correlação entre elas (OLIVEIRA, 2010).

Já as equações que utilizam modelos envolvendo duas variáveis,  $d_{1,3}$  e altura ou outra variável que tenha relação com o volume, como por exemplo, o fator de forma, são chamadas Equações de Volume de Dupla Entrada ou regionais (FIGUEIREDO et al., 2006). Este tipo de equação é utilizado quando não existe uma elevada relação hipsométrica que possibilite um ajuste adequado da equação, o que ocorre na maioria das ocasiões (OLIVEIRA, 2010).

A generalidade das equações de volume depende das variáveis independentes empregadas no modelo, sendo que as equações cujos modelos incluem como variável independente, a altura e o  $d_{1,3}$  da árvore, são mais gerais podendo abranger sítios diferentes (COUTO, 1984<sup>5</sup> *apud* COUTO e BASTOS, 1987).

Um arranjo de equações de volume pode ser testado para cada uma das espécies ou poderá utilizar coeficientes baseados no agrupamento de determinadas espécies de árvores, comumente espécies comerciais. Em um trabalho desenvolvido por Akindele e LeMay (2006), apesar de uma mesma equação não ser ideal para todas as espécies, devido às diferenças em suas características, uma única equação foi indicada como sendo capaz de estimar o volume com base nos coeficientes de um agrupamento de espécies, ou seja, os autores indicaram o uso de uma equação de volume ajustada para um conjunto de árvores, por ter apresentado estatísticas de precisão parecidas com as estatísticas das equações de volume ajustadas por espécie.

De acordo com Akindele e LeMay (2006), o volume do tronco da árvore é estimado, normalmente, em função do diâmetro, altura e fator de forma, como na expressão:

$$v=f(d,h,f)$$



$v$  = volume total ou comercializável;

$d = d_{1,3}$ ;

$h$  = altura total, comercial, ou altura de algum limite específico, e

$f$  = medida de forma.

Todavia, a maioria das equações de volume usa o  $d_{1,3}$  (equações de volume local) e, por vezes,  $d$  e  $h$  (equações de volume padrão ou de dupla entrada) como variáveis independentes, uma vez que as medidas de forma são mais difíceis e caras de se obter (AKINDELE e LEMAY, 2006). Estes mesmos autores afirmaram que desde que o volume é linearmente relacionado à área transversal da árvore, a relação entre o volume da árvore e o  $d_{1,3}$  é curvilínea. Também, a variância do erro para a função de volume, geralmente aumenta com o tamanho da árvore. Para corrigir essa heterogeneidade da variância do erro, frequentemente, a transformação logarítmica tem sido empregada.

Uma dificuldade no uso de equações de volume em floresta nativa está no fato de que as equações de volume de muitos trabalhos publicados se limitam a características específicas, como uma determinada área, idade, espaçamento, notação ou espécie (COUTO, 1984<sup>5</sup> *apud* COUTO e BASTOS, 1987), fatores estes que não podem ser observados nas florestas nativas, impedindo o uso destas equações para a estimativa de volume deste tipo florestal, enfatizando-se então a necessidade do desenvolvimento de equações de volume específicas para este tipo de floresta.

De acordo com Lima et al. (2005) é muito importante a obtenção da variável volume nos inventários florestais, pois auxilia na tomada de decisão e no planejamento do manejo florestal. O volume ( $m^3$ ) expressa a condição de produção da área florestal em um determinado momento, a partir das variáveis medidas no inventário e pode ser utilizado para estimar o potencial produtivo do povoamento florestal.

A necessidade do desenvolvimento de equações de volume por espécie ou por grupo de espécies já havia sido descrita por Higuchi (1978) e Fernandes et al. (1983), como sendo uma alternativa para se evitarem erros significativos nas avaliações de volume, já que estariam sendo avaliadas espécies de características semelhantes e não um conjunto de árvores de diferentes espécies, com características bem distintas.

Muitos trabalhos foram realizados testando-se equações de volume para florestas nativas, como os trabalhos de Fernandes et al. (1983) na Estação Experimental de Silvicultura

Tropical; de Silva e Araújo (1984) e Silva et al. (1984), na Floresta Nacional de Tapajós para árvores de pequenos e grandes diâmetros, respectivamente; de Oliveira et al. (2005), em fragmento florestal natural do município de Viçosa e de Thaines et al. (2010), na região da bacia do Rio Ituxi, no Amazonas.

Soares (2011) testou modelos hipsométricos, volumétricos e de afilamento para onze espécies nativas brasileiras plantadas em parcelas experimentais, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento da dendrometria dessas espécies e incentivar novos estudos em espécies nativas do Brasil, e dentre os modelos testados, selecionou os modelos de volume de Spurr e o de Schumacher-Hall para as estimativas de volume, cada qual, para um grupo de espécies distintas e o modelo de afilamento de Biging (1984)<sup>14</sup> foi superior em dez, das onze espécies avaliadas.

Outra colaboração importante para a estimativa de volume, a partir de equações de volume, foi o trabalho desenvolvido por Rolim et al. (2006), que ajustaram modelos de simples e dupla entrada, apontando também o modelo de Schumacher-Hall como o mais preciso para as estimativas de volume, enfatizando que o desenvolvimento de modelos volumétricos locais são primordiais para melhorar a precisão das estimativas.

Gomes (2008) ajustou alguns modelos de volume para estimar volume comercial para espécies amazônicas da Floresta Nacional de Tapajós. Nesta pesquisa, para o ajuste das equações o autor cubou 206 árvores com  $d_{1,3} \geq 10$  cm pelo método de Smalian. Como resultado, o autor aponta que as equações de volume de dupla entrada apresentaram melhores estimativas, avaliando as performances dos modelos a partir dos valores de Erro Padrão de Estimativa e Coeficiente de Correlação, além da análise gráfica de resíduos, principalmente devido ao diâmetro e a altura (comercial e total) serem altamente relacionadas com o volume.

#### **3.2.4. Equações de razão**

Uma alternativa para estimar o volume de árvores consiste no emprego de modelos de razão volumétrica. Alguns pesquisadores, como Reis et al. (1998), têm utilizado esta técnica estatística em floresta tropical para cálculo de biomassa. Esses autores afirmaram que o precursor no emprego desta técnica, denominada de método da razão volumétrica, foi Honer (1967).

As equações de razão são equações que estimam volumes relativos, onde o Y da equação é sempre o  $v_c/v_t$ , isto é, estimam o volume comercial, a partir da razão entre volumes. Os modelos mais disseminados são os desenvolvidos por Clutter em 1980 (CLUTTER et al., 1983) e o de Amateis e Burkhart em 1987 (REIS et al., 1998).

Conceição (2004) afirmou que apesar da concepção de vários destes modelos, pouco tem sido feito no sentido de avaliar a performance deles no Brasil, porque, segundo este autor existem algumas “lacunas de informações” referentes ao comportamento destes modelos em situações de condições extremas de crescimento.

Estas equações são mais flexíveis do que as equações de volume, porque são capazes de estimar o volume para qualquer diâmetro ou altura comercial com uma única equação, não necessitando do ajuste diferente para cada tipo de volume desejado, como é o caso das equações de volume tradicionais.

As equações de razão também são conhecidas como equações compatíveis, isto porque, quando o diâmetro superior ( $d_i$ ) é igual a zero ou quando a altura comercial ( $h_c$ ) é igual à altura total ( $d_i = 0$  ou  $H = h_i$ ), o volume estimado deverá ser igual ao volume total estimado pela equação de volume, sendo seu coeficiente de determinação igual a 1 (ALEGRIA, 1993).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos no levantamento de campo realizado na floresta da Fazenda Monte Verde, localizada no município de Itacoatiara (AM), com coordenadas geográficas de latitude leste de 12°44'26" e longitude oeste de 60°08'45", estando a uma altitude de 612 metros (EMBRAPA, 2003). A fazenda tem uma área de 8.600 km<sup>2</sup> e seu território tem como limite as cidades de: Manaus, Urucará, Rio Preto da Eva, Nova Olinda do Norte, Silves, Itapiranga e São Sebastião do Uatumã.

A vegetação no local é classificada como Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (IBGE, 1992) e desenvolve-se sob clima Tropical Úmido, segundo classificação de Köppen-Geiger, com precipitação anual de 1.900 mm, com menor volume de chuvas entre os meses de agosto a dezembro e temperatura média anual de 26°C (EMPRAPA, 2003). As espécies emergentes características são *Dinizia excelsa* (Angelim pedra) e *Manilkara cavalcantei* (Massaranduba) e as dominantes no estrato superior do dossel são *Manilkara* spp. (Massaranduba, Maparajuba etc.), *Protium* spp. (Breu) e *Pouteria* spp. (Abiu) (MENDONÇA, 2003).

### 4.2. Caracterização da amostra

A seleção das árvores foi feita de acordo com os critérios utilizados no manejo florestal da empresa proprietária da Fazenda Monte Verde como, por exemplo, espécie de maior valor comercial ou espécie comercial com maior demanda na indústria. Foram cubadas 268 árvores (Tabela 1) de 38 espécies comerciais (19 famílias), distribuídas em toda a extensão da área sob exploração na época em que a coleta de dados foi realizada, empregando-se o método de Smalian. A identificação da espécie a campo foi possível com o auxílio do mateiro da empresa e os nomes científicos pesquisados em literatura pertinente. Em cada árvore, foram medidos com a suta, os diâmetros com casca em 12 pontos ao longo do tronco comercial (ponto de corte até a base da copa), da seguinte forma:

Alturas absolutas:

- ponto de corte considerado como início da medição de altura comercial (0,0 m)

- 1,3 m ou diâmetro à altura do peito (d<sub>1,3</sub>)

Alturas relativas: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% da altura comercial

**Tabela 1.** Número de árvores (Nº Árv.) amostradas por espécie (sp.) e família (Fam.)

Família	Nome Científico	Nome Vulgar	Nº Árv. sp.	Nº Árv. Fam.
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	1	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müller Argoriensis	Piquiá marfim	8	8
Bursaceae	<i>Protium heptaphyllum</i> March.	Breu branco	1	2
	<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbride	Breu vermelho	1	
Caryocaraceae	<i>Caryocar glabrum</i> (Aublet) Pers.	Piquiarana	8	11
	<i>Caryocar villosum</i> (Aublet) Pers.	Piquiá	3	
Combretaceae	<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	Tanimbuca	3	3
Fabaceae-Caesalpinioideae	<i>Dialium guianense</i> (Aublet) Sandwith	Jutaí pororó	4	4
Fabaceae-Faboideae	<i>Andira parviflora</i> Ducke	Sucupira vermelha	4	30
	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Bentham	Sucupira amarela	2	
	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Angelim Vermelho	4	
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet) Willd	Cumarú	6	
	<i>Dipteryx</i> sp.	Cumarú vermelho	1	
	<i>Tachigali multijuga</i> Bentham	Tachi	12	
	<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Tachi preto	1	
Fabaceae-Mimosoideae	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Angelim Pedra	17	23
	<i>Piptadenia communis</i> Bentham	Timborana	6	
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aublet	Cupiúba	13	13
Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrecasas	Uchi	1	1
Lauraceae	<i>Licaria canella</i> (Meissner) Kosterm	Louro preto	32	72
	<i>Licaria chrysophylla</i> (Meissner) Kosterm	Louro aritu	3	
	<i>Nectandra rubra</i> (Mez.) C.K. Allen.	Louro gamela	27	
	<i>Ocotea contulata</i> (Ness.) Mez.	Louro amarelo	3	
	<i>Williamodendron spectabile</i>	Itaúba surubim	7	
Lecythidaceae	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Tuari vermelho	6	14
	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Tuari branco	3	
	<i>Lecythis prancei</i> Mori.	Jarana	3	
	<i>Lecythis usitata</i> Miers.	Castanha sapucaia	2	
Malvaceae	<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Cedrinho	4	4
Meliaceae	<i>Guarea Kunthiana</i> A. Juss.	Louro itaúba	17	17
Moraceae	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá	4	21
	<i>Brosimum rubescens</i> (Satiné) Taub.	Muirapiranga	1	
	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pavon	Guariúba	16	
Myristicaceae	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	Arurá vermelho	5	5
Proteaceae	<i>Euplassa pinnata</i> (Lam.) Johnston	Louro faia	1	1
Sapotaceae	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Massaranduba	26	29
	<i>Manilkara paraensis</i> (Huber) Standl.	Maparajuba	3	
Vochysiaceae	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Mandioqueira	9	9
<b>Total</b>			<b>268</b>	<b>268</b>

É importante ressaltar que as árvores que a empresa considera como comercial deve apresentar  $d_{1,3}$  de no mínimo 40 cm. Evidentemente, pelo tempo disponível para a amostragem, não foram cubadas todas as árvores/espécies exploradas no local de amostragem, mas procurou-se realizar uma coleta que contemplasse a distribuição diamétrica (a partir de 40 cm de  $d_{1,3}$ ) e em altura comercial. Foi considerada uma amplitude de classe diamétrica de 10 cm, bastante usual para a Amazônia.

