



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

MODELOS VOLUMÉTRICOS, FATORES DE FORMA E
EQUAÇÃO DE AFILAMENTO PARA FLORESTA DE TERRA
FIRME DA REGIÃO DO RIO ARU MUNICÍPIO DE PORTEL-
PARÁ

José Luis Rabello da Silva

**Belém – Pará
2007**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**MODELOS VOLUMÉTRICOS, FATORES DE FORMA E EQUAÇÃO DE
AFILAMENTO PARA FLORESTA DE TERRA FIRME DA REGIÃO DO RIO ARU
MUNICÍPIO DE PORTEL-PARÁ**

JOSÉ LUIS RABELLO DA SILVA

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação
em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação, área de concentração Silvicultura e
Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.**

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros - UFRA

**Belém-Pará
2007**

Silva, José Luis Rabello da

Modelos volumétricos, fatores de forma e equação de afilamento para floresta de terra firme da região do rio aru município de Portel – Pará / José Luis Rabello da Silva. – Belém, 2007. 71p. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007

1.manejo florestal 2.Equações de volume 3.Fator de forma 4.funções taper I.Titulo.

CDD – 634.92



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**MODELOS VOLUMÉTRICOS, FATORES DE FORMA E EQUAÇÃO DE
AFILAMENTO PARA FLORESTA DE TERRA FIRME DA REGIÃO DO RIO ARU
MUNICÍPIO DE PORTEL-PARÁ**

JOSÉ LUIS RABELLO DA SILVA

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação
em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural
da Amazônia, como parte das exigências do Programa
de Pós-graduação, área de concentração Silvicultura e
Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.**

APROVADA: de de 2007

**Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva
Embrapa Amazônia Oriental
Primeiro Examinador**

**Prof. Dr. Sueo Numazawa - UFRA
Segundo Examinador**

**Prof. Dr. Paulo de Tarso Eremita da Silva - UFRA
Terceiro Examinador**

**Prof. Dr. Paulo Luiz Contente de Barros - UFRA
Orientador**

A meus pais Luiz Nunes da Silva (in memoriam) e Rachel Rabello da Silva e os meus irmãos.
DEDICO

À Lucia, Luciana, Rachel, Marcio.
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao criador, que nos concedeu essa dádiva tão maravilhosa que são as florestas.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e a Coordenadoria do Curso de pós-graduação em Ciências florestais, pela oportunidade de concretização desse sonho.

Ao Professor Paulo Luiz Contente de Barros, pela orientação, amizade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Empresa Amazônia Compensados e Laminados S/A (AMACOL), por disponibilizar a sua área para coleta de dados.

Aos Técnicos Daniel de Souza da Silva, Manoel da Luz R. dos Santos, Ananilton Monteiro Pinto, Francineuldo Pantoja e ao Engenheiro Florestal Aristeu Teixeira da Silva Junior, pela valiosa colaboração na coleta de dados de campo.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Ciências Florestais, em especial a Paulo Cerquera pela agradável convivência, companheirismo e troca de idéias.

Aos Professores do curso de pós-graduação em Ciências Florestais da UFRA, pela grande ajuda concedida no decorrer deste período.

A Todos que, de alguma forma, colaboraram na concretização desta etapa da minha vida.

....O que eu sei é que nada sei....
Sócrates (470 – 399 a.C)
Filosofo Grego

RESUMO

SILVA, José Luis Rabello da, Universidade Federal Rural da Amazônia, Março de 2007. **Modelos volumétricos, fatores de forma e equações de afilamento para floresta de terra firme da região do rio aru município de Portel –Pará.** Orientador: Paulo Luiz Contente de Barros.

O uso do recurso florestal de forma sustentável exige ferramentas de planejamento dentre as quais medidas precisas do volume de madeiras são importantes. Dentro desse contexto, oito modelos de regressão foram testados, cinco de simples entrada e três de dupla entrada, com objetivo de selecionar os melhores modelos para estimar os volumes de árvores em pé para as condições ecológicas da região do Rio Aru, município de Portel, Estado do Pará. Uma cubagem rigorosa de duzentas e sessenta e cinco árvores amostras de 44 espécies e diâmetros variando de 15 – 130 cm foram utilizados para desenvolver as equações de volume. Para seleção dos melhor (es) modelo(s) foram usadas as estatísticas tais como F, r^2 , S_{yx} , CV, índice de furnival para comparar equações aritméticas e logarítmicas e desvio médio percentual dos resíduos DMP. Entre os modelos de simples entrada o modelo logarítmico de Brenac $\log V = 1.140984 + 1.854200 \log D - 0,09420 (1^{-D})$ ($r^2 = 0,957$) se ajustou melhor aos dados e entre os de dupla entrada o logarítmico de Schumacher & Hall $\log V = -0,0571 + 2,026275 * \log DAP + 0,862432 * \log H$ ($r^2 = 0,983$) foi o que melhor se ajustou. Um grupo aparte de 87 árvores foi utilizada para validar através da estatística Qui-Quadrado(X^2) os volumes estimados pelos modelos volumétricos que melhor se ajustaram com os volumes reais obtidos pelo método de Smalian. Como complemento ao teste Qui-Quadrado(X^2) foi feita uma análise de variância – ANOVA cujos três tratamentos foram os volumes e as classes de diâmetros os Blocos. Em ambos os casos não houve diferença significativa entre volumes estimados e volumes reais demonstrando a viabilidade de aplicação dos modelos volumétricos ajustados para a área estudada. A forma das árvores foi definida como o fator de forma médio para todas as espécies amostradas (ff médio = 0,75). Funções de afilamento do tronco (taper) foram ajustadas para *Manilkara huberi* e *Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis*. Com o uso do modelo proposto por Kozak(1969), $(d/dap)^2 = 1,0174 - 1,0873(h/H) + 0,6534(h/h)^2$. O uso do fator de forma 0,7 proposto por Heinsdijk, subestima o cálculo da volumetria da floresta de terra firme da região do Rio Aru, o que mostra a importância de ajuste de modelos volumétricos locais para melhorar a precisão da estimativa do volume de madeira em pé.

Palavras chaves: Equações de volume, fator de forma, funções taper, manejo florestal.

ABSTRACT

SILVA, José Luis Rabello da, Rural Federal University of Amazon, **Models Volumetric form Factors and Taper function to the tropical forests of the aru river municipal district of Portel, State of Pará – Brazil.** Orientador: Paulo Luiz Contente de Barros.

The sustainable way of use of the forest resource requires important management tools as accuracy in wood volume measures. Within this context, eight regression models were tested, five single entry and three with double entry aiming the objective to find the best models to estimate the volumes of standing trees, for the ecological conditions for the Aru river region, Portel county, Pará state. A cubed trees of two hundred sixty five of 45 species sampled trees, and diameters varying from 15 to 130 cm were used in order to develop equations for volume. To select best models, statistic like F, r^2 , S_{yx} , CV and index furnival, were used to compare arithmetic and logarithmic equations, average residual percentage deviation. About the simple entrance models, the logarithmic model Brenac $\log V = 1.140984 + 1.854200 \log D - 0,09420 1^{-D}$ ($r^2 = 0,957$) has shown the best data adjustments, and about the two entrances model, the logarithmic model Schumacher & Hall $\log V = -0,0571 + 2,026275 * \log DAP + 0,862432 * \log H$ ($r^2 = 0,983$) was the best adjustment. An apart group of 87 trees were used to validate trough χ^2 statistic, the estimated volumes by volumetric models that has shown the best adjustments with true volumes obtained by Smalian method. As a complement for the χ^2 test, an ANOVA analysis were made, in which the three treatments were the volumes and the Block's diameters class. Both cases has shown no difference between estimated volume and true volume, demonstrating the viability of the adjusted volumetric models' application for the studied area. The tree shape was defined as form factor for all the sampled species (ff médio = 0,75). Taper functions were adjusted for *Manilkara huberi* and *Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis*. By using the model suggested by Kozak (1960), $(d/dap)^2 = 1,0174 - 1,0873(h/H) + 0,6534(h/H)^2$. The utilization of form factor 0,7 suggested by Heinsdijk, underestimate the volumetric calculation of the tropical florest on the rio aru's region, what shows the importance of the local volumetric models adjust to make a better accuracy of standing trees volume estimation.

Key words: Forest management, Volume equations, form factor, functions taper.

SUMÁRIO

	P.
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SIGLAS	xiii
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	4
1.1.1 Objetivos específicos	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 CONTRIBUIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO NA AMAZÔNIA.....	5
2.2 TABELAS DE VOLUME DESENVOLVIDAS PELA FAO.....	7
2.2.1 Tabela de volume	9
2.3 ESTUDO DAS FORMAS DAS ARVORES.....	13
2.4 FUNÇÃO DE AFILAMENTO.....	15
2.5 VOLUMETRIA	19
3. MATERIAL E MÉTODO	21
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.1.1 Relevo	25
3.1.2 Clima	25
3.1.3 Biota	25
3.1.4 Vegetação	27
3.2 COLETA DE DADOS DE CAMPO.....	27
3.2.1 Obtenção das medições das árvores amostras	3

3.3	MODELOS MATEMÁTICOS.....	36
3.4	CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO.....	37
3.5	ANÁLISE DE DADOS.....	37
3.6	COMPARAÇÃO DO VOLUME REAL COM OS ESTIMADOS PELAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SELECIONADAS.....	38
3.7	FATOR DE FORMA.....	39
3.8	FUNÇÃO DE AFILAMENTO.....	39
3.8.1	Altura comercial a partir do modelo de Kozak.....	40
3.8.2	Volume a partir do modelo de Kozak.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS COLETADOS NO CAMPO.....	42
4.2	AJUSTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS.....	43
4.3	COMPARAÇÃO PELO TESTE QUI-QUADRADO E ANÁLISE DE VARIANÇA.....	45
4.3.1	Validação dos modelos de regressão através do teste qui-quadrado.....	45
4.3.2	Validação dos modelos de regressão através da anova.....	46
4.4	FATOR DE FORMA NORMAL.....	47
4.5	EQUAÇÃO DE AFILAMENTO PARA AS ESPÉCIES MAÇARANDUBA E MAPARAJUBA.....	48
4.5.1	Estimativa do diâmetro comercial - d, de um fuste à uma altura - h definida	51
4.5.2	Estimativa da altura comercial - h, de um fuste com um diâmetro - definido	54
4.5.3	Estimativa do volume a partir da equação taper da espécie maçaranduba.....	54
5.	CONCLUSÕES.....	56
6.	RECOMENDAÇÃO	57
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
8.	ANEXO.....	63

LISTA DAS FIGURAS

		P.
FIGURA 1	Localização do Estado do Pará.....	22
FIGURA 2	Mapa da Unidade de Produção Anual - UPA.....	23
FIGURA 3	Mapa da área total do Projeto de Manejo Florestal Sustentado.....	24
FIGURA 4	Imagem de satélite da área total do Projeto de Manejo Florestal Sustentado..	26
FIGURA 5	Esquema de coleta de dados para o cálculo do volume real, metodologia de Smalian.....	28
FIGURA 6	Os vários locais de pontos de medição assinalados ao longo da tora para registros das medições das circunferências.....	30
FIGURA 7	Determinação da espessura de casca na extremidade da tora com a utilização de uma régua milimetrada.....	31
FIGURA 8	O uso do ferro de cavar para fazer uma abertura por baixo da tora, para facilitar a passagem do fio que servira para medir o comprimento da circunferência.....	32
FIGURA 9	A medição do comprimento da circunferência em um ponto de medição previamente determinado ao longo do fuste, com auxílio do fio fixado na ponta de um arame com cabo de madeira	33
FIGURA 10	Os materiais utilizados para tomadas e medições das circunferências.....	34
FIGURA 11	Marcação de um ponto de medição de circunferência na tora com auxílio do terçado.....	35
FIGURA 12	Medição do comprimento da circunferência com fita métrica após a tomada da mesma com auxílio do fio.....	36
FIGURA 13	Gráfico dispersão de dados.....	37

LISTA DE TABELAS

	P.
TABELA 1 Relação de espécies e números de indivíduos medidos para a determinação do volume real, pelo método de Smalian.....	29
TABELA 2 Distribuição do número de indivíduos medidos no campo por classe diamétricas.....	30
TABELA 3 Modelos pré-selecionados para serem ajustados para determinação de equações de volumes para a floresta da fazenda Jutaicica, no rio Aru.....	37
TABELA 4 Estatística descritiva das variáveis utilizadas nos modelos de regressão.....	42
TABELA 5 Modelos de simples e dupla entrada de equações de volumes testados e seus respectivos dados de precisão.....	43
TABELA 6 Equações de simples e dupla entrada que melhor se ajustaram para a área..	44
TABELA 7 Dados dos volumes reais por classes diamétricas e volumes por classes estimados pelas equações de simples e dupla entrada.....	46
TABELA 8 Quadro da análise de variância – ANOVA.....	47
TABELA 9 Fatores de forma para todas as espécies e para as espécies mais freqüentes dentre as árvores amostras, número de indivíduos e seus respectivos desvios padrões.....	47
TABELA 10 Equações de afilamento ajustadas para as espécies maçaranduba e maparajuba, de ocorrência na área da fazenda jutaicica, no rio aru, no município de Portel (Pa)	49
TABELA 11 Dados de diâmetro medidos a diferentes alturas do fuste, de uma árvore de maçaranduba, comparados com os diâmetros estimados pela equação taper ajustada pelo modelo de Kozak para a referida espécie.....	52
TABELA 12 Simulação do DAP mínimo de corte que proporciona um diâmetro mínimo de 45 cm a uma altura determinada (hi).....	53
TABELA 13 Volume de uma árvore de maçaranduba, estimados pelas equações de Simples e dupla entrada que melhor se ajustaram para a área em estudo.....	55

LISTA DE SIGLAS

AMACOL = Amazônia Compensados e Laminados S/A

AMF = Área de Manejo Florestal

BIOESTAT = Software para análise estatística
4.0

BNDES = Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CV% = Coeficiente de Variação

DMP% = Desvio Médio Percentual

FAO = Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

BOLFOR = Proyecto de Manejo Florestal Sostenible da Bolívia

IBDF = Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBAMA = Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IMAZON = Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INPA = Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

PRODEPEF = Projeto de Desenvolvimento de Pesquisa Florestal

PMFS = Projeto de Manejo Florestal Sustentado

PIB = Produto Interno Bruto

SUDAM = Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia

UFRA = Universidade Federal Rural da Amazônia

UT = Unidade de Trabalho

UPA = Unidade de Produção Anual

V_{real} = Volume Sólido da tora em m³ obtido pelo procedimento de Smalian

V=f(DAP) = Volume estimado por equação de regressão de simples entrada

V=f(DAP, H) = Volume estimado por equação de regressão de dupla entrada

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais (densas, abertas e estacionais) da região Amazônica brasileira ocupam uma área de 64% da Amazônia legal. As formações não florestais composta por cerrados, campos naturais e campinaranas cobrem outros 22%. O restante, 14% da cobertura vegetal da Amazônia, foi desmatado até 2004 (LENTINI, M. et al. 2005). A Amazônia legal apesar de já ter perdido 14% de sua cobertura florestal a citação de (REIS, M. S, 1978) de que “apresenta-se como uma oportunidade única para os políticos, empresários, técnicos e porque não dizer a todos os brasileiros de mostrarem ao mundo, bom senso, imaginação criativa e capacidade na tomada de decisões adequadas objetivando a ocupação e o uso racional deste vasto patrimônio, em benefício do Brasil e de toda a humanidade” ainda continua atual.

O setor florestal brasileiro demonstra a sua pujança pelo que contribui à economia do País. JUVENAL E MATOS (2002) avaliaram o PIB florestal brasileiro em R\$ 21 bilhões e as exportações em US\$ 4 bilhões, com a geração de 2 milhões de empregos diretos e indiretos. A produção de produtos florestais tais como papel e celulose, carvão vegetal, painéis de madeira e serrados contribuem para fazer do Brasil um ator importante do mercado mundial de produtos florestais, seja como produtor consumidor ou exportador. Com relação à Amazônia brasileira foram extraídos nos 82 pólos madeireiros da Amazônia Legal, 24,5 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, em 2004. Noventa e três por cento da extração ocorreram nos Estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia o que gerou aproximadamente 379 mil empregos sendo 124 mil empregos diretos e 255 mil empregos indiretos correspondente a 3% da população economicamente ativa da Amazônia Legal (LENTINI, M. et al. 2005).

Dentro desse contexto a ciência florestal pode contribuir efetivamente, na questão do uso adequado e racional das florestas tropicais, de forma a minimizar a exploração predatória e desordenada que ocorre na região. Em primeiro lugar, manejando adequadamente as florestas nativas da Amazônia e, em segundo, determinando com maior precisão a produção florestal, com base em modelos matemáticos, para expressar a estimativa do volume de madeira, variável considerada de grande importância no planejamento do uso racional dos maciços florestais.

Devido a extensão geográfica e dificuldades de obtenção dos dados de campo, poucos trabalhos referentes ao ajuste de modelos matemáticos, para o cálculo do volume de madeira de árvores em pé, foram realizados na Amazônia, no sentido de melhor conhecer o volume das espécies tropicais. Embora algum esforço tenha sido aplicado na realização de estudos da volumetria das florestas e de algumas espécies tropicais, ainda há necessidade de aumentar esse

esforço, de modo a abranger um maior número de espécies comerciais e tipos florestais (BAIMA et al., 2003).

A retirada desordenada da madeira das florestas tropicais da Amazônia é um fator que tem dificultado atingir um novo paradigma na busca do equilíbrio econômico, social e ecológico da exploração florestal madeireira na região. Na maioria dos casos, a volumetria de madeira da área explorada ainda é calculada de forma empírica, como o uso da equação de volume proposta por Heinsdijk e Bastos (1963), com o emprego do fator 0.7, considerado médio para todas as espécies da região, e mais recentemente tem sido comum o uso da equação de volume desenvolvida para a floresta nacional de Tapajós, por Queiroz (1998), em todas as regiões e tipologias florestais do Estado do Pará embora outras equações fossem disponíveis (Anexo A). O emprego de equações volumétricas desenvolvidas especificamente para as áreas de manejo florestal (AMF) se constitui no procedimento mais eficiente, mais econômico e com precisão aceitável, para a quantificação da produção do volume de madeira da floresta.

O potencial madeireiro de uma floresta normalmente é estimado pelo emprego das técnicas de inventário florestal, utilizando amostras da população como base para se fazer inferências sobre os parâmetros, tais como: diâmetro médio, altura média, volume e número de árvores por hectare, entre outros. Nos inventários florestais, a melhor maneira de determinar o volume das árvores é pela utilização da técnica denominada de “Tabela (equação) de volume do povoamento”. Esse tipo de tabela fornece o volume de madeira em função do diâmetro, $V = f$ (DAP), Tabela de volume local ou de simples entrada. Quando o volume é estimado em função do diâmetro e da altura, $V = f$ (DAP, H), se diz tratar-se de uma tabela de volume regional ou de dupla entrada e no caso do volume ser estimado em função do diâmetro, da altura e da classe de forma, temos então a tabela de volume formal ou de tripla entrada (PAULA NETO, 1977).

A precisão das equações de volume, obtida com os modelos de simples entrada é geralmente inferior aos verificados com os modelos de dupla entrada. A inclusão da variável altura geralmente aumenta a precisão das estimativas, porém, eleva os custos do levantamento (SILVA e CARVALHO, 1984), além da inclusão dos possíveis erros que se pode cometer quando da determinação da altura durante os levantamentos de campo.

Os volumes médios são comumente estimados através de uma equação de regressão, na qual a variável dependente é o volume real e as variáveis independentes mais usadas são: diâmetro à altura do peito (DAP), a altura e classe de forma (MACHADO, 1979). Para a região Amazônica, que possui expressivo número de espécies, e ainda, associações florestais diferentes

ocorrentes em áreas muito próximas. É aconselhável desenvolver equação geral ou local de volume para espécies ou grupo de espécies.

Por esse motivo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), determinou em sua Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006, que “Volume comercial das árvores derrubadas para aproveitamento, será estimado por meio de equações volumétricas desenvolvidas no PMFS e com base nos dados do inventário florestal 100%, expresso em metros cúbicos por unidade de área (m^3/ha) de efetiva exploração florestal, calculada para cada unidade de trabalho (UT)”.

Hipótese o volume real das árvores das florestas tropicais apresenta uma relação direta com o DAP e sua altura comercial, é possível explicar essa relação através de modelos matemáticos que apresentem precisão aceitável na estimativa do volume das árvores em pé.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo teve como objetivo geral testar e selecionar equações de volume para árvores em pé, de uma floresta localizada na Fazenda Jutaíca, no Rio Aru, pertencente à Empresa Amazônia Compensados e Laminados S/A (AMACOL), no Município de Portel, Estado do Pará, determinar o Fator de Forma médio das árvores para a área, e a função de afilamento para as espécies mais freqüentes da floresta.

1.1 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Testar o ajuste de cinco modelos de equações de volume de simples entrada e três modelos de equação de dupla entrada;
- Validar os modelos ajustados comparando os volumes estimados pelas equações selecionadas com o volume real do fuste;
- Determinar o Fator de forma médio do fuste para todas as espécies amostradas na área e para as espécies mais freqüentes na amostragem;
- Determinar a função de afilamento, para as espécies *Manilkara huberi* (maçaranduba) e *Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis* (maparajuba).