A distribuição de frequência das árvores amostradas, em função das classes de diâmetro é apresentada na Tabela 2. Para cada árvore amostrada foram calculados os volumes comerciais com casca e determinados os fatores de forma comum ou artificial.

**Tabela 2.** Árvores amostradas em classes de diâmetro a 1,3 m ( $d_{1,3}$ ) e de altura comercial (hc)

Centro de Classe $d_{1,3}$ (cm)	Centro de Classe de altura (m)										Total	
	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29		31
45	1		2	4	4	1	1					13
55		3	7	10	14	16	7	7	4	1		69
65		1	6	7	9	15	10	4	3	1		56
75		1	8	4	13	6	8	7	4			51
85		1	2	4	6	6	9	4	1		1	34
95		1	1	2		1	4	4	1	1		15
105					3		1		1			5
115	1			1	3			2				7
125				1	1		1	3				6
135						1	3	1				5
145		1		1		1				1		4
>155		1					1	1				3
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>53</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>33</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>268</b>

#### 4.3. Procedimentos testados para estimar o volume comercial de árvores em pé

A partir dos dados das árvores cubadas foram testados vários procedimentos para estimar o volume em pé de árvores, os quais são descritos nos itens seguintes. Os diâmetros à altura do peito ( $d_{1,3}$ ), altura comercial (hc) e volumes comercial com casca obtidos na cubagem foram empregados para determinação dos fatores de forma e também nos ajustes das equações de volume, afilamento e equações de razão, para todas as espécies amostradas. Os modelos volumétricos foram ajustados também por grupo de espécies (por famílias) a fim de verificar possíveis melhorias na precisão das estimativas.

### 4.3.1. Fator de forma comum ou artificial

Foram determinados o fator de forma comum ou artificial ( $f_{1,3}$ ) para cada árvore amostrada, o fator de forma médio para o conjunto de árvores amostradas, o fator de forma médio por espécie, bem como o fator de forma médio por classe de diâmetro ( $d_{1,3}$ ) para todas as espécies. O fator de forma comum ou artificial ( $f_{1,3}$ ) foi determinado pela fórmula:

$$f_{1,3} = \frac{vc}{g_{1,3} \times hc}$$

$vc$  = volume comercial com casca cubado por Smalian;

$g_{1,3}$  = área transversal a 1,3 m ( $m^2$ );

$hc$  = altura comercial (m).

### 4.3.2. Funções de afilamento

Foram testados os modelos de afilamento para o tronco inteiro de Kozak et al. (1969), Polinômio de quinto grau (Schöepfer, 1966) e de Garcia et al. (1993), utilizando-se as técnicas de regressão linear, enquanto que os modelos de Ormerod (1973) e Demaerschalk (1972) foram ajustados com a técnica de regressão não-linear (Tabela 3).

**Tabela 3.** Modelos matemáticos testados para expressar o perfil dos troncos das árvores amostradas

Nº MOD.	MODELO	AUTOR
1	$\left(\frac{d_i}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{hc}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^2 + \varepsilon$	Kozak et al. (1969)
2	$\frac{d_i}{d_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{hc}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^5 + \varepsilon$	Polinômio de 5º grau (Schöepfer, 1966)
3	$\frac{d_i}{d_{1,3}} = \left[\left(\frac{hc - h_i}{hc - 1,3}\right)\right]^{\left(\frac{1}{\beta_0}\right)} + \varepsilon$	Ormerod (1973)
4	$\left(\frac{d_i}{d_{1,3}}\right)^2 = 10^{2\beta_0} \cdot d_{1,3}^{2\beta_1-2} \cdot (hc - h_i)^{2\beta_2} \cdot hc^{2\beta_3} + \varepsilon$	Demaerschalk (1972)
5	$\left(\frac{d_i}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{h_i}{hc}} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hc}\right) + \varepsilon$	Garcia et al. (1993)

Nº MOD. = número do modelo;  $d_i$  = diâmetro tomado nas diferentes alturas  $h_i$  ao longo do fuste, em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $h_i$  = altura até uma seção  $i$  do fuste, em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Os modelos foram selecionados com base nas seguintes estatísticas:

- Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{ajust}$ ):

$$R^2_{ajust} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \cdot \left( \frac{SQ \text{ Resíduo}}{SQ \text{ Total}} \right)$$

SQ Resíduo = soma de quadrados dos resíduos;

SQ Total = soma de quadrados totais.

$n$  = número de árvores cubadas;

$p$  = número de coeficientes do modelo.

- Erro Padrão de Estimativa absoluto e em percentagem ( $S_{yx}$  e  $S_{yx}\%$ )

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQ \text{ Resíduo}}{n-p}}$$

$$S_{yx}\% = \left( \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \right) \cdot 100$$

$\bar{y}$  = média dos valores observados.

- Análise Gráfica de Resíduos para identificar possíveis tendências nas estimativas do modelo. De acordo com Alegria (1993), esta análise permite detectar “a ocorrência de ajustamento por defeito, a violação da hipótese de homogeneidade das variâncias, pontos suspeitos e/ou erros nos dados, a não normalidade dos erros e a existência de pontos altamente influentes”. Os resíduos foram calculados em valores relativos (%), o que permite melhor visualização gráfica, sendo calculado pela seguinte expressão:

$$Res\% = \left( \frac{Y_i - \hat{Y}}{Y_i} \right) \cdot 100$$

$Y_i$  = valor observado;

$\hat{Y}$  = valor estimado.



Os erros foram recalculados para a variável de interesse ( $m^3$ ) quando a variável dependente do modelo era o logaritmo. Neste tipo de situação, o coeficiente de determinação também foi recalculado pelo Índice de Schlaegel e devidamente corrigido para eliminar a influência do número de coeficientes diferentes dos modelos testados. Foi realizada também a correção da discrepância logarítmica a partir do índice de Meyer (IM):

$$IM = e^{0,5 \cdot QMRes}$$

$e$  = base do logaritmo natural

QMRes = quadrado médio do resíduo da regressão

Quando o p-valor da constante, isto é, do  $\beta_0$  mostrar que este coeficiente não foi significativo, foi necessário ajustar a regressão novamente sem o intercepto, restringindo-o a um valor igual a zero. Neste caso, Gujarati (2006) afirmou que o coeficiente de correlação  $R^2$  convencional não é adequado para as regressões que não contêm o termo de intercepto, sendo necessário calcular o que é conhecido como  $R^2$  bruto para esses modelos, definido por:

$$R^2 = \frac{(\sum X_i Y_i)^2}{\sum X_i^2 \sum Y_i^2}$$

Embora esse  $R^2$  bruto atenda à relação  $0 < R^2 < 1$ , ele não pode ser comparado diretamente ao valor do  $R^2$  convencional. Por esse motivo, alguns autores não informam o valor do  $R^2$  no caso dos modelos de regressão em que o intercepto é zero, este procedimento foi adotado nesta pesquisa.

Em se tratando de floresta nativa o ideal para o ajustamento de equações de volume seria ajustar (ou desenvolver) equações por espécie. No entanto, quase sempre isso é inviável devido à necessidade de se dispor de uma amostra que permita o uso da técnica de regressão. Em decorrência disso na maioria das vezes desenvolve-se uma equação de volume capaz de estimar o volume para todas as espécies amostradas ou então equações para as espécies ou grupo de espécies mais importantes do ponto de vista econômico. No presente estudo, tendo em vista o tempo para aquisição dos dados o ajuste das equações de volume foi feito no sentido de englobar todas as espécies amostradas.

A partir destas estatísticas foi elaborado um *ranking* que permite identificar qual o melhor modelo para cada parte do fuste. Quanto menor o valor que as estatísticas apresentarem, isto é, quanto mais próximos de zero, melhor é o desempenho do modelo.

### 4.3.3. Modelos volumétricos de simples e dupla entrada

Na Tabela 4 estão listados os onze modelos testados para estimar o volume. A significância dos coeficientes de cada modelo ajustado foi analisada, tendo considerado o p-valor para um nível crítico  $\alpha = 0,05$ . Quando o p-valor para um determinado coeficiente foi igual ou maior que o valor crítico a variável relacionada a este coeficiente foi eliminada e o modelo foi ajustado novamente. Os modelos 5 e 11 compreendem modelos de ajuste não linear.

**Tabela 4.** Modelos matemáticos testados para estimar o volume comercial com casca

Nº MOD.	MODELO	AUTOR
1	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2 + \varepsilon$	Dissescu-Stanescu
2	$vc = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d_{1,3}^2 + \varepsilon$	Hohenald-Krenn
3	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3} + \varepsilon$	Berkhout
4	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3} + \beta_2 \frac{1}{d_{1,3}} + \varepsilon$	Brenac
5	$vc = \beta_0 \cdot d_{1,3}^{\beta_1} + \varepsilon$	
6	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2 \cdot hc + \varepsilon$	Spurr
7	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2 + \beta_2 d_{1,3}^2 \cdot hc + \beta_3 hc + \varepsilon$	Stoate
8	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3} + \beta_2 d_{1,3}^2 + \beta_3 d_{1,3} \cdot hc + \beta_4 d_{1,3}^2 \cdot hc + \beta_5 hc + \varepsilon$	Meyer
9	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3}^2 \cdot hc + \varepsilon$	Spurr (log)
10	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3} + \beta_2 \ln hc + \varepsilon$	Schumacher-Hall
11	$vc = \beta_0 \cdot d_{1,3}^{\beta_1} \cdot hc^{\beta_2} + \varepsilon$	

Nº MOD. = número do modelo;  $vc$  = volume comercial, em metros cúbicos;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Os modelos e equações foram avaliados com as mesmas estatísticas informadas no item 4.3.2, ou seja, coeficiente de determinação, erro padrão de estimativa e distribuição gráfica dos resíduos.

Tendo em vista a razoável quantidade de árvores amostradas nas famílias Fabaceae-Faboideae (30 árvores), Lauraceae (72 árvores) e Sapotaceae (29 árvores), e pela importância comercial de algumas espécies destas famílias, vislumbrou-se a possibilidade de que árvores de espécies diferentes, mas pertencentes a uma mesma família, pudessem apresentar formas

similares em seus troncos. Desta forma, foi realizado ajustes de equações de volume para as famílias mencionadas, buscando-se alternativas de melhorias nas estimativas com equações de volume.

#### 4.3.4. Equações de razão (*ratio equations*)

Na Tabela 5 estão os modelos de razão que foram testados na pesquisa. Os ajustes foram por regressão não linear e por regressão linear e os mesmos procedimentos de seleção (item 4.3.2.) foram empregados.