2-REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1 A CONTRIBUIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO) NA AMAZÔNIA.

O embrião da Engenharia Florestal na Amazônia e no Brasil surgiu dos trabalhos realizados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) em nosso país.

[...] Os primeiros estudos sobre a utilização racional dos recursos florestais da região amazônica foram iniciados em 1950, quando Paul Trever, perito da (FAO), visitou a Amazônia para organizar as atividades da entidade no Brasil, (SUDAM.1974);

. O Dr.Trever em seu relatório pontuou os seguintes comentários:

- O valor das florestas é praticamente desconhecido; uma exploração moderna não existe;
- Apesar de uma rede hidroviária de proporções magníficas, o custo do transporte é proibitivo;
- A indústria madeireira se limita a algumas serrarias com equipamento inadequado, porém bem planejadas;
- .- O comércio de madeira sofre uma depressão, devido aos custos altos de produção e competição mundial;
- Não existem previsões aceitáveis para o financiamento da indústria madeireira.

Para superar essa dificuldade o Dr. Trever opinou que seria necessário recrutar pessoas experientes com capacidade técnica para melhorar a situação.

Em abril de 1951 foi assinado um convênio entre o governo brasileiro e a (FAO) para fornecer assistência técnica ao setor florestal na Amazônia. Por força desse convênio os Dr. René Gachot, Kelvins Mcgrath e Mauri Gallant apresentaram o relatório “Desenvolvimento Florestal no Vale do Amazonas” em 1953.

Os peritos recomendaram ao governo brasileiro o levantamento florestal de uma extensa área na Amazônia, onde a produção de madeira poderia ser feita sob condições favoráveis e com melhor aproveitamento econômico. O governo brasileiro acatou essa recomendação e solicitou uma missão especial da FAO para executar esse levantamento em uma área de 19.095.000ha começando no rio madeira seguindo uma direção Oeste-Leste até a costa atlântica, e daí ao longo da rodovia Belém - Brasília e da região de

mogno em Goiás numa faixa de 150 km de largura por 1500 km de comprimento, entre as longitudes 59°30' e 45°30' e as latitudes 2°00' e 6°30'.

Esse levantamento foi realizado no período de 1956 a 1961. Os resultados foram apresentados ao governo brasileiro em doze relatórios completos com diagramas e mapas.

Dada a importância dos recursos florestais da Amazônia, a FAO recomendou o ordenamento e o controle desse setor, para que as florestas não fossem indiscriminadamente destruídas. Com esse objetivo, foram apresentadas as seguintes recomendações; que ainda são atuais e algumas delas só se caracterizaram muito recentemente.

- A criação de um Serviço Florestal tecnicamente adequado com autoridade para exercer suas atividades [...]

-[...] A incorporação dentro do Serviço Florestal de um Departamento de planejamento, ordenamento e manejo, que caberia a tarefa de formular planos de manejo para todas as reservas florestais, como também fazer planos para a recuperação das florestas devastadas [...]

- Necessidade de estudos para verificar o comportamento das florestas naturais logo após sua exploração comercial, [...] como também verificação do diâmetro mínimo de corte do ponto de vista técnico e econômico, para o uso de cada espécie;

- Reservas florestais de produção deveriam ser estabelecidas ao longo da rodovia Belém-Brasília, no Pará, e na região do mogno, em Goiás;

- A reserva florestal de Caxiuanã deveria ser utilizada para promover as diversas espécies amazônicas no mercado nacional e internacional;

- A fim de preservar a matéria prima para as indústrias madeireiras em Belém, deveria ser proibida completamente a colonização descontrolada ao sul de uma linha, a ser indicada, na região entre os Rios Capim, Moju e Acará, no estado do Pará;

- As florestas de pau-rosa, a oeste do Pará e no Amazonas, deveriam ser fechadas à exploração por 25 anos, a fim de permitir a regeneração natural desta espécie valiosa;

- O manejo e plantações artificiais de pau rosa deveriam ser iniciados sem mais demora, em colaboração com a indústria que utiliza essa madeira para a extração da essência;

- Medidas para a conservação da maçanduba seriam de grande prioridade, a fim de acabar com o sistema primitivo de derruba para a extração do látex;

-[...] Recomendavam levantamentos florestais no Estado do Amazonas, perto do Rio Madeira, para verificar a presença do cardeiro, árvore com qualidades importantes para tornar-se uma madeira bastante comercial;

- Os inventários das florestas de igapó e várzea, na região da Ilha do Marajó, seriam de grande importância;

- Deveriam começar ensaios sobre o comportamento das espécies desconhecidas, utilizando-se as facilidades do Centro de Treinamento e Pesquisas Florestais (CTM), em Santarém (PA), a fim de introduzi-las no mercado. A possibilidade de poder usar a serra de quadro, para as árvores de tamanho pequeno e médio, deveria receber atenção especial;

- Com base nos resultados obtidos nas pesquisas de serragem, deveriam iniciar estudos profundos das possibilidades de comercialização nos mercados domésticos e de exportação;

- Recomendavam que companhias grandes, com projetos aprovados, deveriam ter a opção de comprar áreas extensas de terras devolutas para fins exclusivamente florestais, ou ainda melhor, o governo poderia garantir uma concessão de terras pelo prazo de 100 anos ou mais, com o objetivo de conseguir um ciclo contínuo de produção de madeiras das florestas sob manejo florestal.

2.2 TABELAS DE VOLUME DESENVOLVIDAS PELA FAO

Nos levantamentos florestais realizados pela missão FAO na Amazônia, no período de 1956 - 1961 (SUDAM, 1974) foram feitas referências “a dois tipos de tabelas de volume em pé; uma para a floresta em geral, chamada “Tabela Geral”, e outra para partes selecionadas da floresta, chamada “Tabela Local”.

A elaboração dessas tabelas tinha por objetivo “chegar diretamente a indicação do volume do fuste comercial das árvores em pé, através da medição de apenas o diâmetro a altura do peito (1,30m acima do nível do solo), e a altura do fuste”.

A coleta de dados, num primeiro momento, “incluiu poucas árvores com a medição do diâmetro médio do fuste medido por instrumentos”. A fórmula usada para o cálculo do volume foi:

$$V = \frac{\pi}{4} \times (X - 2C)^2 \times H$$

Onde:

V= Volume, em metros cúbicos;

□= Pi, cujo valor constante é 3,14159....

X = Diâmetros médios do fuste, em metros, obtidos por $X = (D + d) \div 2$, onde D é o diâmetro na altura do peito (DAP), em metros, e d é o diâmetro do topo do fuste, em metros;

C = Espessura da casca, em metros;

H = Altura do fuste, em metros

Em uma segunda etapa da coleta dos dados, “os diâmetros médios tomados no meio do fuste foram diretamente medidos por instrumento e verificado a possibilidade de combinar as duas coletas de dados, porém foram encontrados problemas”. Foi então decidido “utilizar apenas os dados com a medição real dos diâmetros no meio do fuste, por fornecer melhores resultados”. A conclusão foi que o cálculo para o diâmetro no meio do fuste pela fórmula $(D+d)/2$ não apresentava um resultado correto, por essa razão a tabela passou a ser calculada utilizando o modelo de regressão:

$$V = b_0 + (b_1 * D)$$

Onde:

V = Volume em m^3 ;

b_0 = O intercepto ou coeficiente de interseção da linha de regressão com o eixo da ordenada;

b_1 = Coeficiente de inclinação da linha de regressão;

D = Diâmetro à altura do peito (DAP).

Foi observada que as diferenças nos valores dos coeficientes b_1 para as diversas espécies foram causadas pela maior ou menor ocorrência das espécies, e considerando que esta diferença foi de pequena significância foi resolvido fazer uma tabela geral para todas as espécies em conjunto que apresentou as seguintes vantagens:

- A tabela poderia ser aplicada para qualquer das espécies do local, pois o uso de tabelas especiais para certas espécies em certas regiões, provocaria confusão;
- As tabelas têm uma precisão suficiente, sempre que são usadas para estimar os volumes médios, e, principalmente, para grupos de espécies;
- As tabelas não deveriam ser aplicadas para espécies escolhidas.

2.3 Tabelas de volume

Considerando a existência de correlação significativa entre as alturas dos fustes e seus respectivos DAP, a FAO com objetivo de desenvolver equações de volume que pudessem ser utilizadas no cálculo dos volumes das árvores em pé elaborou uma tabela de volume local com dados coletados entre 14 espécies da região da Rodovia Belém – Brasília, antiga BR – 14, através do ajuste do seguinte modelo matemático:

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log DAP$$

Onde:

V = Volume do fuste, em m³;

DAP = Centro de classe diamétrica, em cm;

“b₀” e “b₁” = coeficientes da regressão;

log = logaritmo na base 10.

A FAO, também organizou uma tabela especial para 63 espécies selecionadas como realmente comerciais, à época, ou com grandes possibilidades de se tornarem comerciais em um futuro próximo. A tabela mostra o volume com casca, a altura do fuste, e o número de árvores das espécies individuais ou grupos de espécies, mais comumente encontradas em cada um dos 27 tipos de florestas identificadas.

Os resultados encontrados na tabela representam o valor médio, indicando as tendências, sem, contudo, atribuir grande importância ao valor individual exato. Se a espécie escolhida para exploração fosse acapu, por exemplo, a tabela indicara a região de sua máxima frequência e volume, conforme as dimensões das árvores.

Essas tabelas de volume elaboradas pela FAO cobriram uma variação de DAP entre 25 cm a 150 cm e de altura de fuste entre 6 a 34 metros. Para isso, recomendou que pelo menos 50 árvores amostra de cada espécie, cobrindo a extensão dos diâmetros, deveriam ser utilizadas para obter uma boa precisão na estimativa do volume.

Durante o levantamento de campo, para cada unidade de amostra de 1 ha, foram verificadas por um balateiro em três árvores em pé, as medidas das variáveis: comprimento do fuste; DAP; circunferência no topo e no meio do fuste, isso com a preocupação de garantir a diversidade de espécies da floresta na coleta dos dados.

Com o aumento do número de árvores coletadas, ter-se-ia um aumento no número de espécies levantadas, permitindo a formação de tabelas para aquelas espécies, sempre na hipótese de se poderem combinar os dados das diversas áreas.