**Tabela 5.** Modelos estatísticos testados para estimar volumes relativos e comerciais

Nº Mod.	Modelo	Autor
1	$\frac{vi}{vc} = 1 - \beta_0 \left( \frac{d_i^{\beta_1}}{d_{1,3}^{\beta_2}} \right) + \varepsilon$	Burkhardt (1977)
2	$\frac{vi}{vc} = 1 - \beta_0 \left( \frac{(hc - h_i)^{\beta_1}}{hc^{\beta_2}} \right) + \varepsilon$	Cao et al. (1980)
3	$\frac{vi}{vc} = 1 - \beta_0 d_i^{\beta_1} d_{1,3}^{\beta_2} + \varepsilon$	Clutter (1963)

Nº Mod. = número do modelo;  $vi$  = volume correspondente a qualquer diâmetro mínimo pré-estabelecido ao longo do fuste, em metros cúbicos;  $vc$  = volume comercial, em metros cúbicos;  $di$  = diâmetro correspondente a qualquer altura  $hi$ , em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $hi$  = altura correspondente a qualquer diâmetro  $di$ , em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Em geral, o ajuste de equações de razão, utiliza como variável dependente a relação entre os volumes ao longo do tronco ( $vi$ ) e o volume total do tronco principal ( $vt$ ). Em se tratando de florestas nativas a altura medida nos inventários florestais é a altura comercial (até a base da copa). Desta maneira, o volume total ( $vt$ ) foi substituído pelo volume comercial até a base da copa ( $vc$ ) e os volumes parciais para vários diâmetros ( $di$ ) ou alturas ( $hi$ ) foram denominados  $vi$ .

#### 4.4. Comparação das estimativas geradas pelos procedimentos testados para estimar o volume comercial com casca

Considerou-se nessa pesquisa, o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) sendo definido como tratamentos os diferentes procedimentos para estimar o volume em pé e como repetição, as árvores cubadas (Tabela 6).

**Tabela 6.** Tratamentos considerados nas análises estatísticas

TRATAMENTOS	DESCRIÇÃO
1	Volume comercial com casca observado-cubagem (Testemunha)
2	Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio da amostra
3	Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio por espécie
4	Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio por classe de $d_{1,3}$
5	Volume comercial com casca estimado pela melhor equação de volume de simples entrada ajustada com a amostra
6	Volume comercial com casca estimado pela melhor equação de volume de dupla entrada ajustada com a amostra
7	Volume comercial com casca ( <i>vcc</i> ) estimado pela melhor equação de afilamento

Empregou-se na análise, primeiramente, o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variâncias dos tratamentos, em caso positivo, os dados foram submetidos à análise de variância para se identificar à existência, ou não, de diferenças significativas entre os tratamentos. Verificando-se diferenças significativas entre tratamentos, procede-se à aplicação do teste de Tukey para detectar diferenças entre os tratamentos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização dos dados

Na Tabela 7 observam-se os valores médios de diâmetro ( $\bar{d}_{1,3}$ ) e altura comercial para cada espécie. Foram cubadas 268 árvores de 38 espécies comerciais diferentes, distribuídas em 19 famílias, sendo a amplitude diamétrica de 166,5 cm (diâmetro mínimo de 40,5 cm e diâmetro máximo de 207,0 cm).

A espécie de maior diâmetro médio amostrada foi *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho), com  $\bar{d}_{1,3} = 148,77$  cm e a de menor diâmetro médio foi *Protium puncticulatum* (Breu vermelho), com  $\bar{d}_{1,3} = 58,50$  cm, porém esta espécie apresentou a maior altura comercial média observada (27,15 m). *Dipteryx* sp. (Cumarú vermelho) teve a menor altura comercial média com 14,13 m. Para o volume, a espécie com menor volume comercial médio foi *Cariniana micranta* (Tauari vermelho), com 24,46 m<sup>3</sup>, apesar de ter um diâmetro médio bastante expressivo de 137,31 cm. O menor volume comercial foi observado para a espécie *Tachigali myrmecophyla* (Tachi preto) com 2,98 m<sup>3</sup>, todavia não é representativo para a espécie porque foi amostrada apenas uma árvore desta espécie.

A altura de corte foi determinada no local, de acordo com as características em que as árvores se encontravam e com a facilidade de derrubada pelo motosserrista. Na presente pesquisa, a altura de corte, ou altura de toco, variou de 8,5 a 115 cm, com média de 25,8 cm, desvio padrão de 10,74 cm e coeficiente de variação de 41,61%.

**Tabela 7.** Valores médios de diâmetro à altura do peito (d<sub>1,3</sub>), altura comercial (hc) e volume comercial com casca (vcc) para as espécies amostradas

<b>Espécie</b>	<b>d<sub>1,3</sub> (cm)</b>	<b>hc (m)</b>	<b>vcc (m<sup>3</sup>)</b>
<i>Andira parviflora</i> Ducke	66,63	19,98	5,3213
<i>Aspidosperma desmanthum</i> Bentham ex Müller Argoviensis	61,00	23,54	5,0693
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	63,00	25,85	5,1800
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Bentham	60,50	21,59	4,5222
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	91,38	19,58	9,5255
<i>Brosimum rubescens</i> (Satiné) Taub.	71,00	18,50	5,0422
<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	79,50	16,01	5,2027
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	137,31	25,43	24,4595
<i>Caryocar glabrum</i> (Aublet) Pers.	107,44	22,48	15,1886
<i>Caryocar villosum</i> (Aublet) Pers.	136,33	14,29	16,0777
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pavon	64,22	21,47	5,3735
<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	94,17	21,74	8,1738
<i>Dialium guianense</i> (Aublet) Sandwith	67,88	23,62	7,1756
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	148,77	20,21	18,0113
<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet) Willd.	60,00	17,00	4,0247
<i>Dipteryx</i> sp.	72,00	14,13	4,7330
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrecasas	72,00	22,60	5,7111
<i>Euplassa pinnata</i> (Lam.) Johnston	71,50	14,25	4,5397
<i>Goupia glabra</i> Aublet	68,23	18,61	4,8678
<i>Guarea Kunthiana</i> A. Juss.	66,32	20,30	4,9783
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	68,76	19,62	6,2248
<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	76,30	22,94	7,8104
<i>Lecythis prancei</i> Mori.	71,00	20,06	5,2376
<i>Lecythis usitata</i> Miers.	118,75	17,69	14,6543
<i>Licaria canella</i> (Meissner) Kosterm	59,05	17,76	3,6896
<i>Licaria chrysophylla</i> (Meissner) Kosterm	65,83	21,66	5,5850
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	67,38	22,98	5,9506
<i>Manilkara paraensis</i> (Huber) Standl.	63,50	15,64	3,6304
<i>Nectandra rubra</i> (Mez.) C.K. Allen.	89,46	20,39	8,4275
<i>Ocotea contulata</i> (Ness.) Mez.	69,67	19,27	6,8637
<i>Piptadenia communis</i> Bentham	69,75	19,69	5,0275
<i>Protium heptaphyllum</i> March.	98,00	22,55	13,9424
<i>Protium puncticulatum</i> J.F. Macbride	58,50	27,15	5,6672
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	59,50	22,96	5,1132
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	70,13	20,43	6,0306
<i>Tachigali multijuga</i> Bentham	69,92	22,85	6,2857
<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	60,00	15,85	2,9851
<i>Williamodendron spectabile</i>	63,14	19,82	3,9233
<b>Média</b>	<b>74,07</b>	<b>20,51</b>	<b>6,77</b>

## 5.2. Fator de forma artificial

Os resultados do fator de forma artificial (ou comum) médio para as espécies estudadas são apresentados na Tabela 8. Pode-se observar que os maiores valores de fator de forma médio encontrados são para *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Dipteryx* sp. (Cumaru vermelho) e *Ocotea contulata* (Louro amarelo), com 0,8556, 0,8227 e 0,8267, respectivamente. Essas espécies têm fustes comerciais muito próximos da forma cilíndrica, enquanto que os menores valores (troncos mais afilados) foram para as espécies *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho), *Couratari stellata* (Tauari branco) e *Endopleura uchi* (Uchi), com, respectivamente, 0,5351, 0,5780 e 0,6207. É importante ressaltar, que independente da espécie o  $f_{1,3}$  médio para todo o conjunto de dados foi de 0,7201, muito próximo do valor considerado como médio para a Amazônia.

Na Tabela 9 observam-se os valores de fator de forma médio por classe de diâmetro ( $d_{1,3}$ ). Constata-se que para as menores classes de diâmetros os fustes tendem a apresentar fustes mais cilíndricos e que com o aumento dos valores das classes este valor diminui, mostrando fustes menos cilíndricos, isto é, mais afilados.

Esta tendência na diminuição do fator de forma com o aumento dos diâmetros à altura do peito ( $d_{1,3}$ ) deve-se ao fato de se empregar uma mistura de espécies com árvores afiladas e também pelo número reduzido de árvores amostradas nas maiores classes, presumindo-se também que as árvores mais grossas são mais afiladas, possivelmente, porque são dominantes e os diâmetros de copa influenciam no afilamento.

Os resultados do trabalho desenvolvido por Nogueira et al. (2008) sugerem que, para a Amazônia central, a medida que as árvores crescem se tornam mais afiladas, isto é, o fator de forma é menor para árvores maiores. Dentre os resultados obtidos por esses autores, para árvores com  $d_{1,3} \geq 50$  cm, o fator de forma variou entre 0,211 e 0,641 ( $n=23$ ). Durante a discussão do trabalho, os autores compararam seus resultados com os obtidos no projeto RADAMBRASIL, afirmando que os resultados indicam que o fator de forma médio adotado nas estimativas de volume de madeira desse projeto é similar ao encontrado no trabalho de Nogueira et al. (2008), aproximadamente 0,7.

**Tabela 8.** Fator de forma artificial mínimo (Mín.), médio e máximo (Máx.) e Coeficiente de Variação (CV) para as espécies estudadas

Nome Científico	Nome Comum	$f_{1,3}$			CV (%)
		Mín.	Médio	Máx.	
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá	0,6144	0,7618	0,8874	14,73
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Angelim pedra	0,6152	0,7677	0,9780	15,03
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	Angelim Vermelho	0,3516	0,5351	0,6439	23,87
<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	Arurá vermelho	0,6436	0,7509	0,9588	17,14
<i>Protium heptaphyllum</i> March.	Breu branco	-	0,8197	-	-
<i>Protium puncticulatum</i> J.F.Macbrid	Breu vermelho	-	0,7766	-	-
<i>Lecythis usitata</i> Miers.	Castanha sapucaia	0,7680	0,7979	0,8278	5,30
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	Cedrinho	0,7379	0,7641	0,8069	4,14
<i>Dipteryx odorata</i> (Aublet) Willd	Cumarú	0,6919	0,8003	0,9476	11,40
<i>Goupia glabra</i> Aublet	Cupiúba	0,5284	0,7135	0,9808	20,04
<i>Dipteryx</i> sp.	Cumarú vermelho	-	0,8227	-	-
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pavon	Guariúba	0,6188	0,7271	0,9547	11,06
<i>Williamodendron spectabile</i>	Itaúba surubim	0,5234	0,6357	0,9827	25,01
<i>Lecythis prancei</i> Mori.	Jarana	0,5563	0,6727	0,7316	14,99
<i>Dialium guianense</i> (Aublet) Sandwith	Jutaí pororó	0,6122	0,8153	0,9960	19,82
<i>Ocotea contulata</i> (Ness.) Mez.	Louro amarelo	0,7963	0,8267	0,8746	5,07
<i>Licaria chrysophylla</i> (Meissner) Kosterm	Louro aritu	0,7321	0,7502	0,7667	2,31
<i>Euplassa pinnata</i> (Lam.) Johnston	Louro faia	-	0,7934	-	-
<i>Nectandra rubra</i> (Mez.) C.K. Allen	Louro gamela	0,3626	0,6503	0,7690	17,27
<i>Guarea Kunthiana</i> A. Juss.	Louro itaúba	0,4651	0,7104	0,8371	13,34
<i>Licaria canella</i> (Meissner) Kosterm	Louro preto	0,5749	0,7576	0,9699	10,75
<i>Manilkara paraensis</i> (Huber) Standl	Maparajuba	0,6313	0,7167	0,7696	10,42
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	Mandioqueira	0,5993	0,7221	0,8662	14,48
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Massaranduba	0,5669	0,7162	0,8664	11,96
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	Muiracatiara	-	0,6428	-	-
<i>Brosimum rubescens</i> Taub. (Satiné)	Muirapiranga	-	0,6884	-	-
<i>Caryocar glabrum</i> (Aublet) Pers.	Piquiarana	0,5471	0,7582	0,8659	13,58
<i>Aspidosperma desmanthum</i> Bentham Ex Müller Argoviensis	Piquiá marfin	0,6435	0,7336	0,7939	8,07
<i>Caryocar villosum</i> (Aublet) Pers.	Piquiá	0,6331	0,7834	0,8982	17,37
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Bentham	Sucupira amar.	0,7251	0,7301	0,7350	0,97
<i>Andira parviflora</i> Ducke	Sucupira vermelha	0,6103	0,7425	0,8468	14,28
<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	Tauari branco	0,3899	0,5780	0,7047	28,74
<i>Tachigali multijuga</i> Bentham	Tachi	0,4455	0,7236	0,9496	20,36
<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	Tanimbuca	0,5272	0,7029	0,8950	26,24
<i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke	Tachi preto	-	0,6661	-	-
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Tauari vermelho	0,5509	0,6400	0,7131	10,72
<i>Piptadenia communis</i> Bentham	Timborana	0,4806	0,6833	0,9730	25,36
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrecasas	Uchi	-	0,6207	-	-
<b>MÉDIA</b>		<b>0,3516</b>	<b>0,7201</b>	<b>0,9960</b>	<b>15,70</b>

$f_{1,3}$  = fator de forma comum ou artificial; CV = coeficiente de variação, em percentagem; MIN = valor mínimo de  $f_{1,3}$ ; MÁX = valor máximo de  $f_{1,3}$ ; traços (-) representam as espécies com apenas um indivíduo amostrado.



**Tabela 9.** Fator de forma médio  $f_{1,3}$  por centro de classe de diâmetro ( $d_{1,3}$ ) para a amostra e para algumas espécies estudadas

Centro de Classes $d_{1,3}$ (cm)	Amostra	$\bar{f}_{1,3}$			
		<i>Hymenolobium petraeum</i>	<i>Nectandra rubra</i>	<i>Licaria canella</i>	<i>Manilkara huberi</i>
45	0,8192	0,9029	-	0,7862	0,8664
55	0,7604	0,7383	0,7328	0,7732	0,7327
65	0,7214	0,7302	0,7413	0,7577	0,7499
75	0,7138	0,8245	0,6579	0,6912	0,6673
85	0,6956	-	0,6656	0,6546	0,6721
95	0,6988	0,7704	0,6758	-	-
105	0,7205	-	0,6981	-	-
115	0,7060	-	0,6187	-	-
125	0,4854	-	0,3823	-	-
135	0,6519	0,6262	-	-	-
145	0,6665	-	-	-	-
>155	0,5155	-	-	-	-
<b>Média</b>	<b>0,7201</b>	<b>0,7677</b>	<b>0,6503</b>	<b>0,7576</b>	<b>0,7162</b>

Traços (-) representam classes de diâmetro sem árvores amostradas.

O fator de forma médio encontrado na presente pesquisa (0,7201) também é similar ao encontrado por Nogueira et al. (2008), que foi de 0,702 para árvores com diâmetro acima de 31,8 cm e ao empregado no projeto RADAMBRASIL (fator de forma médio de 0,7), mas como afirmaram Nogueira et al. (2008), o fator de forma médio corresponde ao fator de forma das árvores pequenas, com diâmetro à altura do peito em torno de 40 cm. Entretanto, essas árvores estocam, proporcionalmente, pouca madeira. As árvores grandes possuem fator de forma menor, mas foram amostradas com uma menor intensidade e por isto, influenciam pouco o fator de forma médio. Isso indica que utilizar um fator de forma médio, sem ponderar pelo volume proporcional das árvores, resultará em superestimativa de volume por hectare.

Com o intuito de estudar grupos de espécies com fatores de forma semelhantes foram calculados o  $f_{1,3}$  médio por família. Na Tabela 10 são apresentados estes resultados.

Os fatores de forma calculados para cada família (Tabela 10) indicam que a variabilidade entre os fatores de forma médio por família é considerável, sendo 0,6207 para a família Humiriaceae e 0,8153 para as espécies da família Fabaceae-Caesalpinioideae. Apesar disso, o coeficiente de variação entre os fatores de forma médio das famílias é de 7,03%. Este coeficiente foi calculado levando-se em consideração o desvio padrão entre os valores médios de fator de forma de cada família e a média geral dos fatores de forma. As espécies, Uchi

(*Endopleura uchi*), da família Humiriaceae e Jutaí pororó (*Dialium guianense*) da família Fabaceae-Caesalpinioideae, não são tão expressivas em termos comerciais em relação a outras espécies como, por exemplo, a Massaranduba (*Manilkara huberi*), Angelim vermelho (*Dinizia excelsa*) e Castanha sapucaia (*Lecythis usitata*).

**Tabela 10.** Fator de forma artificial médio ( $f_{1,3}$ ) e coeficiente de variação (CV%) para as famílias das espécies cubadas

<b>Família</b>	<b>Nº Árv.</b>	<b><math>\bar{f}_{1,3}</math></b>	<b>CV%</b>
Anacardiaceae	1	0,6428	-
Apocynaceae	8	0,7336	8,07
Burseraceae	2	0,7981	3,82
Caryocaraceae	11	0,7650	13,87
Combretaceae	3	0,7029	26,24
Fabaceae-Caesalpinioideae	13	0,8153	19,82
Fabaceae-Faboideae	1	0,7182	19,25
Fabaceae-Mimosoideae	72	0,7457	17,96
Goupiaceae	12	0,7135	20,04
Humiriaceae	2	0,6207	-
Lauraceae	17	0,7081	16,27
Lecythidaceae	21	0,6563	17,00
Malvaceae	5	0,7641	4,14
Meliaceae	1	0,7104	13,34
Moraceae	29	0,7319	11,45
Myristicaceae	9	0,7509	17,14
Proteaceae	30	0,7934	-
Sapotaceae	23	0,7162	11,63
Vochysiaceae	4	0,7221	14,48
<b>Total</b>	<b>268</b>		<b>15,70</b>
<b>Média</b>		<b>0,7201</b>	

traços (-) representam as famílias com apenas um indivíduo amostrado.

### 5.3. Funções de afilamento para estimar diâmetros

Os parâmetros estatísticos de ajuste e precisão ( $S_{yx}\%$  e  $R^2_{ajust}$ ) e os coeficientes resultantes do ajuste das funções de afilamento são apresentados na Tabela 11. Com base nessas estatísticas, constata-se uma pequena vantagem para o Polinômio de 5º grau com erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) de 14,86% e coeficiente de determinação de 0,80. Os demais

modelos tiveram desempenho muito similar, com exceção do modelo de Ormerod (1973).

O modelo de Demaerschalk (1972), encontrado em muitos trabalhos sobre funções de afilamento de espécies nativas, apresentou também uma boa performance. Em pesquisa realizada por Moura (1994) este modelo apresentou o melhor resultado para espécies nativas amostradas pelo autor na floresta amazônica.

Ao analisar o p-valor para os coeficientes dos modelos de afilamento, constatou-se que o coeficiente  $\beta_5$  do polinômio de 5º grau apresentou p-valor maior que o valor crítico adotado nesta pesquisa ( $\alpha \leq 0,05$ ). Assim sendo, a variável ligada ao coeficiente  $(hi/hc)^5$  foi excluída e o modelo foi ajustado novamente.

Moura (1994), comparando diferentes modelos de afilamento ajustados para espécies nativas amazônicas, encontrou erros ( $S_{yx}$ ) inferiores a 10% para o ajuste por espécie, quando se compara o resultado obtido pelo autor com os resultados obtidos nesta pesquisa, confirma-se a necessidade do desenvolvimento de equações por espécie, mencionado pelo próprio autor.

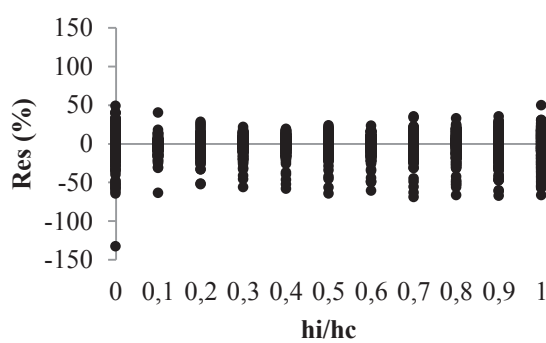
**Tabela 11.** Coeficientes e estatísticas dos modelos de afilamento testados para estimar diâmetros ao longo do fuste

AUTOR (ES)	MODELOS	COEFICIENTES	R <sup>2</sup> ajust	S <sub>yx</sub> (%)
KOZAK et al (1969)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{hc}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{hc}\right)^2$	$\beta_0$ 1,1409873 $\beta_1$ -1,4139279 $\beta_2$ 0,8720344	0,7906	15,40
POLINÔMIO DE 5º GRAU (SCHÖEPFER, 1966)	$\frac{di}{d_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{hc}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{hc}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{hc}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{hc}\right)^4$	$\beta_0$ 1,096961171 $\beta_1$ -1,649110008 $\beta_2$ 4,115103825 $\beta_3$ -4,840289906 $\beta_4$ 2,013667557	0,8048	14,86
ORMEROD (1973)	$\frac{di}{d_{1,3}} = \left[\left(\frac{hc - hi}{hc - 1,3}\right)\right]^{\left(\frac{1}{\beta_0}\right)}$	$\beta_0$ 4,6597	0,7381	17,05
DEMAERSCHALK (1972)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = 10^{2\beta_0} \cdot d_{1,3}^{2\beta_1-2} \cdot (hc - hi)^{2\beta_2} \cdot hc^{2\beta_3}$	$\beta_0$ 0,281046 $\beta_1$ 0,876228 $\beta_2$ 0,151279 $\beta_3$ -0,204231	0,7857	15,44
GARCIA et al (1993)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{hi}{hc}} + \beta_2 \left(\frac{hi}{hc}\right)$	$\beta_0$ 1,248691 $\beta_1$ -1,149968 $\beta_2$ 0,462726	0,8007	15,02

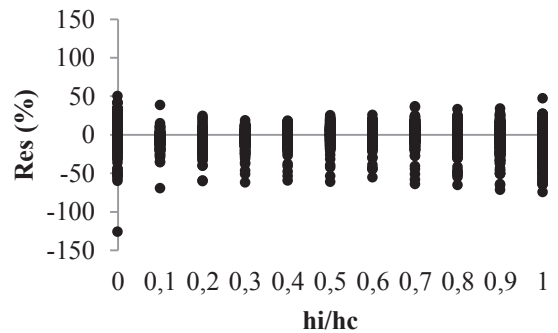
$d_i$  = diâmetro tomado nas diferentes alturas  $h_i$  ao longo do fuste, em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $h_i$  = altura até uma seção  $i$  do fuste, em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa percentual, recalculado para variável de interesse;  $R^2_{ajust}$  = coeficiente de determinação ajustado para a variável de interesse.

Ainda com base no trabalho desenvolvido por Moura (1994), os melhores ajustes foram para a espécie Jutaí-Açu (*Hymenaea courbaril* L.), apresentando o maior  $R^2_{ajust}$  dentre todas as espécies analisadas (0,96) e menor  $S_{yx}$  (6,55%). A espécie Massaranduba (*Manikara huberi* Ducke) foi a que apresentou maior  $S_{yx}$  e menor  $R^2_{ajust}$ , sendo 10,29% e 0,81, respectivamente. Estas estatísticas foram geradas pelo modelo de Demaerschalk, demonstrando o bom desempenho deste modelo, em relação aos outros modelos estudados pelo autor.

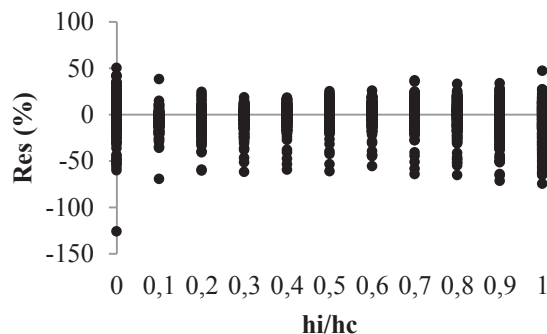
Para a avaliação dos modelos foi utilizado também a análise gráfica dos resíduos (Figuras 1 a 3) apenas para os 3 modelos com melhores estatísticas. Observam-se nesses gráficos que o polinômio de quinto grau e os modelos de Garcia et al. (1993) e de Kozak et al. (1969) apresentam estimativas similares com uma leve tendência a superestimar os diâmetros ao longo do tronco, mas qualquer deles poderia ser usado para expressar o afilamento dos troncos.