Qualquer outro modo especial de coletar dados necessários para formulação de tabelas para certas espécies seria impossível e muito dispendioso localizar pelo menos 50 árvores amostra com uma representação mais ou menos igual de todos os diâmetros, de uma única espécie. Deve-se ter em conta que haveria uma concentração de árvores amostra nos tipos de floresta onde existira a espécie em maior número, produzindo resultados aplicáveis para o local e não para a região em geral. A FAO adotou o método de espalhar árvores amostra por uma área muito grande, para diminuir o risco de concentração. Como as florestas da Amazônia brasileira abrangem três mil quilômetros de Este – Oeste, a FAO defendia a idéia de que as tabelas de volume geral deveriam ser separadas em tabelas locais, para fornecer resultados mais precisos.

As tabelas de volume feitas pela missão FAO para estimar o volume de árvores em pé, foram pioneiras no estudo da volumetria das espécies amazônicas. A partir daí vários trabalhos de pesquisa sobre o assunto foram desenvolvidos na Amazônia brasileira por muitos pesquisadores. As equações de volume permitem estimar o volume individual das árvores, onde é feita a combinação entre variáveis. Quando se obtêm estimativas separadamente para o volume do tronco comercial e volume de copa para árvores de grande porte, torna-se factível o uso de equação volumétrica, cujas variáveis independentes sejam de fácil medida.

Silva e Carvalho (1984) e Rolim et al. (2006) citam que a precisão obtida com os modelos de uma entrada foi inferiores aos verificados com os modelos de duas entradas, mas dada às dificuldades na medição da variável altura, quando se trata de florestas tropicais muitos autores recomendam a utilização de equações de volume de uma entrada, utilizando a variável diâmetro, que pode ser medida com facilidade e relativa precisão.

Silva et al. (1984) recomenda o uso do índice de Furnival quando se deseja realizar comparações entre erros padrões de estimativas de equações logarítmicas e aritméticas, em função de suas unidades serem diferentes.

Moura (1994) fez um estudo comparativo de métodos para estimar volume das espécies da Floresta Nacional do Tapajós e chamou atenção para o uso do fator de forma médio (0,7) usados nos inventários florestais na Amazônia que pode proporcionar erro de -10,66 até +12,85% nas estimativas volumétricas. Entretanto, se tais estimativas forem realizadas com base no fator de forma médio por classe de diâmetro tornam-se mais eficientes.

Fernandes; Jardim; Higuchi (1983) realizaram estudo para estimar os volumes comerciais de fustes de árvores em pé das espécies madeireiras da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA, foram testados três modelos matemáticos, sendo que o modelo não linear de Schumacher apresentou os melhores resultados estatísticos em relação aos outros.

Higuchi e Ramm (1985); Silva (1988); Queiroz (1998); Baima; Silva; Silva (2003); Rolim et al. (2006). Desenvolveram trabalhos em áreas destinadas à realização de pesquisas e nenhum em área de produção madeireira, sendo a Floresta Nacional do Tapajós a área com maior número de trabalhos sobre o assunto conforme Anexo A mostrando algumas equações genéricas ajustadas para grupos de espécies ocorrentes nessa Floresta.

Com relação às metodologias empregadas, às Tabelas elaboradas pela Missão FAO às árvores não sofreram cubagem rigorosa e foi utilizado papel logaritmo para o ajuste das equações. Nos trabalhos citados acima já foram utilizadas as cubagens rigorosas das árvores, pacotes estatísticos e recursos computacionais mais avançados para o ajuste das equações.

Loetch (1973), Husch; Miller; Beers (1971) definem tabela de volume como sendo uma relação gráfica ou numérica obtida a partir de uma equação volumétrica, em função de variáveis correlacionadas com o volume, tais como o diâmetro, ou circunferência, altura e forma.

Para a FAO (MANUAL. 1974) o uso das equações de volume no inventário florestal permite que partindo de medições detalhadas de um número limitado de árvores selecionadas dentro da área (árvores amostra), seja feita a estimativa do volume de um número de árvores muito grande nas unidades de amostra e a estimativa dos volumes médios e totais dentro da superfície de área inventariada. Bolfor (PROPUESTA. 1997), cita que o cálculo do volume comercial das árvores em pé é um requisito básico da atividade florestal. Na prática é um instrumento fácil, rápido e suficientemente preciso. Os parâmetros devem ser de fácil levantamento como o DAP e a altura comercial. O instrumento normalmente aplicado que cumpre estes requisitos é a tabela de volume ou um fator de forma adequado.

As primeiras tabelas de volume para espécies do gênero *Eucalyptus* publicadas no Brasil foram feitas por volta dos anos de 1961 a 1965. Veiga (1984) relata que apesar dos bons resultados que comprovadamente é obtido na estimativa do volume de madeira através de equações o seu uso era pouco freqüente, por causa das dificuldades de cálculo e desconhecimento sobre o assunto por parte de técnicos ligados à área florestal.

O tema equações de volume foi profundamente estudado sob o ponto de vista estatístico por volta do ano de 1972. Segundo Paula Neto et al. (1978), em geral, as equações de volume publicadas se restringe a uma determinada área, idade, espaçamento, rotação ou espécie e

apresentou modelos de equações de volume comercial de *Eucalyptus microcorys* em regime de alto fuste na região de Coronel Fabriciano, MG.

Veiga & Brasil (1981), testaram vários modelos de “equações de volume para *Eucalyptus propingua* com 5 anos de idade plantado na região de Itapeva e Mogi Guaçu SP.

Alguns autores estudaram a influência dos espaçamentos sobre os modelos de equações de volume para *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis* e *E. saligna*, com 2,5 anos de idade. Silva (1977) estudou diversos modelos de equação de volume para diferentes espécies de *Eucalyptus*, métodos de regeneração (talhadia e alto fuste) e região, no Estado de Minas Gerais.

Bastos (1984) realizou os primeiros estudos envolvendo a geração de equações de volume para cada situação florestal (espécie, idade, local, ciclo de corte, rotação, etc.).

Scolforo & Melo(1994) chegaram a conclusão de que é possível estimar o volume das espécies nativas com segurança utilizando equações de volume ou fatores de forma. Esses autores preferem equações de volume em relação ao fator de forma, pois estas proporcionam o erro das estimativas médias bem menores em relação a media verdadeira.

2.3 ESTUDOS DAS FORMAS DAS ÁRVORES

Franco et al. (1997) citam que “O fator de forma é uma opção antiga e que deve ser utilizada em situações que não se tenha nenhuma informação, ou ainda necessite de rapidez do trabalho de inventário. Ela fornece estimativa confiável, desde que se controle idade, espaçamento e sitio”.

Segundo Scolforo (1998). “O fator de forma é uma razão entre volumes utilizados para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore, e é influenciado pela espécie, sitio, espaçamento, desbaste e idade, entre outros fatores”.

De acordo com relatório (SUDAM 1974), os técnicos da missão FAO citam que “O fuste de uma árvore não é um cilindro perfeito, com seus diâmetros iguais na base e no topo; mas sim, é um cone truncado, com diâmetro maior na base que no topo. Assim, o chamado ‘ fator de forma do fuste’ pode ser expresso como a relação entre o volume total do cone com certo diâmetro na altura do peito e um cilindro com o mesmo diâmetro.

Um fator alto indica uma árvore praticamente cilíndrica, e vice-versa. A Missão da FAO testou se o fator 0,7 usado nos estudos preliminares era correto, para tanto, procurou durante o levantamento na floresta medir circunferência do fuste no topo e no centro de algumas árvores amostra, para isso, um balateiro fez o serviço e foram escolhidas árvores de todos os tamanhos entre 25 cm e 150 cm de diâmetro.

O Instituto Wageningen da Holanda fez os cálculos das médias dos fatores de forma para as diversas espécies e também para o conjunto de todas as árvores, com o objetivo de corrigir os dados originais sem continuar as medições no meio do fuste. O resultado indicou que o fator de forma para as árvores amazônicas em geral é 0,712, ou seja, 1,68% mais que o fator de forma utilizado com muita freqüência até os dias de hoje nos trabalhos realizados na Amazônia.

Portanto, para as espécies individuais, existe uma diferença quando comparado com o fator 0,7 normalmente usado. De acordo com Barros e Silva (2002) a transição de um protótipo dendrométrico ou forma de fuste para outra forma não é definida precisamente ao longo do tronco, ou seja, num mesmo tronco podem ocorrer vários protótipos (cilindro, neloide, parabolóide, cone).

Segundo Pellico Neto (1980), a estimativa de volumes total ou parcial de árvores pode ser realizada através de vários processos, dentre estes, encontra-se o fator de forma.

Ainda Silva (1977) e Finger (1992), conceituam fator de forma, como sendo um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore; este deve ser multiplicado pelo volume do cilindro para, então, se obter o volume real da árvore.

De acordo com Prodan; Peters; Cox (1977). o fator de forma pode ser real ou verdadeiro, falso ou artificial, dependendo da altura que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Dessa maneira, se o diâmetro do cilindro de referência for medido em altura relativa, o fator de forma denominar-se-á falso ou artificial.

Silva (1974) e Prodan; Peters; Cox (1977) cita que o fator de forma artificial num povoamento depende de vários fatores, genéricos e mensuráveis. Para esses autores, os fatores genéricos como a espécie, a idade do povoamento, a qualidade do sitio e a densidade do povoamento podem apresentar dificuldades para serem determinados e comprovados. Nas florestas tropicais isso se torna praticamente impossível. Já os fatores mensuráveis como diâmetro, altura e tamanho de copa são mais facilmente mensuráveis dentro do povoamento. Na prática, o fator de forma é expresso em função dos fatores mensuráveis. Por isso, quando se pretende estimar volume individual de árvores, a determinação do fator de forma artificial ou natural se constitui numa importante prática.

2.4 FUNÇÃO DE AFILAMENTO

As florestas tropicais da Amazônia desenvolveram-se formando ecossistemas heterogêneos. A alta diversidade de espécies florestais que se desenvolvem em povoamentos com diferentes abundâncias, dominâncias e alturas, ocorrendo em diferentes estratos que formam as diversas camadas do dossel das florestas tropicais revelam, como estratégias de crescimento, diferentes formas e tamanhos de copas.

Desde o final do século XVIII, estudos já evidenciavam a importância das copas das árvores, no desenvolvimento da forma de seus troncos. Entretanto, não apenas a copa das árvores, mas também, outros fatores que de forma isolada ou em conjunto, influenciam de forma decisiva o desenvolvimento da forma dos fustes.