**Figura 1.** Distribuição de Resíduos para  $\hat{d}_i$  com o Polinômio de 5º grau.

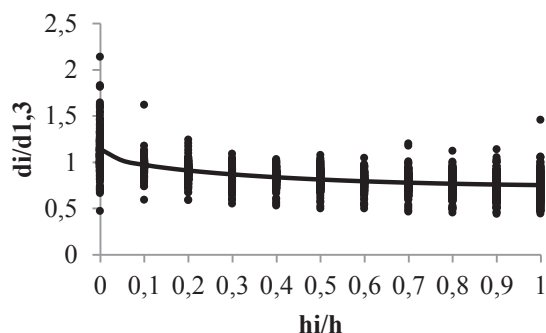


**Figura 2.** Distribuição de Resíduos para  $\hat{d}_i$  com o modelo de Garcia et al. (1993).



**Figura 3.** Distribuição de Resíduos para  $\hat{d}_i$  com o modelo do Kozak et al. (1969).

Como exemplo, apresenta-se o perfil médio do tronco estimado pelo modelo de Garcia et al. (1993) e os diâmetros  $d_i$  observados, mostrando uma apropriada dispersão dos resíduos.



**Figura 4.** Perfil médio do tronco, estimado pelo modelo de Garcia et al. e respectivos valores observados.

As estatísticas normalmente empregadas para analisar a performance em funções de afilamento com valores estimados e observados para o tronco inteiro, como o  $R^2$  e o  $S_{yx}$  podem levar à uma seleção inadequada do melhor modelo, ou seja, um modelo de afilamento pode apresentar um baixo erro para o tronco inteiro, mas pode ser tendencioso em alguma parte do tronco tanto para estimar diâmetros ( $d_i$ ) como para volumes parciais ( $v_i$ ).

Desta forma, na tentativa de se ter uma análise mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo do fuste, foram avaliadas as variáveis diâmetros estimados para o polinômio de quinto grau e para o modelo de Garcia et al. (1993) para 3 porções da altura comercial de 0 a 30%, 30 a 70% e de 70 a 100%. Os resultados das estatísticas de desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), porcentagem dos resíduos (RP) e soma do quadrado do resíduo relativo (SQRR) são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Estatísticas para estimativa do diâmetro ao longo do fuste das árvores (0 m a 30%, 30% a 70% e de 70% a 100% da altura comercial), com o polinômio de quinto grau e o modelo de Garcia et al. (1993)

Modelo	Estatísticas	Alturas Relativas		
		0 - 30	30 - 70	70 - 100
SCHÖEPFER, 1966 (POLINÔMIO DE 5º GRAU) $\frac{d_i}{d_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{hc}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{hc}\right)^4$	<b>D</b>	-2,49	-3,52	-1,65
	<b>SD</b>	19,92	17,18	19,26
	<b>SQRR</b>	17,45	17,61	28,84
	<b>RP</b>	-5,32	-5,71	-8,89
	<b>D</b>	-5,55	-3,65	-4,73
GARCIA et al. (1993) $\left(\frac{d_i}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{h_i}{hc}} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hc}\right)$	<b>SD</b>	20,27	17,20	19,52
	<b>SQRR</b>	18,52	17,56	30,88
	<b>RP</b>	-9,66	-5,81	-14,64

$d_i$  = diâmetro tomado nas diferentes alturas  $h_i$  ao longo do fuste, em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $h_i$  = altura até uma seção  $i$  do fuste, em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão; D = desvio, em centímetros; SD = desvio padrão das diferenças, em centímetros; SQRR = soma do quadrado do resíduo, em centímetros quadrados; RP = porcentagem dos resíduos, em porcentagem.

Para a análise destas estatísticas um *ranking* foi elaborado (Tabela 13) levando-se em consideração o valor da somatória que as estatísticas apresentam para cada percentual de altura. Por exemplo, na Tabela 13, o valor do desvio (D) para a porção de altura de 0 a 30% é de -2,49 para o Polinômio de 5º grau e de -5,55 para o modelo de Garcia et al. (1993), portanto, para esta estatística o melhor modelo é o Polinômio de 5º grau, assumindo a primeira posição, de valor 1, e o modelo de Garcia et al. (1993) a segunda posição, de valor 2. Esta análise foi feita para todas as estatísticas desta mesma porção de altura (0 – 30%). Como são quatro estatísticas e dois modelos e, como tem-se sempre valor 1 para o melhor e valor 2 para o pior modelo, a somatória desses valores das posições que cada estatística ocupou, será sempre 12. O modelo que obtiver menor valor de somatória representa o melhor desempenho para a altura que está sendo avaliada.

**Tabela 13.** Ranking da performance de funções de afilamento para estimar diâmetros ( $d_i$ ) em porções relativas do tronco

Alturas relativas (%)	Ranking	
	Polinômio de 5º grau	Garcia et al. (1993)
0 – 30	4 (1)	8 (2)
30 – 70	6 (1)	6 (1)
70 – 100	4 (1)	8 (2)

A análise parcial identifica melhor a precisão das estimativas e confirma o desempenho melhor do polinômio de quinto grau para a base e a parte final do tronco e similaridade na porção mediana.

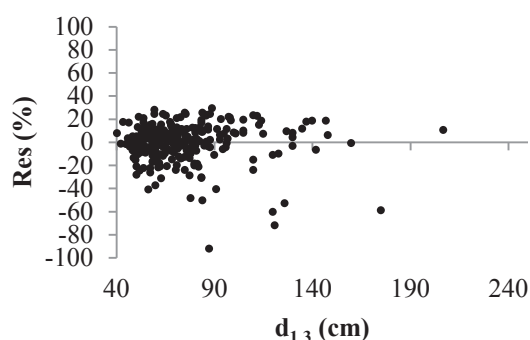
#### 5.4. Funções de afilamento para estimar volume comercial

Os modelos de afilamento também foram testados para estimativas de volumes comerciais. Os parâmetros estatísticos de precisão e ajuste ( $S_{yx}\%$  e  $R^2_{ajust}$ ) e os coeficientes estimados estão na Tabela 14.

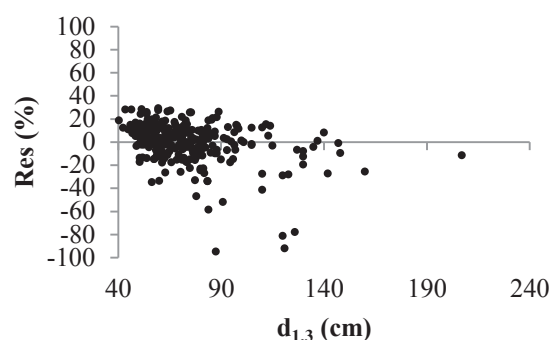
**Tabela 14.** Erro padrão de estimativa para volume comercial com casca obtido a partir de funções de afilamento

AUTOR (ES)	MODELOS	$S_{yx}(\%)$
KOZAK et al. (1969)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{hi}{hc}\right) + \beta_2\left(\frac{hi}{hc}\right)^2$	29,47
POLINÔMIO DE 5º GRAU (SCHÖEPFER, 1966)	$\frac{di}{d_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{hi}{hc}\right) + \beta_2\left(\frac{hi}{hc}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{hi}{hc}\right)^3 + \beta_4\left(\frac{hi}{hc}\right)^4$	28,16
ORMEROD (1973)	$\frac{di}{d_{1,3}} = \left[\left(\frac{hc - hi}{hc - 1,3}\right)\right]^{\left(\frac{1}{\beta_0}\right)}$	28,91
DEMAERSCHALK (1972)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = 10^{2\beta_0} \cdot d_{1,3}^{2\beta_1-2} \cdot (hc - hi)^{2\beta_2} \cdot hc^{2\beta_3}$	21,98
GARCIA et al. (1993)	$\left(\frac{di}{d_{1,3}}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\sqrt{\frac{hi}{hc}} + \beta_2\left(\frac{hi}{hc}\right)$	28,58

O modelo que apresentou melhor desempenho foi o modelo de Demaerschalk (1972), com  $S_{yx}$  de 21,98%, enquanto os demais tiveram erros médios similares em torno de 28%. A análise gráfica dos resíduos para os dois modelos com menores erros médios, apresentadas nas Figuras 5 e 6, mostram não haver tendências nas estimativas do volume para o modelo de Demaerschalk, mas indica que a função de afilamento de quinto grau superestima os volumes das árvores com diâmetros acima de 120 cm.



**Figura 5.** Distribuição de Resíduos para  $\widehat{v_c}$  com o modelo de Demaerschalk (1972).



**Figura 6.** Distribuição de Resíduos para  $\widehat{v_c}$  com o Polinômio de 5º Grau.

Esses dois modelos também foram avaliados em porções do tronco, usando as mesmas estatísticas, ou seja, o desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), porcentagem dos resíduos (RP) e soma do quadrado do resíduo relativo (SQRR), as quais estão na Tabela 15.

Um *ranking* também foi elaborado para avaliar estas estatísticas para cada porção do tronco, como foi feito para as estimativas de diâmetros ao longo do fuste. Na Tabela 16 é apresentado os resultados desta performance e é importante observar que para as estimativas de volume comercial os dois melhores modelos, avaliados segmentadamente, não apresentam diferenças estatísticas entre as estimativas. Nota-se que o valor do *ranking* é o mesmo para todas as porções de alturas avaliadas.

**Tabela 15.** Estatísticas para estimativa do volume em três porções relativas do fuste comercial com os modelos de Demaerschalk (1972) e de quinto grau

Modelo	Estatísticas	Alturas Relativas		
		0 - 30	30 - 70	70 - 100
DEMAERSCHALK (1972)	<b>D</b>	0,12	-0,31	0,21
	<b>SD</b>	0,45	0,43	0,47
	<b>SQRR</b>	33,07	91,55	99,14
	<b>RP</b>	-2,08	-65,26	16,64
SCHÖEPFER, 1966 (POLINÔMIO DE 5º GRAU)	<b>D</b>	-0,08	-0,54	-0,74
	<b>SD</b>	0,86	2,36	3,33
	<b>SQRR</b>	27,24	38,82	37,86
	<b>RP</b>	-1,80	-1,09	-3,16

$d_i$  = diâmetro tomado nas diferentes alturas  $h_i$  ao longo do fuste, em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $h_i$  = altura até uma seção  $i$  do fuste, em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão; D = desvio, em centímetros; SD = desvio padrão das diferenças, em centímetros; SQRR = soma do quadrado do resíduo, em centímetros quadrados; RP = porcentagem dos resíduos, em porcentagem.



**Tabela 16.** Ranking da performance das funções de afilamento para estimar volume em três porções relativas do fuste comercial com casca (vc) para o polinômio de quinto grau e de Demaerschalk (1972)

Alturas Relativas (%)	Ranking	
	Pol. 5º Grau	Demaerschalk (1972)
0 – 30	6 (1)	6 (1)
30 – 70	6 (1)	6 (1)
70 – 100	6 (1)	6 (1)

A análise parcial não mostrou nenhuma diferença entre os modelos para os diferentes segmentos do tronco, isto é, qualquer um dos modelos avaliados estima, em igual precisão, as estimativas de volume comercial para partes do fuste comercial. Levando-se em consideração também o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação, estatísticas globais para o tronco comercial inteiro, o modelo de Polinômio de 5º Grau é o mais aconselhado para estimar volumes.

### 5.5. Equações de volume

Os resultados dos ajustes dos modelos testados, tanto para os de simples entrada como para os de dupla entrada, são apresentados na Tabela 17. Ao se aplicarem os critérios utilizados para a seleção de equações de simples e dupla entrada, foram observadas as equações que melhor atenderam aos requisitos pré-estabelecidos em relação à precisão e ajuste, sendo estes o modelo de Meyer para equações de volume de dupla entrada e o modelo de Hohenadl-Krenn para equações de volume de simples entrada.