(FISCHER, et al. 2001) comentam que vários pesquisadores tem envidado esforços para obter um modelo que descreva com precisão o perfil do fuste de árvores. Nesse sentido (FIGUEREDO, et al. 2006) citam as tendências de modelagem: a) Modelos simplificados: que não consideram a altura total, mas a distância entre um diâmetro qualquer (d) e a extremidade da árvore, além do diâmetro à altura do peito – DAP; b) Modelos polinomiais: baseados principalmente na comparação entre a variável dependente $(d/DAP)^2$ ou $(d/D0,1)^2$ e os polinômios formados pela variável independente (h/Ht) ; c) Modelos sigmóides: utilizam transformações de variáveis de modo que o modelo se assemelha à forma natural dos troncos. Trata-se de expressões matemáticas que geram um perfil semelhante a uma curva sigmóide; d) Modelos segmentados: consiste no uso de submodelos justapostos, cada um representando uma porção do tronco. A união de submodelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo geral; e) Modelos definidos por meio de análise multivariada: baseiam-se na aplicação de análise multivariada (análise de componentes principais) para investigar as variações existentes na estrutura dos dados e definir o modelo de regressão a ser utilizado para descrever o perfil do tronco; f) Modelos trigonométricos.

Os volumes das árvores, que constituem a base da produtividade de um povoamento florestal, eram inicialmente estimados empregando-se fatores de forma. Devido às dificuldades encontradas na obtenção, visto ser necessário o corte de um número considerável de árvores, passou-se a utilizar os quocientes de forma, isto é, a relação entre dois diâmetros, o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e um diâmetro a uma determinada altura pré-estabelecida do fuste, em

busca de uma solução mais prática e econômica, mas pouco precisos, principalmente se o objetivo é obter os volumes parciais do tronco.

Atualmente, a facilidade de acesso a computadores, e o avanço do conhecimento sobre técnicas de regressão, possibilitam o desenvolvimento de equações de volume, fornecendo estimativas do volume total do fuste em função do (DAP), ou do DAP e da Altura, essas equações, no entanto, não possibilitam separar o volume do tronco para diferentes usos, ou seja, quantas toras e de quais comprimentos podemos obter do fuste de uma árvore.

Somente é possível obter o sortimento do fuste de uma árvore através do uso de funções de forma, que são modelos matemáticos que permitem expressar a função de afilamento dos troncos, isto é, estimam os diâmetros, (d_i), a qualquer altura do fuste. Desse modo, tendo-se uma altura qualquer, (h_i), e o diâmetro, (d_i), nessa altura, essas funções permitam obter a estimativa do volume de qualquer porção do fuste, como também, possibilitam estimar a altura onde podemos encontrar certo diâmetro (d_i).

Função de afilamento, taper function, é, portanto uma descrição matemática do perfil longitudinal do fuste de uma árvore, que há muito vem sendo estudada, sendo cada vez mais, empregados modelos sofisticados, em busca da obtenção de maior precisão nas estimativas dos d_i , h_i e volumes totais e parciais dos fustes.

Não obstante, o emprego de diversas técnicas estatísticas, já desenvolvidas, para descrever a forma dos troncos das árvores, como os modelos polinomiais não-segmentados e os modelos polinomiais segmentados, os estudos concentram-se basicamente na determinação das potências mais adequadas para melhor modelar a forma dos troncos das árvores, principalmente de espécies utilizadas largamente em áreas de reflorestamento. Por essas razões, modelos como o proposto por Kozak; Munro; Smith (1969), polinômios de 5º grau, polinômios com potências fracionárias ou inteiras, e os modelos de razão, são os mais freqüentemente encontrados na literatura.

As equações de afilamento foram desenvolvidas para serem aplicadas em florestas plantadas puras e florestas naturais mistas, em países de clima temperado, para determinação dos volumes comercial e total, da altura comercial e dos diâmetros superiores do tronco (Kozak; Munro; Smith, 1969; Damerschalk, 1972; Ormerod, 1973; Goulding & Murray, 1976; Guimarães & Leite, 1992; Leite & Garcia, 2001; Burkhart, 1977; Biging, 1984), ressaltando-se que, para cada espécie, método de regeneração e idade, um desses modelos resulta em estimativas de taper mais precisas.

Não obstante, os avanços alcançados pelos estudos da forma das árvores, e o desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de descrever essas funções de forma com bastante precisão. As funções de afilamento de espécies tropicais ainda são muito pouco estudadas, especialmente na Amazônia brasileira um exemplo, os estudos com *Didymopanax morototonii* (morototó), realizado por Garcia; Leite; Yared (1993) e Barros et al.(2005) com *Manilkara huberi* (maçaranduba) e *Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis* (maparajuba) e Garcia et al. (2006) com *Virola surinamensis*. Esses poucos estudos pode ser explicado pela grande diversidade de espécies e idades que compõem as florestas tropicais da Amazônia e, conseqüentemente, pelos diferentes perfis de troncos, o que resulta em baixa precisão das equações estimadas.

No entanto, o uso de equações de afilamento, já é uma prática comum nas empresas florestais instaladas no sul e sudeste do Brasil para manejar seus povoamentos florestais com o uso de múltiplos produtos, que consiste da multiplicidade de produtos obtidos a partir dos povoamentos florestais tendo a madeira como principal fonte de matéria prima para processamento por indústria de diferentes segmentos, que otimizam a utilização do material produzido no campo..

Segundo Arce (2002) uma das finalidades do inventário pré corte, é a quantificação dos volumes das árvores existentes em pé para cada tipo de tora, para uso de múltiplos produtos que deve ser obtido da floresta. Essa quantificação é conhecida com nome de sortimento, ou seja, é a discriminação de volumetria dos produtos que serão obtidos a partir da árvore em pé.

De acordo com Soares et al. (2003) partes desses povoamentos deverão ser utilizadas segundo o conceito de floresta para múltiplos produtos, com sortimentos para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, dando opção de maior possibilidade de remuneração aos produtos advindos dos povoamentos florestais.

Husch; Miller; Beers(1982) Comenta que a avaliação de múltiplos produtos da madeira de árvores exige uma descrição do perfil de seus fustes, ou seja, requer a determinação ou estimativas de diâmetros ao longo do fuste, através de equações de afilamento ou ‘taper.’

Para Lima (1996), equações de afilamento são necessárias para a quantificação de múltiplos produtos, uma vez que as alternativas de uso da madeira são formuladas, em função do comprimento da tora, do diâmetro máximo e do diâmetro mínimo.

Soares (2002) comenta que o uso de equações de afilamento no inventário e no planejamento florestal resulta em informações sobre o número de toras vinculadas às dimensões

mínimas da cada produto a ser obtido do povoamento, permitindo um melhor planejamento da produção, da logística de transporte e da comercialização da madeira

2.5 VOLUMETRIA

O volume de árvores em pé e a biomassa florestal em geral de uma área, podem ser estimados por meio de modelos matemáticos, ajustados por análise de regressão, isto é, por equações alométricas, que estão cada vez mais sendo empregadas como meio indireto de se estimar o volume de árvores em pé na região amazônica.

Modelos de regressão permitem expressar a relação linear que pode ocorrer entre variáveis, sendo uma dependente, normalmente, notada por (Y) e uma ou mais variáveis independentes representadas por (X). Em estudos dendrométricos, as variáveis mais freqüentemente utilizadas são o DAP, a altura total ou comercial da árvore, o volume.

No caso de se testar dois ou mais modelos matemáticos, a escolha da equação que melhor se ajusta aos dados das variáveis estudadas, são normalmente baseadas em critérios estatísticos, tais como: o maior valor do coeficiente de determinação (r^2); o menor valor do erro padrão residual ($S_{y.x}$); a não tendenciosidade na distribuição dos resíduos, isto é, uma distribuição mais uniforme quanto possível; maior precisão, consistência e facilidade na sua aplicação (MACHADO et al.; 2002).

Segundo (BALAAM, 1972), a indicação da quantidade de variação dos dados que é explicado pelo modelo expresso pelo indicador da regressão (r^2), o que para um padrão aceitável, segundo o autor, deve ser igual ou superior a 0,9, ou seja, o modelo deve explicar pelo menos 90% da variação.

Segundo (DRAPER & SMITH, 1966), a distribuição dos resíduos é apresentada de forma gráfica e indica as diferenças entre os valores estimados e observados, positivos ou negativos. O desejável é que essa distribuição de resíduos ocorra de forma uniforme ao longo da reta, isto é, as diferenças não devem ser diretamente proporcionais ao aumento do valor da variável (X).

Outro bom indicador da qualidade de ajuste de um modelo de regressão, de acordo com (DRAPER & SMITH, 1966), é o Desvio Médio Porcentual, (DMP%), que expressa o quanto na média o modelo está sub ou superestimando a variável dependente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O levantamento foi realizado em uma área de floresta na região do Rio Aru, denominada Fazenda Jutaíca, de propriedade da Empresa Amazônia Compensados e Laminados - AMACOL, localizada no Município de Portel (PA), (Figura 1).

A área estudada foi uma Unidade de Produção Anual (UPA) de 621,95ha (Figura 2) dividida em cinco Unidade de Trabalho (UT), que fazem parte de uma Área de Manejo Florestal (AMF) de 8.642,44ha (Figura 3) na qual é executado um Projeto de Manejo Florestal Sustentável, aprovado pelo IBAMA.

A área objeto deste estudo está localizada no interflúvio Pacajá/Anapú e consta de terrenos terciários, da formação barreiras, que constituem as planícies e tabuleiros da bacia do baixo amazonas, os vales são largos de fundo chato, onde permeiam rios, meandros abandonados e igarapés, ao longo dos quais se desenvolvem os terrenos quaternários, aluviões, em faixas de largura variável, que se expandem e se renovam com as grandes enchentes.

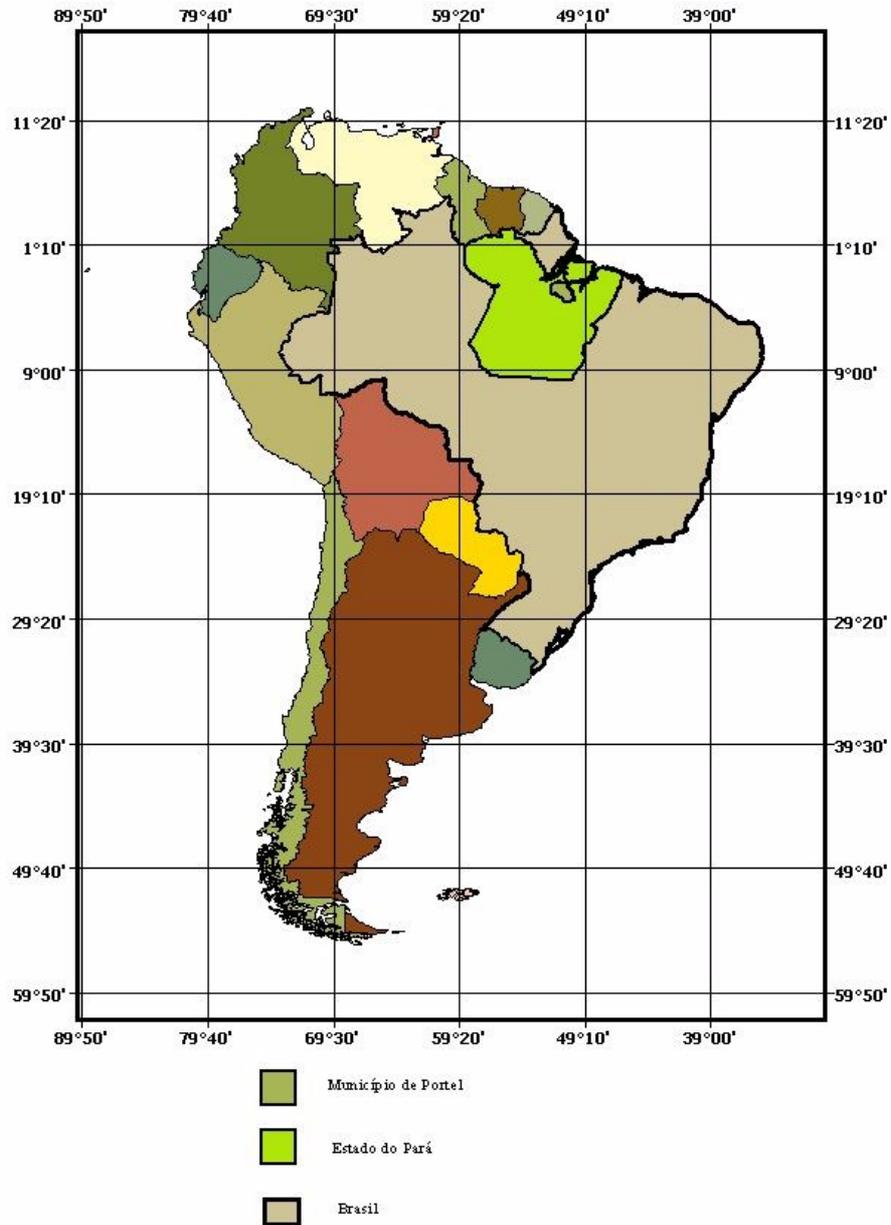
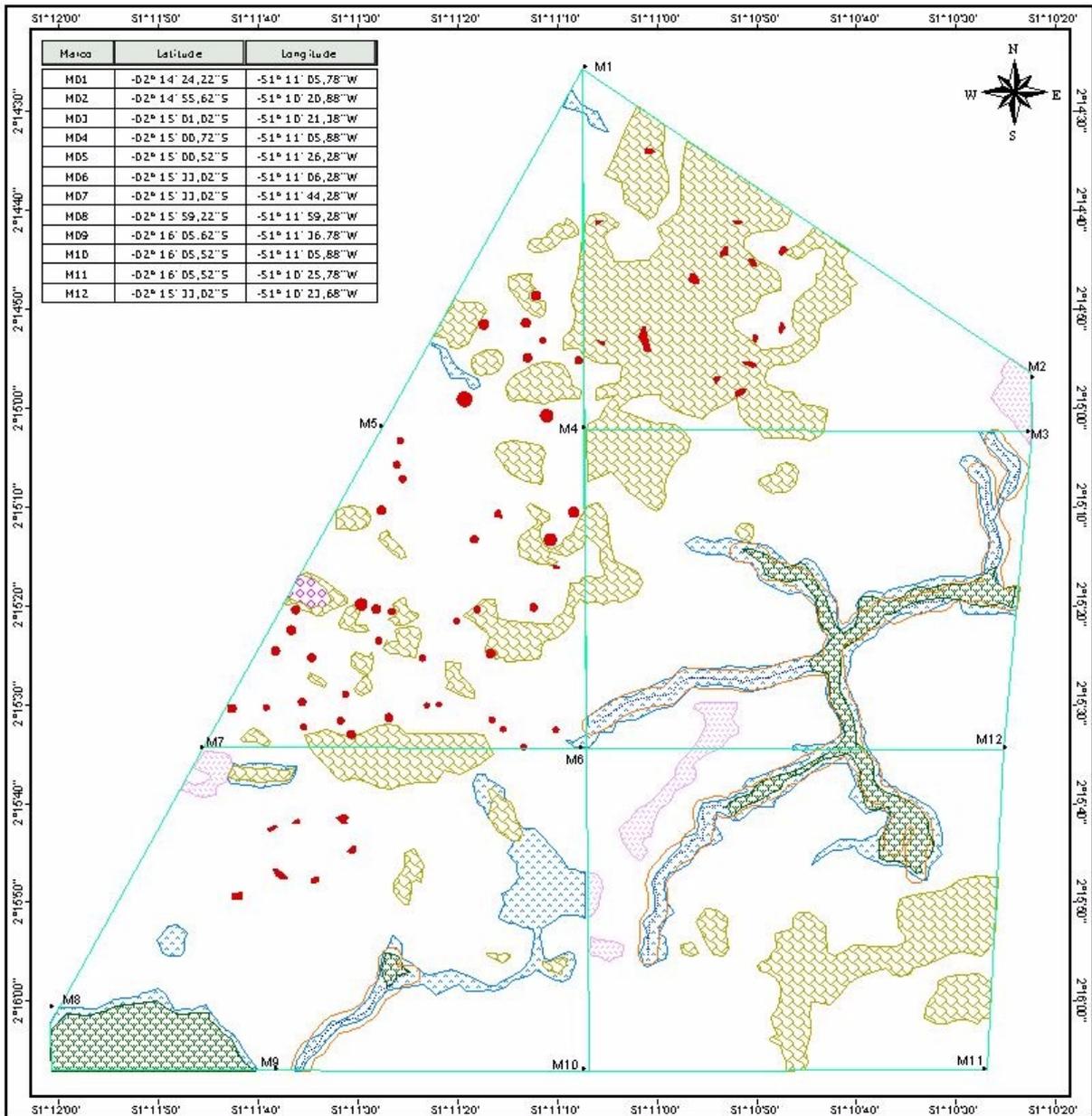


Figura1: Localização do Estado do Pará e Município de Pontel em relação ao Brasil e continente sul americano



- Limite da Area
- Area de preservação(33,80ha)
- Varzea (22,07ha)
- Igarape(5.692,49m)
- Clareira(4,51ha)
- Cipo(102,44ha)
- Campinarana(7,81ha)
- Area alagada(0,83ha)
- Area alagada intermitente(48,03ha)

100 0 100 200 Metros
 ESCALA: 1/12000
 Datum S AD69

PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTADO	
PROPRIEDADE: JUTAICICA	UPA 2004/2005
PROPRIETARIO: AMAZONIA COMPENSADOS E LAMINADOS S/A	
ESTADO: PARÁ	MUNICÍPIO: PORTEL
ÁREA DA UPA: 6219,3ha	
MATERIAL TÉCNICO:	
-BASE CARTOGRÁFICA: carta planimétrica da DSG, MI-481	
-PRODUTO DO SENSORIAMENTO REMOTO:	
Imagem de satélite landsat 7, orbita 225/062 ano 2002	
RESPONSÁVEL TÉCNICO:	CREA:

Figura 2 Mapa da Unidade de Produção Anual - UPA

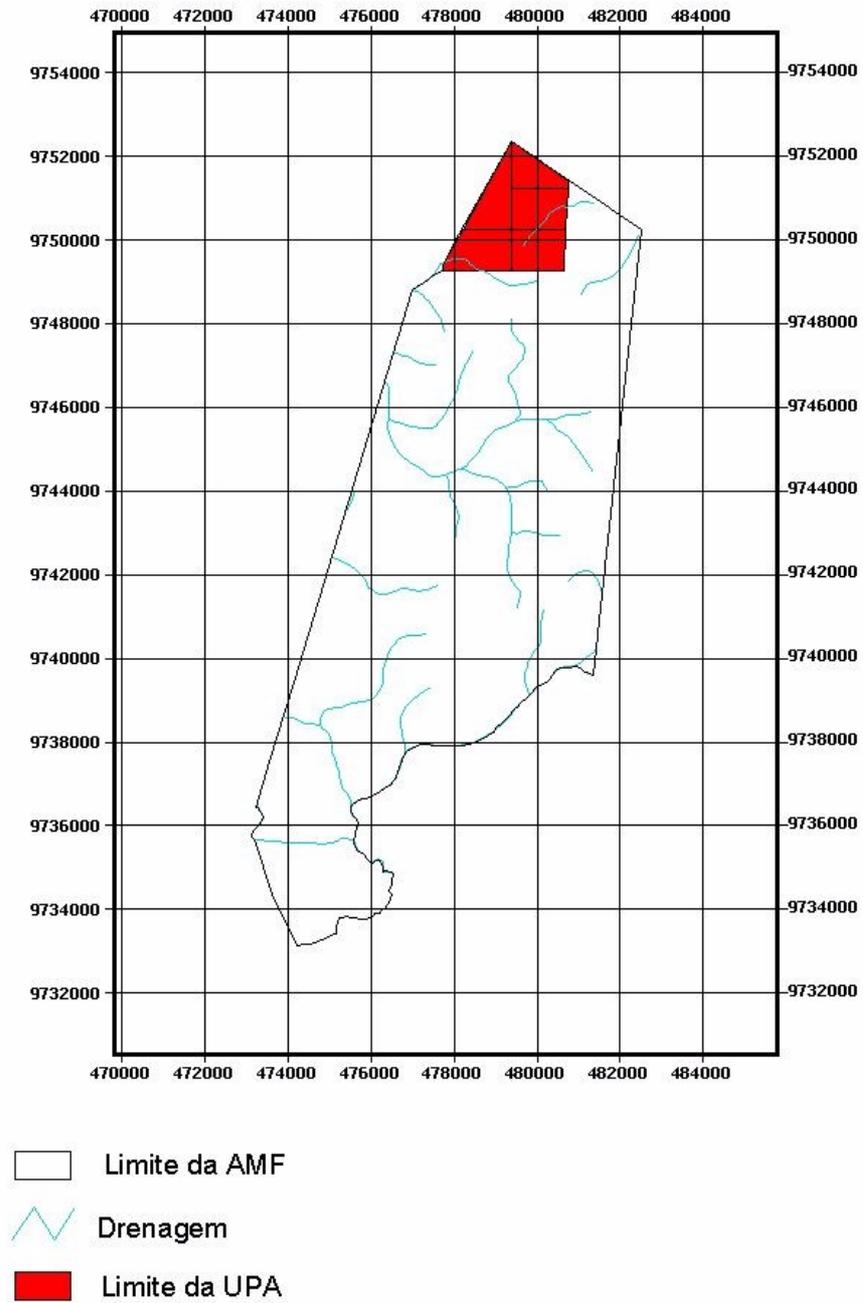


Figura 3 Mapa da área total do PMFS

3.1.1 Relevo

O relevo vai do ondulado ao suave ondulado sem grandes variações de níveis, na superfície, apresentando assim algumas áreas abaciadas com dificuldade de drenagem. Os solos dominantes são: o latossolo amarelo distrófico, textura média e o concrecionário laterítico distrófico nas superfícies de relevo ondulado; o podsol hidromórfico e a laterita hidromórfica, ocupam as parcelas onde o relevo é plano; ao longo dos cursos d'água, mesmo em pequenas faixas, ocorrem os solos aluviais que são as “várzeas” (Brasil – 1984).