Analisando-se o p-valor dos coeficientes encontrados na regressão observou-se que alguns destes não eram significativos, quando comparados com o valor crítico de  $\alpha \leq 0,05$ . Por este motivo, alguns coeficientes dos modelos de Hohenadl-Krenn e de Stoate foram excluídos os modelos e reajustados.

O valor do coeficiente de determinação do modelo de Stoate não é informado por se tratar de um caso em que o coeficiente  $\beta_0$  não foi significativo, isto é, o intercepto foi igual a zero. Como sugerido por Gujarati (2006) este valor não deve ser comparado aos outros valores de  $R^2$  por serem incompatíveis.

**Tabela 17.** Coeficientes e estatísticas dos modelos de simples e dupla entrada testados para estimar o volume comercial com casca para toda a amostra

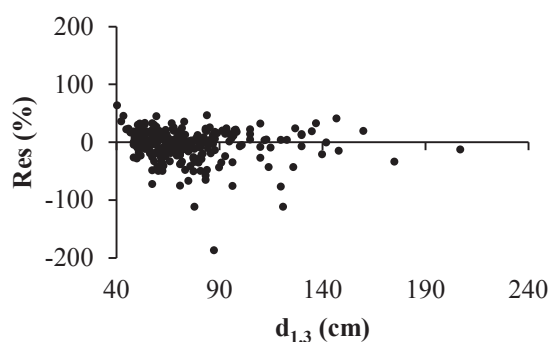
Nº	AUTOR (ES)	MODELOS	COEFICIENTES	R <sup>2</sup> <sub>ajust</sub>	S <sub>yx</sub> (%)
1	DISSESCU-STANESCU	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2$	$\beta_0$ 1,3209 $\beta_1$ 0,0009	-0,7913	32,46
2	HOHENADL-KRENN	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}$	$\beta_0$ -5,5206 $\beta_1$ 0,1543	-0,8193	30,21
3	BERKHOUT	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3}$	$\beta_0$ -6,1526 $\beta_1$ 1,8506	-0,7915	32,44
4	BRENAC	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3} + \beta_2 \frac{1}{d_{1,3}}$	$\beta_0$ -3,3920 $\beta_1$ 1,3383 $\beta_2$ -39,5193	0,8170	30,40
5		$vc = \beta_0 \cdot d_{1,3}^{\beta_1}$	$\beta_0$ 0,00497307 $\beta_1$ 1,66684	-0,8093	30,97
6	SPURR	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3}^2 \cdot hc$	$\beta_0$ 1,1468 $\beta_1$ 0,000045	-0,8989	22,59
7	STOATE	$vc = \beta_0 + \beta_2 d_{1,3}^2 \cdot hc + \beta_3 hc$	$\beta_0$ 0 $\beta_2$ 0,00004 $\beta_3$ 0,05790		22,62
8	MEYER	$vc = \beta_0 + \beta_1 d_{1,3} + \beta_2 d_{1,3}^2 + \beta_3 d_{1,3} \cdot hc + \beta_4 d_{1,3}^2 \cdot hc + \beta_5 hc$	$\beta_0$ 9,5221 $\beta_1$ -0,2146 $\beta_2$ 0,0012 $\beta_3$ 0,0156 $\beta_4$ -0,00004 $\beta_5$ -0,6271	-0,9107	21,23
9	SPURR (LOG)	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3}^2 \cdot hc$	$\beta_0$ -8,4445 $\beta_1$ 0,8831	-0,9052	21,87
10	SCHUMACHER-HALL	$\ln vc = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{1,3} + \beta_2 \ln hc$	$\beta_0$ -8,4209 $\beta_1$ 1,7709 $\beta_2$ 0,8686	0,9046	21,95
11		$vc = \beta_0 \cdot d_{1,3}^{\beta_1} \cdot hc^{\beta_2}$	$\beta_0$ 0,0226699 $\beta_1$ 1,24316 $\beta_2$ 0,139188	0,7601	34,73

$vc$  = volume comercial, em metros cúbicos;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa, em porcentagem;  $R^2_{ajust}$  = coeficiente de determinação ajustado.

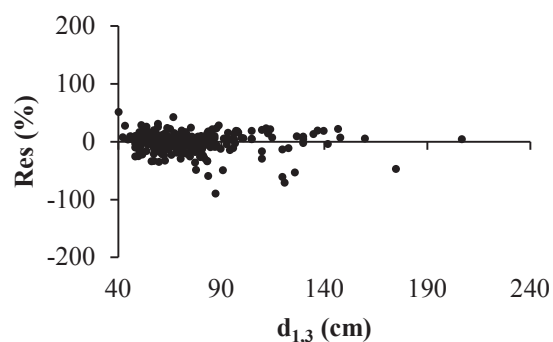
Baima et al. (2001)<sup>15</sup> citado no trabalho de Gomes (2008), atribuíram ao melhor ajuste das equações de dupla entrada desenvolvidas para a Floresta de Terra Firme em Moju, PA, ao fato do diâmetro e da altura (comercial ou total) estarem altamente correlacionados com volume. Silva et al. (1984), na FLONA de Tapajós, obtiveram melhor ajuste para os modelos de dupla entrada, tendo com a equação de Schumacher-Hall logaritmizada os melhores indicadores de qualidade, maior coeficiente de determinação, menor Erro Padrão de Estimativa e uma boa distribuição de resíduos.

As distribuições de resíduos dos dois modelos volumétricos com melhor desempenho de simples e dupla entrada estão nas Figuras 7 e 8, podendo-se observar que os resíduos não indicam qualquer tendência.

<sup>15</sup> BAIMA, A. M. V.; SILVA, S. M. A. da; SILVA, J. N. M. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. In: GOMES, J. M. Modelos para estimar o volume de madeira da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, na região do Alto Solimões, Fonte Boa (AM). Dissertação (mestrado) – INPA/UFAM, Manaus, 2008.



**Figura 7.** Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial a partir do modelo de simples entrada de Hohenadl-Krenn.



**Figura 8.** Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial a partir do modelo de dupla entrada.

A Tabela 18 mostra resultados de vários autores que trabalharam com espécies florestais da Amazônia, permitindo uma melhor comparação sobre o ajuste de equações de volume. Observam-se bons coeficientes de determinação, superiores a 0,9. O erro médio maior gerado na presente pesquisa pode ser consequência do limite de inclusão maior adotado o que certamente acarreta uma maior variabilidade dos volumes e das variáveis de entrada.

**Tabela 18.** Comparação entre as estatísticas de análise de diferentes trabalhos que testaram modelos volumétricos para estimar volume comercial de espécies nativas da floresta amazônica

AUTOR (ES)	LOCAL	DMI (cm)	Nº ÁRV. CUBADAS	MODELO SELECIONADO	R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub> (%)
Nesta Pesquisa	Fazenda Monte Verde, Itacoatiara (AM)	40	268	Meyer	0,91	21,23
GOMES (2008)	Resex Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM)	10	206	Schumacher-Hall	0,94	5,18
ROLIM (2006)	Flona Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA)	14	55	Schumacher-Hall	0,99	4,68
SILVA (1984)	Flona do Tapajós, Santarém (PA)	15	30	Kopezky-Gehhardt	0,95	11,80
BARROS (2009)	Amazônia Oriental, Anapu (PA)	25	212	S.H. Spurr	0,91	8,61

DMI = diâmetro mínimo de inclusão.

## 5.6. Equações de volume por família

Na Tabela 19, observam-se os coeficientes das equações de volume de simples e dupla entrada ajustadas para as três famílias com maior intensidade amostral, bem como as estatísticas, erro padrão de estimativa e coeficientes de determinação para cada modelo.

Constata-se que as equações de volume de simples entrada (equações 1 a 4) melhoraram a precisão e o ajuste, em relação aos ajustes globais (toda a amostra). Já para as equações de volume de dupla entrada, apenas para a família Sapotaceae a precisão e o ajuste melhoraram. Para a família Lauraceae, o erro aumentou e para a família Fabaceae, apenas para as equações 6 e 7 é que houve uma melhora nas estimativas em relação ao ajuste global.

Para a família Sapotaceae observa-se uma melhora expressiva no valor do erro padrão da estimativa, tanto para as equações de volume de simples entrada como para as de dupla entrada. Pela importância desta família em termos comerciais, os resultados sugerem que o ajuste para a família pode melhorar as estimativas volumétricas.

Em geral, os valores de erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ) para as equações de dupla entrada variaram de 12,52 e 33,79% (famílias Sapotaceae e Lauraceae, respectivamente) e de 0,84 e 0,91 para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust}$ ) (famílias Lauraceae e Fabaceae-Faboideae, respectivamente). Para as equações de simples entrada,  $S_{yx}$  variou de 16,19% para a família Sapotaceae a 29,35% para a família Lauraceae e,  $R^2_{ajust}$  de 0,72 e 0,92, para as famílias Lauraceae e Fabaceae-Faboideae, respectivamente.

Já em relação às equações de volume de simples entrada houve uma grande redução no valor do erro e um aumento interessante no Coeficiente de Determinação, explicando até 94% da variação dos volumes. A família Fabaceae-Faboideae foi a que apresentou melhor ajuste aos dados, tanto para os modelos de simples entrada como para os de dupla entrada, ao contrário da família Lauraceae que apresentou os menores valores de  $R^2$ .

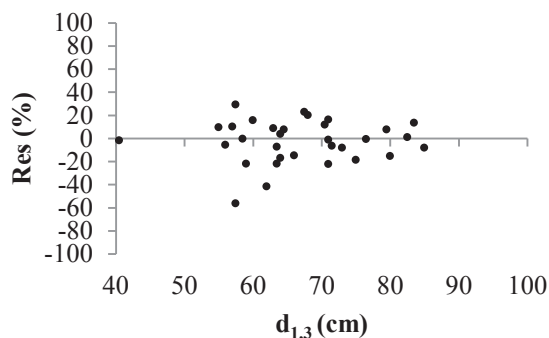
Para as equações de volume de dupla entrada o valor máximo do erro aumentou, em relação aos valores encontrados para ajuste da amostra como um todo (item 5.3.), sendo este de 33,79%, ou seja, em termos gerais, a análise parcial aumentou o erro padrão de estimativa, pelo menos para a família Lauraceae.

**Tabela 19.** Estatísticas e coeficientes das equações de volume de simples e dupla entrada para estimar volume comercial com casca para espécies das famílias Fabaceae-Faboideae, Lauraceae e Sapotaceae

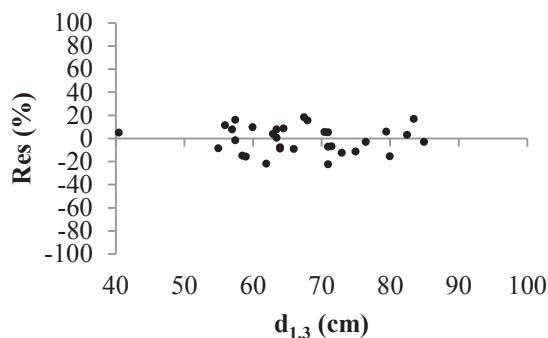
Família	Equação	Coeficientes					S <sub>yx</sub> %	R <sup>2</sup> ajust	
		β0	β1	β2	β3	β4			β5
FABACEAE-FABOIDEAE	1	2,0505466	0,0007008					24,14	0,8889
	2	-4,6486737	0,1504726		-			19,58	0,9270
	3	-5,3669832	1,6606594					23,45	0,8953
	4	0,0000000	0,6828675	-81,196994				19,39	-
	5	0,0108029	1,4779400					21,46	0,9122
	6	2,3021059	0,0000320					26,31	0,8681
	7	-5,4437322	0,0012565	-0,0000272	0,3713600			20,82	0,9174
	8	0,0000000	-0,0877940	0,0015376	0,0120209	-0,0000770	-0,2416000	17,00	-
	9	-7,4424467	0,7944303					24,15	0,8889
	10	-7,5094238	1,5813885	0,8273906				24,64	0,8844
	11	0,0049205	1,45689	0,2924100				20,72	0,9182
LAURACEAE	1	0,8550717	0,0008943					29,35	0,7216
	2	-4,7047633	0,1461668		-			28,01	0,7465
	3	-6,1018924	1,8211313					29,09	0,7265
	4	0,0000000	0,6696337	-82,131549				28,17	-
	5	0,0045018	1,66804					28,90	0,7337
	6	1,1214132	0,0000429					33,68	0,8456
	7	0,0000000		- 0,0000406	0,0722552			33,79	-
	8	0,0000000		- -0,0002627	0,0085849		- -0,2493521	30,63	-
	9	-7,9808735	0,8403804					32,62	0,8552
	10	-8,2437584	1,6162468	1,0225078				31,67	0,8635
	11	0,0002642	1,47472	1,23235				30,75	0,8713
SAPOTACEAE	1	-0,2850389	0,0013041					16,30	0,7697
	2	5,8693868	-0,1880600	0,0027110				16,19	0,7728
	3	-6,4286903	1,9338149					16,69	0,7588
	4	-20,901390	4,7534192	173,47021				16,26	0,7710
	5	0,0006280	2,16056					16,50	0,7793
	6	0,9430358	0,0000459					12,81	0,8533
	7	-4,8625778	0,0015653	-0,0000170	0,2306588			12,53	0,8596
	8	-1,4217142	-0,1069291	0,0024054	0,0011510	-0,0000271	0,1944672	12,89	0,8513
	9	-7,7955284	0,8259205					12,79	0,8538
	10	-7,8443437	1,7077187	0,7658540				12,77	0,8542
	11	0,0003529	1,83215	0,632865				12,53	0,8594

(-) representam os coeficientes que foram retirados do modelo por apresentarem p-valor maior que o valor crítico de  $\alpha \leq 0,05$  e quando o valor do intercepto é zero, o R<sup>2</sup> não é apresentado por ser incompatível para comparação; modelos de 1 a 9 descritos na Tabela 3.

Nas Figuras 9 e 10, observam-se as distribuições de resíduos para os modelos de melhor desempenho de simples e dupla entrada para o agrupamento por família. Nota-se que para o modelo de simples entrada de Hohenadl-Krenn existe uma tendência de superestimação para diâmetros à altura do peito entre 55 e 65 cm, o que não ocorre para o modelo de dupla entrada de Meyer, que mantém uma distribuição uniforme ao longo dos diâmetros; ambas as distribuições para a família Sapotaceae.



**Figura 9.** Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo de simples entrada de Hohenadl-Krenn, para a família Sapotaceae.



**Figura 10.** Distribuição de Resíduos para a estimativa de volume comercial com o modelo de dupla entrada de Meyer, para a família Sapotaceae.

### 5.7. Equações de razão

Na Tabela 20 estão os resultados dos ajustes dos modelos de razão testados nesta pesquisa, mostrando os coeficientes estimados, assim como as estatísticas erro padrão de estimativa ( $S_{yx}\%$ ) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para estimar os volumes parciais com base na amostra global utilizada.

Nem todas as equações ajustaram-se adequadamente aos dados como indicado pelos baixos valores de  $R^2$  (equações de Burkhart e Clutter). Equações que utilizam  $h_i/h_c$  como variável independente proporcionaram melhores resultados do que aquelas que usam  $d_i/d_{1,3}$ . Estes resultados são consistentes com os obtidos por Teshome (2004), Van Deusen et al. (1982), Reed e Green (1984) e Alemdag (1988), os quais apontaram que os modelos de razão que utilizam como variáveis independentes  $h_i/h_c$  ou  $(h_i-h_c)/h_c$  são, em geral, superiores àqueles que utilizam a razão  $d_i/d_{1,3}$ .

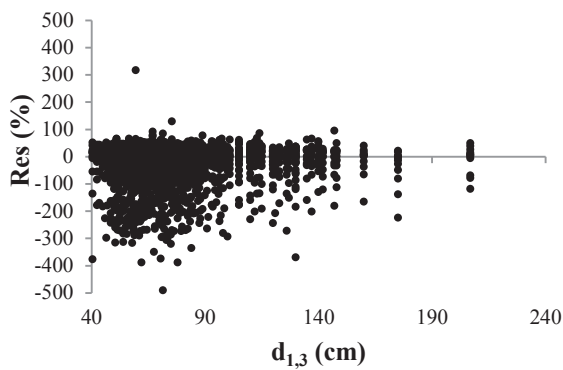
As equações de Burkhat, Clutter e Cao et al. foram examinadas também em sua forma linear (logaritmizada), mostrando uma diminuição na correlação dos dados com a equação, por seus baixos valores de  $R^2$  e uma diminuição na precisão das estimativas, pelo alto valor de erro padrão percentual ( $S_{yx}\%$ ) encontrado. Mesmo nestas condições, a equação de Cao et al. que utiliza como variável independente a razão  $h_i/h_c$ , mostrou-se mais precisa.

**Tabela 20.** Coeficientes e estatísticas para os modelos de razão utilizados para a estimativa do volume comercial com casca

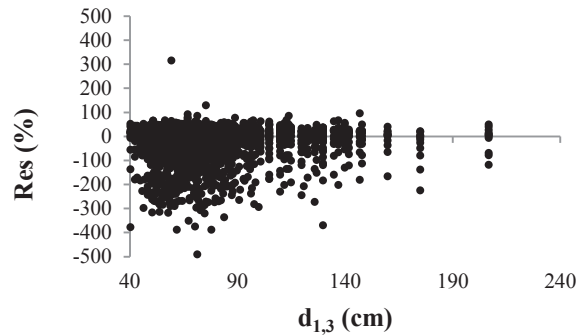
AUTOR (ES)	MODELOS	COEFICIENTES	$R^2$ ajust	$S_{yx}$ (%)	
BURKHART	$\frac{vi}{vc} = 1 - \beta_0 \left( \frac{d_i^{\beta_1}}{d_{1,3}^{\beta_2}} \right)$	$\beta_0$	0,289591	0,6973	54,29
		$\beta_1$	1,93462		
		$\beta_2$	1,75727		
BURKHART (linear)	$\left( \ln 1 - \frac{vi}{vc} \right) = \beta_0 + \ln d_i \beta_1 + \ln d_{1,3} \beta_2$	$\beta_0$	-2,1674028	0,4890	70,53
		$\beta_1$	3,1287132		
		$\beta_2$	2,7208275		
CLUTTER	$\frac{vi}{vc} = \left( 1 - \beta_0 d_i^{\beta_1} \cdot d_{1,3}^{\beta_2} \right)$	$\beta_0$	0,207514	0,6974	54,28
		$\beta_1$	1,88796		
		$\beta_2$	-1,64536		
CLUTTER (LINEAR)	$\left( \ln 1 - \frac{vi}{vc} \right) = \beta_0 + \ln d_i \beta_1 + \ln d_{1,3} \beta_2$	$\beta_0$	-2,1674028	0,4887	70,55
		$\beta_1$	3,1287132		
		$\beta_2$	-2,7208275		
CAO et al.	$\frac{vi}{vc} = 1 - \beta_0 \left( \frac{(hc - hi) \beta_1}{hc^{\beta_2}} \right)$	$\beta_0$	1,17902	0,9936	7,91
		$\beta_1$	1,20367		
		$\beta_2$	1,26822		
CAO et al. (linear)	$\left( \ln 1 - \frac{vi}{vc} \right) = \beta_0 + \ln(hc - hi) \beta_1 + \ln hc \beta_2$	$\beta_0$	0,2721268	0,9705	16,96
		$\beta_1$	0,9532728		
		$\beta_2$	1,1116132		

$vi$  = volume correspondente a qualquer diâmetro mínimo pré-estabelecido ao longo do fuste, em metros cúbicos;  $vc$  = volume comercial, em metros cúbicos;  $d_i$  = diâmetro tomado nas diferentes alturas  $h_i$  ao longo do fuste, em centímetros;  $d_{1,3}$  = diâmetro a 1,3 m do solo, em centímetros;  $h_i$  = altura até uma seção  $i$  do fuste, em metros;  $hc$  = altura comercial, em metros;  $\beta_i$  = coeficientes da regressão;  $S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa percentual;  $R^2_{ajust}$  = coeficiente de determinação ajustado para a variável de interesse  $vi$ .

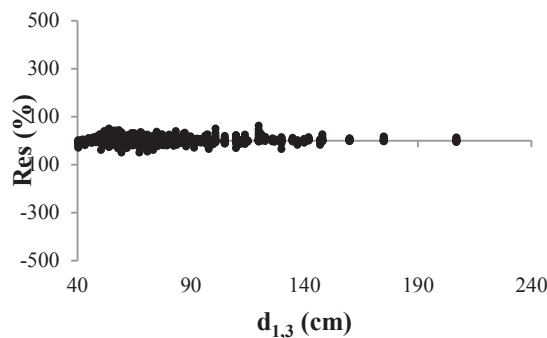
Além disso, as expressões gráficas (Figuras 11 a 13) mostram a distribuição de resíduos em função do  $d_{1,3}$ , para as estimativas de volume, que enfatizam a tendência em superestimar o volume comercial dos modelos em função da razão entre  $d_i$  e  $d_{1,3}$ . O modelo de Cao et al. tem uma distribuição de resíduos sem tendências.



**Figura 11.** Distribuição de Resíduos para  $\widehat{v\hat{c}}$  com o modelo de razão de Burkhat pelo ajuste não linear.



**Figura 12.** Distribuição de Resíduos para  $\widehat{v\hat{c}}$  com o modelo de razão de Clutter pelo ajuste não linear.



**Figura 13.** Distribuição de Resíduos para  $\widehat{v\hat{c}}$  a partir do modelo de razão de Cao et al. pelo ajuste não

### 5.8. Comparação entre os vários procedimentos testados para estimar o volume comercial com casca

Conforme consta na metodologia (Tabela 6), seis procedimentos diferentes para estimar volume comercial com casca de árvores em pé foram desenvolvidos na presente pesquisa.

A Tabela 21 apresenta as médias dos sete tratamentos (sendo T1 = testemunha) e suas respectivas variâncias. Observa-se que as médias dos tratamentos 1, 6 e 7 são iguais até na quinta casa decimal.

Para os dados reais de volumes estimados, em todos os tratamentos o teste de Bartlett apontou não haver homogeneidade das variâncias das amostras ( $\chi^2$  calculado corrigido = 29,43



e  $\chi^2$  tabelado (5%; 6 gl) = 12,59), sendo necessário uma transformação dos dados para homogeneizar as variâncias dos tratamentos, para então proceder-se a análise de variância.

**Tabela 21.** Médias dos volumes comerciais com casca (vcc) observados e estimados, intervalo de confiança e variâncias para cada tratamento ( $s^2$ )

Tratamentos	INTERVALO DE CONFIANÇA			$s^2$ ( $m^3$ ) <sup>2</sup>
	menor	média	maior	
1	1,96	6,7744	11,59	23,14
2	1,35	7,1248	12,90	33,29
3	1,70	6,9652	12,23	27,71
4	2,12	6,7852	11,45	21,76
5	2,42	6,7744	11,13	18,97
6	2,18	6,7744	11,37	21,07
7	1,98	6,7834	29,84	23,06

A transformação escolhida foi a logarítmica, por se tratar de desvios padrão proporcionais às médias dos tratamentos e suspeita de efeitos não aditivos dos tratamentos. Esta logaritimização permitiu a homogeneidade dos tratamentos, aceitando-se a hipótese de nulidade de que as variâncias são homogêneas, sendo  $\chi^2_{\text{calc corrigido}}=4,61^{\text{ns}}$  e  $\chi^2$  tabelado = 12,59. A partir deste resultado procedeu-se a análise de variância (ANOVA).