3.1.2 Clima

O clima é tipicamente amazônico, com a temperatura média anual em torno dos 27°C. As temperaturas mínimas e máximas médias oscilam entre 21°C e 33°C; a média das precipitações anuais é de 2.500mm, sendo o primeiro semestre o período mais chuvoso e, por conseguinte, no segundo semestre é quando as chuvas escasseiam, sem, no entanto, determinar um período “biologicamente seco”. O maior índice pluviométrico, quando se dá a concentração das chuvas, geralmente em março chega a ultrapassar os 400 mm mensais (Brasil – 1984).

3.1.3 Biota

A biota que se sobressai, neste contexto, é marcada pela floresta densa das terras baixas (Figura 4) que recobre a quase totalidade da área estudada. Trata-se de uma formação compacta constituída basicamente por três sinúsias, em um macro escala ilustrativa, sendo uma dominante formada por árvores de grande porte (35m), heliófilas de copas amplas, com farta folhagem, sem nenhum caráter evidente de xerofitismo. Predominam os troncos eretos, cilíndricos ou sulcados com cascas lisas ou suberificadas. A sinúsia intermediária é codominante e é formada por indivíduos jovens que esperam a chance de suceder os mais velhos, no teto superior, e por indivíduos de espécies de menor porte, adaptados a preencher os espaços aonde a luz solar chega parcialmente. As condições ambientais reinantes (luz, umidade, temperatura).

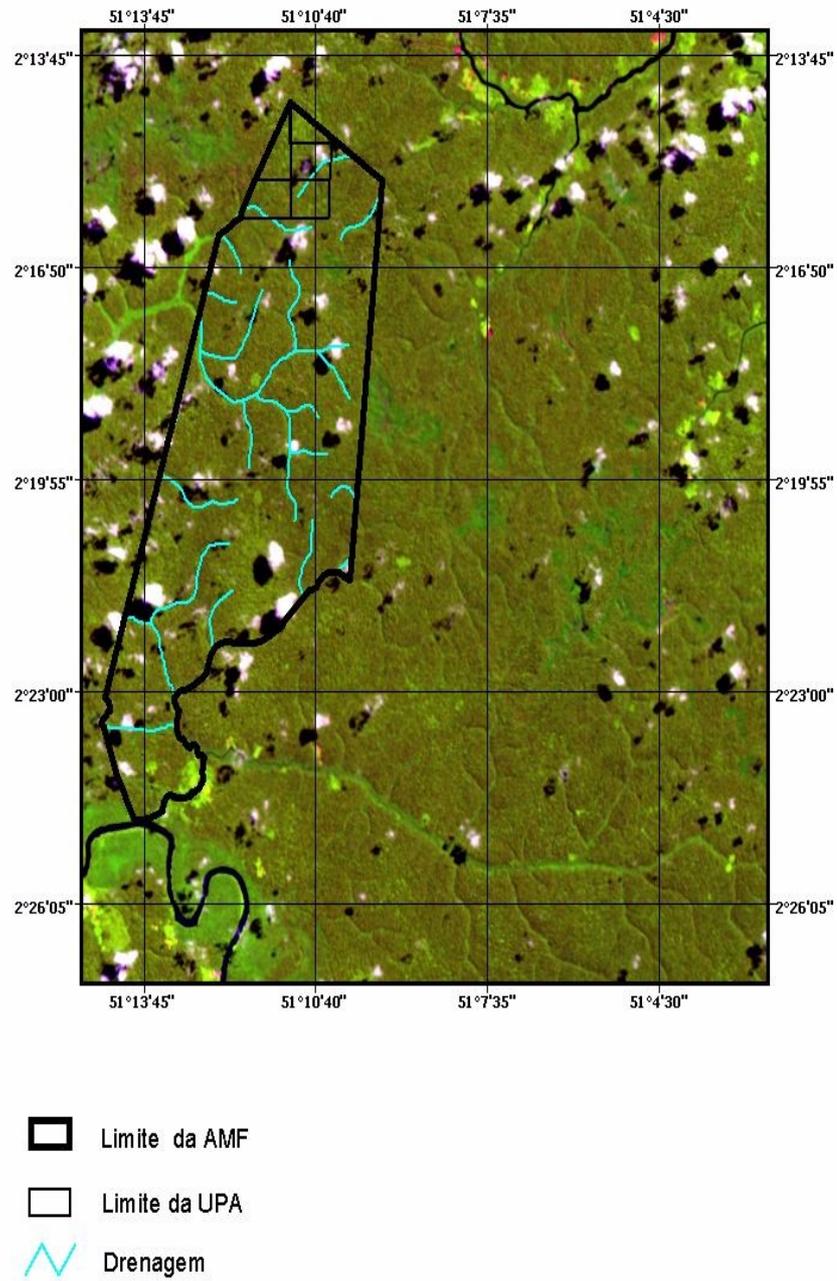


Figura 4 Imagem de satélite da área do PMFS

(Etc.) é determinante a grande presença de epífitas, nesta sinússia. A sinússia inferior é formada por plantas raquíticas, tais como: arvoretas em forma de touceiras, ervas ombrofilas e plantas sarmentosas. As palmeiras e epífitas freqüentemente possuem representantes em todas as sinússias (Brasil – 1984).

2.1.4 – Vegetação

A área apresenta uma vegetação característica de floresta tropical úmida densa de terras baixas. Com base em levantamentos realizados pela empresa AMACOL S/A, para elaboração de seus Planos de Manejo Florestal de suas áreas, já foram identificadas mais de 138 espécies arbóreas pertencentes a 47 famílias botânicas, dentre essas famílias, as que apresentaram as maiores riquezas de espécies foram Sapotaceae, Lauraceae, Lecythydaceae e Fabaceae. As espécies que compõem a riqueza florística da área de estudo são vistas na Tabela 1.

3.2 COLETA DE DADOS DE CAMPO

Os dados foram coletados em árvores-amostras distribuídas em classes diamétricas, por ocasião do corte das árvores. A altura comercial foi tomada no ponto onde houve a descopa (separação do fuste da copa) das árvores derrubadas. Para a determinação do volume real do fuste foi utilizado o procedimento de Smalian, medindo-se os diâmetros ao longo dos fustes em seções contínuas de 2 m, Loetsch et al. (1973), através da fórmula $V = \sum_{i=1}^n V_i$, onde $V_{real} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$, sendo $V_i = (g_i + g_{i+1})/2 * L_i$, e $g_i = (C_i/100)^2/4\pi$, e por último L_i igual ao comprimento da seção em metros, sendo C_i a circunferência em centímetros nas diferentes seções ao longo do fuste, conforme ilustra a Figura 5.

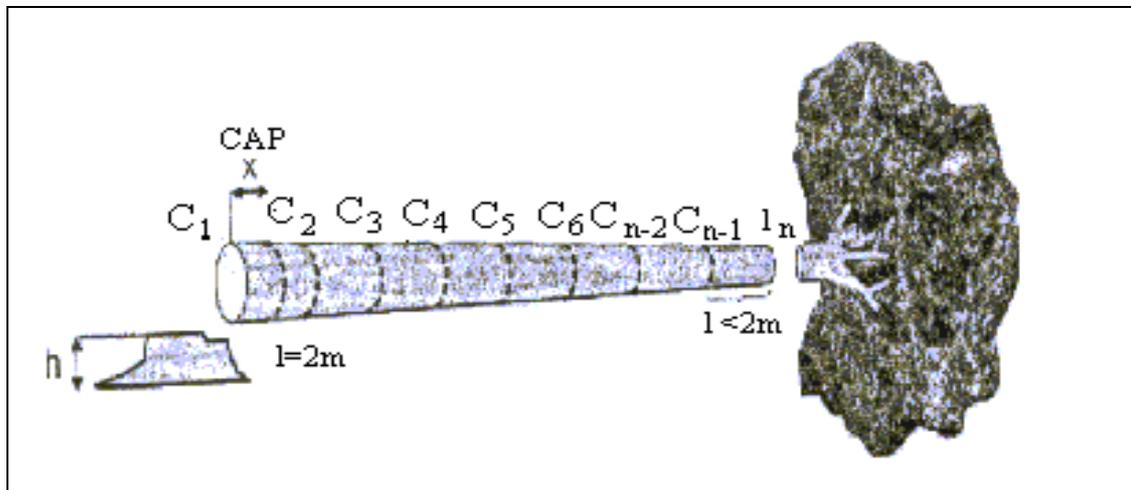


Figura. 5- Esquema da coleta de dados para o cálculo do volume real, pela metodologia de Smalian.

O cálculo do volume real foi executado no software excel. Os dados de campo referentes à altura e suas respectivas circunferências, de C1 a Cn, foram digitados, posteriormente classificamos o valor da altura da maior para menor, visando conhecer o máximo de seções a serem empregadas na fórmula. Calculou-se o número de seções (Ns), o comprimento da última seção (Ln) e suas respectivas áreas transversais (gi), para se incluir na fórmula genérica do volume real, $V = g_1 + g_{n-1} + 2*(g_2 + g_3 + g_4 + \dots + g_{n-2}) + (g_{n-1} + g_n)/2 * L_n$, a fim de processar o cálculo do volume real de cada árvore-amostra.

A seleção das espécies foi feita de acordo com os interesses econômicos da empresa, e entre as mais abundantes da área, determinando-se o número de árvores-amostra por espécie (Tabela 1), as quais foram distribuídas em classes diamétricas, com amplitudes de 10 cm, pré-estabelecidas por ocasião da exploração florestal, no intervalo de 15 cm até o diâmetro máximo de 130 cm (Tabela 2). Em cada árvore-amostra derrubada foi determinado o volume real, através da metodologia proposta por Smalian, medindo-se para tanto a circunferência nas seções de 2m em 2m e determinando-se o DAP e a sua altura comercial real e a estatística dos dados.

Tabela 1 – Relação de espécies e número de indivíduos medidos para a determinação do volume real, pelo método de Smalian.