A análise de variância (Tabela 22) mostrou haver diferença estatística entre as médias dos tratamentos, sendo F calculado (0,0342) menor que F tabelado (5%; 6 e 1869 gl) (0,113), rejeitando-se a hipótese de nulidade de que as médias são estatisticamente iguais, isto é, existem diferenças significativa entre as médias dos tratamentos. Para valores de F menores do que 1, o F tabelar deve ser observado em tabela específica para este tipo de situação. Nestes casos, segundo Gomes (1966), se o valor do F tabelado foi maior que F calculado, existe significância, isto é, as médias são estatisticamente diferentes. A ANOVA indicou a existência de diferenças entre os tratamentos e, portanto, o teste de Tukey foi aplicado para um nível crítico  $\alpha = 0,05$  (Tabela 23).

**Tabela 22.** Análise de variância para comparação dos tratamentos

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
Tratamentos	6	0,01257	0,00210	0,0342**	0,113
Resíduo	1869	114,5954	0,06131		
Total	1875	114,6080			

FV = fontes de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor da distribuição de probabilidade F.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

**Tabela 23.** Comparação de médias dos 7 tratamentos pelo Teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ )

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>MÉDIAS (p&lt;0,010)</b>
1 – Volume comercial com casca cubado (Testemunha)	0.75400 a
2 – Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio da amostra	0.76013 a
3 - Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio por espécie	0.75880 a
4 - Volume comercial com casca estimado pelo $f_{1,3}$ médio por classe de $d_{1,3}$	0.75859 a
5 - Volume comercial com casca estimado pela melhor equação de volume de simples entrada ajustada com a amostra	0.75945 a
6 - Volume comercial com casca estimado pela melhor equação de volume de dupla entrada ajustada com a amostra	0.75726 a
7 - Volume comercial com casca estimado pela melhor equação de afilamento	0.75289 a
Comparador	0.06307

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

O Teste de Tukey demonstrou serem todas as médias estatisticamente iguais, ou seja, os 7 métodos testados geram estimativas médias similares. Assim sendo, quando se deseja volumes médios qualquer um dos procedimentos pode ser utilizado.

Apesar da análise estatística demonstrar não haver diferenças estatísticas entre os volumes estimados e os observados, cabe destacar:

As estimativas de volume a partir de funções de afilamento apresentam a vantagem de obter estimativas parciais de volume para diferentes diâmetros de topo ou para qualquer porção de altura.

As estimativas de volume a partir de equações de volume de dupla entrada podem ser uma alternativa, utilizando alturas comerciais estimadas ou medidas, sendo os erros médios inferiores às equações de volume de simples entrada. Por exemplo, a equação de volume de simples entrada de melhor desempenho (Hohenadl-Krenn) apresentou  $S_{yx}$  de 30,24% enquanto para a melhor equação de volume de dupla entrada (Meyer) o  $S_{yx}$  foi de 21,41%. Outros modelos de dupla entrada de uso interessante são o modelo de Spurr, na forma

logarítmica e o modelo de Schumacher-Hall, bastante difundidos na área florestal, com erros padrão de estimativa de 21,87 e 21,95%, respectivamente, isto para as estimativas a partir da amostra.

Em relação às equações de razão, observam-se que os erros padrão da estimativa, em geral, apresentaram-se superiores a 54%, com exceção ao modelo de Cao et al. que, tanto para o ajuste na forma linear como na forma não linear os erros foram os menores entre todos os procedimentos testados para estimar volume. O ajuste não linear deste modelo permitiu encontrar um erro de 7,91%. Estes valores demonstram que esta ferramenta precisa ainda ser melhorada e o seu uso pode ser uma alternativa nas estimativas de volume comercial de floresta nativa.

## 6. CONCLUSÕES

- O volume médio é bem estimado pelo uso do fator de forma médio, mas quando se deseja compor o estoque para classe de diâmetros ao se utilizar o  $f_{1,3}$  médio pode se ter estimativas superestimadas para as árvores de maiores diâmetros (DAP).
- Árvores com diâmetros maiores apresentam fustes mais afilados.
- A função de afilamento de quinto grau teve o melhor desempenho entre os modelos testados para estimar diâmetros ao longo do tronco. No entanto, outros modelos testados tiveram desempenhos bastante similares.
- As estimativas volumétricas (tronco comercial) obtidas com as funções de afilamento foram menos precisas que as estimativas obtidas pelas equações de volume de dupla entrada.
- A equação de dupla entrada de Meyer foi mais indicada para estimativa de volume. Por outro lado, a melhor equação de simples entrada (modelo de Hohenadl-Krenn) acarreta um aumento no erro médio em torno de 10%.
- As equações de volume ajustadas por família, em geral, apresentaram precisão superior nas estimativas àquelas encontradas pelas equações gerais, ou seja, o agrupamento de espécies por família tende a gerar melhores estimativas, configurando-se em uma alternativa viável.
- A equação de razão de Cao et al., com variável de entrada “altura”, mostrou resultados excelentes para estimativas de volumes parciais, no entanto os modelos de razão que utilizam diâmetros com variável de entrada “diâmetro” não foram apropriadas para estimar volumes parciais.
- A comparação estatística indicou que quando se deseja estimativas médias do volume comercial qualquer procedimento testado pode ser utilizado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINDELE, S. O.; LEMAY, V.M. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1-3, p. 41-48, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T6X-4J90W1Y-2/2/02d66790bd80713812d2a463f3b7d43c>. Acesso em 29 de julho de 2009.

ALEGRIA, C. M. M.. **Predição de volume total, volumes mercantis, perfil do tronco e sistemas de equações compatíveis para a *Pinus pinaster* Aiton. no distrito de Castelo Branco**. Portugal, Lisboa: UTL, 1993. 248 p. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal).

ALEMDAG, I. S. A ratio method for calculating stem volume to variable merchantable limits, and associated taper equations. **The Forestry Chronicle**, v. 64, n. 1, p. 18-26, 1988.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1-3, p. 43-52, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T6X-3W37VM84/2/91b4900066001352fe44657f3dcc9bef>. Acesso em 27 de julho de 2010.

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. Equações de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental. **Rev. Ciências Agrárias**, Belém, n. 51, p.115-126, jan./jun. 2009.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de *taper* para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L.. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1983.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófla Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 97-104, 2009.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** Curitiba: UFPR, 2004. 166 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais).

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M.. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. **IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 37, p. 33-44, 1987.

DRESCHER, R.; SHCNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C.. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm para a Região da Serra do sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2001. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/cr/v31n1/a06v31n1.pdf>. Acesso em 29 de julho de 2010.

EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos do Brasil.** Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2003. Disponível em: <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/index.php>>. Acesso em 05/10/2011.

FERNANDES, N. P.; JARDIN, F. C. S.; HIGUCHI, N. Tabelas de volume para a florestal de terra firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. **Acta Amazônica**, v. 13, n. 3-4, p. 537-545, 1983.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SCHAAF, L.B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.29, p.451-461, 1999.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 83, p. 39-47, 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; WATZLAWICK, L. F. **Inventário das florestas naturais na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná.** Irati, PR, 2006.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Seções de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 465-482, 2006.

FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda*.** Lavras: UFL, 1997. 167 p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p.167-188, 2001.

FLOR, H. M. Estudos sobre a produção e forma do fuste do *Pinus taeda* L. numa área de ensaio de adubação na Fazenda Canguiri. **Revista Floresta**, v. 8, n. 1, p. 69-70, 1977. Disponível em <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/issue/view/482>. Acesso em 29 de julho de 2010.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. USP/ESALQ, 1966.

GOMES, J. M. **Modelos para estimar o volume de madeira da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, na região do Alto Solimões, Fonte Boa (AM)**. Manaus: INPA/UFAM, 2008. 69 p. (Dissertação – Mestrado em Manejo Florestal).

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HIGUCHI, N. **Tabelas de volume para povoamentos nativos de Canafístula (Leguminosae), Cedro (Meliaceae), Pau marfim (Rutaceae) e canelas (Lauraceae), no extremo oeste do Paranaense**. Curitiba: UFPR, 1978. 96 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências).

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, J. R.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; CÖIC, A.; MINETTE, L. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-firme Manejada Experimentalmente. *In*: Biomassa e Nutrientes Florestais – Relatório Final do Projeto Bionte. MCT-INPA. Manaus, 1997.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências, Número 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

LEITE, H. G.; GAMA, J. R. V.; CRUZ, J. P.; SOUZA, A. L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll) Warb. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 99-106, 2006.

LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; PINTO, A. C. M.; PINTO, F. R.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas. In: Congresso Florestal Nacional, 5. **Anais...** Viseu: Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais, 2005. 32-43. Disponível em: <http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T2-43.pdf>. Acesso em 02 de agosto 2010.

LIMA, A. J. N. **Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas (AM)**. Manaus: INPA/UFAM, 2010. 150 p. (Tese – Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais).

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 81-98, jan./jun. 2005. Disponível em [http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim50/pag\\_81-98.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim50/pag_81-98.pdf). Acesso em 29 de julho de 2010.

MENDONÇA, A. C. **Caracterização e simulação de processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição**. Curitiba: UFPR, 2003. (Dissertação – Mestrado em Manejo Florestal).

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 71-82, 2007.

MENG, S. X. ; LIEFFERS, V. J.; HUANG, S. Modeling crown volume of lodgepole pine based upon the uniform stress theory. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 3, p. 174-181, nov. 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T6X-4P6TH281/2/b7555a732cf60e1fc9448fe6cf25673e>. Acesso em 29 de julho de 2010.

MENON, M. U. Ajuste dos modelos de Kozak e do sistema de Burkhart e Cao para plantações de *Pinus oocarpa*. **Ambiência**, v. 2, n. 2, p.197-205, 2006.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO – MDA. Biodiversidade dos ecossistemas brasileiros. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/index.php?sccid=134&ctuid=10020>>. Acessado em: 13 de set. 2007.

MOURA, J. B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira**. Curitiba: UFPR, 1994, 114 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais).

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and



adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853-1867, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T6X-4TG28YY-1/2/6eaae1a60fbee3aec1719e5f654254d>. Acesso em 29 de julho de 2010.

OLIVEIRA, J. C. **Considerações sobre a determinação e utilização de equações volumétricas**. Seropédica, RJ: UFRRJ, 2010. 36 p. (Monografia – Curso de graduação em Engenharia Florestal).

OLIVEIRA, M. M. **Tamanho e forma das parcelas para inventários florestais de volume e estoque de carbono de espécies arbóreas da Amazônia Central**. Manaus: INPA, 2010. 73 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais).

OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005.

PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 173-181, jul./set. 2011.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da Região Metropolitana de Curitiba, PR**. Curitiba, PR: UFPR, 2006. 117 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais).

RADAMBRASIL. **Projeto RADAM BRASIL**: apresentação. Disponível em: <http://www.projeto.radam.nom.br/apresentacao.html>. Acesso em 27 de maio de 2012.

REED, D. D.; GREEN, E. J. Compatible stem taper and volume ratio equations. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 977-990, 1984.

REIS, A. E.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Modelos de razão para estimar a biomassa de árvores individuais da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 163-177, 1998.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 107-114, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A.; BAZZO, J. L. Forma do tronco e sortimento de madeira de *Eucalyptus grandis* Maiden para o Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2**: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. UFLA/FAEPE, Lavras, 1997.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal**: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA, 1998.

SILVA, J. N. M.; ARAÚJO, S.M. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro, na Floresta Nacional de Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.8/9, p. 16-25, jun./dez. 1984.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O.; LOPES, J. C. A.; CARVALHO, M. S. P. Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 16-25, jun./dez. 1984.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de *taper* para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, n. 5, v. 35, p,1039-1051. 2011.

TESHOME, T. A ratio method for predicting stem merchantable volume and associated taper equations for *Cupressus lusitanica*, Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 204, p. 171-179, 2004.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P de; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n. 64, p. 283-289, nov./dez. 2010.

UBIALLI, J. A.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Funções de afilamento e fatores de forma para espécies de grande valor comercial da Amazônia matogrossense. 8ºCongresso Florestal Brasileiro; 2003; 8; 1. São Paulo; BRASIL; Português, Meio digital.

VAN DEUSEN, P. C.; SULIVAN, A. D.; MATNEY, T. G. A compatible system for predicting the volume and diameter of sweetgum trees to any height. **South West J. For.**, v. 6, n. 3, p. 159-163, aug./sep.1982.