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	Nº INDIV.
Abiurana branca	<i>Pouteria oppositifolia</i> (Ducke) Baehni	1
Abiurana	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	2
Acapú	<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	2
Ajara branco	<i>Chrysophyllum argenteum</i> (Miq.) T. D. Penn.	3
Ajara faia	<i>Chrysophyllum</i> sp.	1
Amapá amargo	<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke	1
Angelin pedra	<i>Hymenolobium pulcherrimum</i> Ducke	7
Araracanga	<i>Aspidospermum desmanthum</i> Benth. ex Müll. Arg.	1
Bajeira atana	<i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex. Benth	1
Breu vermelho	<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) Marchi	1
Canela de jacamim	<i>Rinorea flavescens</i> (Aubl. Kuntze	1
Cariperana	<i>Licania micrantha</i> Miq.	2
Cumarú amarelo	<i>Dipteryx adorata</i> (Aubl.) Willd.	19
Cumarú vermelho	<i>Dipteryx punctata</i> (Blake) Amshoff.	6
Cupiuba	<i>Goupia glabra</i> Aubl..	1
Embaubão	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	1
Goiabão	<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires	3
Quarubarana	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	2
Ingá xixica	<i>Inga thibaudiana</i> DC	3
Ingarana	<i>Inga paraensis</i> Ducke	1
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	13
Jutaí mirim	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	3
Lacre	<i>Vismia cayannensis</i> (Jacq.) Pers.	1
Louro Jandauba	<i>Aiouea</i> sp	1
Louro vermelho	<i>Ocotea rubra</i> Mez	6
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.	46
Macacu	<i>Hirtella erianda</i> Benth	2
Maparajuba	<i>Manilkara bidentata</i> subsp. <i>surinamensis</i> (Miq.) T.D. Penn.	107
Marapinima	<i>Coussapoa nitida</i> Miq.	2
Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	1
Mata-mata branco	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori	3
Mata-matá jibóia	<i>Eschweilera amazonica</i> R.Kunth	1
Mata-matá preto	<i>Eschweilera</i> sp	1
Matá-matá ripeiro	<i>Lecythis idatimon</i> Aubl.	2
Muiratinga	<i>Helicostylis scabra</i> (J.F. Macbr.) C.C. Berg	2
Muruci branco	<i>Byrsonima amazonica</i> Griseb	1
Pau de bicho	<i>Tapura singularis</i> Ducke	1
Quariquara	<i>Minquartia guianensis</i> Aubl.	1
Quaruba tinga	<i>Qualea brevipedicellata</i> Stafl.	1
Quarubarana	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	4
Sucupira Preta	<i>Diplotropis martiusii</i> Benth.	1
Taquarirarana	<i>Mabea</i> sp	1
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	4
Tucandereira	Não identificado	1
Total		265

Tabela 2 – Distribuição do número de indivíduos medidos no campo por classe diamétrica

CLASSE DE DIÂMETRO	NºIND.	%	CLASSE DE DIÂMETRO	Nº IND.	%
15-25	23	8,7	75-85	36	13,6
25-35	13	4,9	85-95	27	10,2
35-45	14	5,3	95-105	15	5,7
45-55	16	6,0	105-115	8	3,0
55-65	52	19,6	115-125	7	2,6
65-75	53	20,0	125-135	1	0,4
TOTAL	-	-	-	265	100%

3.2.1 – Obtenção das medições das árvores - amostras

Após a derrubada da árvore amostra, começou a etapa das marcações dos pontos de medição a cada 2 metros (Figura 6), para tanto uma fita métrica era estendida ao longo do fuste e uma pessoa com auxílio de um facão foi fazendo marcas para as medições das circunferências, essas medidas foram registradas em um modelo de formulário apresentado no Anexo B.

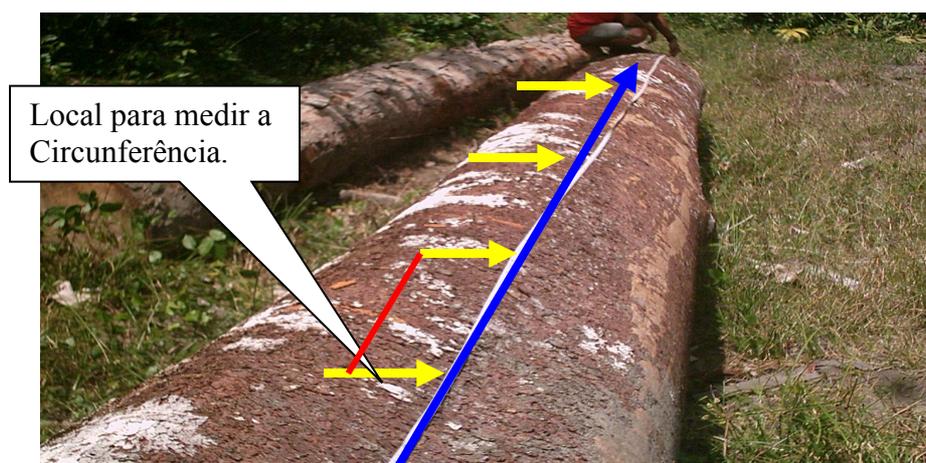


Figura 6 – Os vários locais de pontos de medição assinalados ao longo da tora para registro das medições das circunferências.

Nas extremidades do fuste, com auxílio de uma régua milimetrada, faz-se à medição da espessura de casca (Figura 7) para se determinar equações de volume sem casca.



Figura 7 – Determinação da espessura de casca na extremidade da tora com a utilização de uma régua milimetrada.

Uma das dificuldades de se determinar equação de volume para as florestas tropicais da Amazônia brasileira é a grande amplitude de diâmetros das árvores e, sua medição com uso de aparelhos óticos, especialmente, o relascópio de Bitterlich. A dificuldade é devido ao denso sub-bosque que atrapalha a leitura dos diâmetros ao longo do fuste e a definição de um ponto para determinação da altura da copa. Essa situação é facilitada quando a árvore é derrubada. Entretanto, árvores de grande diâmetro quando derrubadas devido ao seu peso, ficam “enterradas” no chão (Figura 8), o que dificulta passar o fio para determinar a circunferência nos pontos de medição, sendo necessário o uso de um ferro com uma das extremidades em formatado de bisel para cavar por debaixo da tora e facilitar a passagem do fio que, auxiliara na medição da circunferência.



Figura 8 – O uso do ferro de cavar para fazer uma abertura por baixo da tora, para facilitar a passagem do fio que servirá de auxílio para medir a circunferência do fuste.

A medição da circunferência realizada com auxílio do fio fixado na ponta de um arame com cabo de madeira (Figura 9) é a maneira mais prática de se medir a exata conformação do fuste, que pode assumir formas diversas numa mesma árvore.



Figura 9 – A medição da circunferência em um ponto de medição previamente determinado ao longo do fuste, com auxílio do fio, fixado na ponta de um arame com cabo de madeira.

Os materiais de campo utilizados nas medições são visto na (Figura 10).



Figura 10 Os materiais utilizados para medições das circunferências

A definição de um ponto de medição e sua respectiva marcação com facão (Figura 11).



Figura 11 Marcação de um ponto de medição da circunferência na tora com auxílio do facão.

A Figura 12 mostra a trena estendida ao longo do fuste para medição da circunferência, após coletada com auxílio do fio conforme mostra a (Figura 9).



Figura 12 – Medição do comprimento da circunferência com a fita métrica após a tomada da mesma com auxílio do fio.

3.3 MODELOS MATEMÁTICOS

Alguns modelos matemáticos já foram testados por vários autores em diversas áreas da Amazônia (Fernandes et al., 1983; Silva & Carvalho, 1984; Silva & Araújo, 1984; Silva et al., 1984; Higuchi & Ramm, 1985; Moura, 1994; Baima et al., 2003). Os oito modelos testados para o presente estudo foram selecionados, a partir dos 17 modelos matemáticos de Simples e Duplas Entrada, sugeridos por Loetsch et al., (1973) e Campos & Leite (2002). A variável volume real e o seu respectivo logarítmico é a variável dependente, enquanto que o diâmetro e a altura em suas variações foram as variáveis independentes escolhidas para os diferentes modelos de regressão testados.

Com o diagrama de dispersão dos volumes observados das 265 árvores amostras, em relação aos seus respectivos diâmetros, figura 13, foi possível verificar a tendência entre essas variáveis e, conseqüentemente, pré-selecionar os modelos de regressão que foram testados, os

quais são apresentados na Tabela 3.

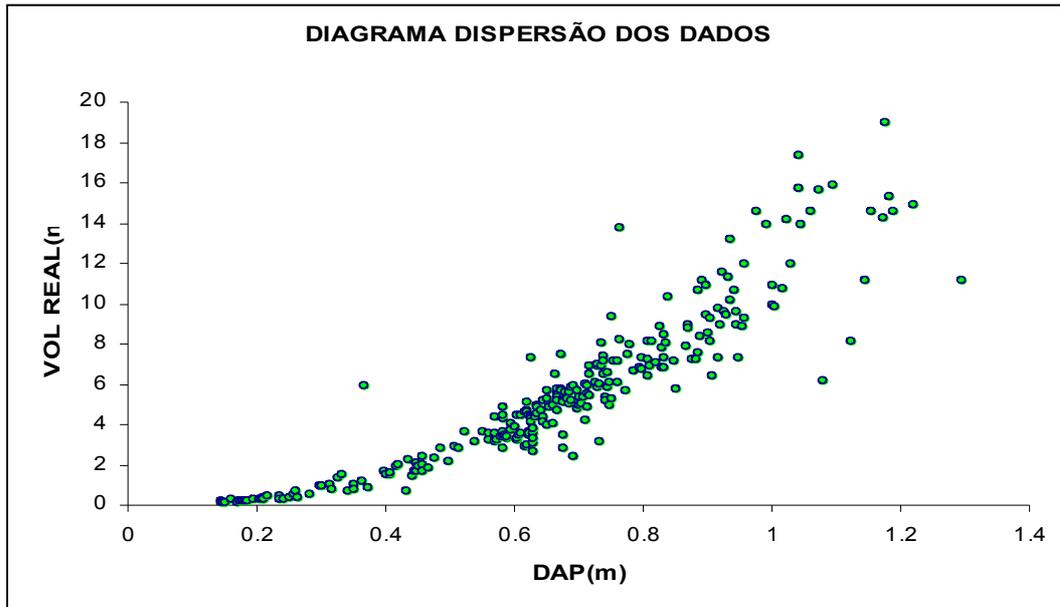


FIGURA 13 Gráfico dispersão dos dados do volume real (m³) em relação ao DAP(m)

Tabela 3 – Modelos pré-selecionados para serem ajustados para determinação de Equações de volume para a floresta da fazenda jutaicica, Rio Aru.

Variável independente	Autor	Equações
<i>DAP</i>	Kopezky-Gehhardt	$V = b_0 + b_1 d^2$
	Hohenalldl-Krenn	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
	Berkhout	$V = b_0 + b_1 d$
	(B. Husch [1963])	$\log V = b_0 + b_1 \log d$
	Brenac	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (1/d)$
<i>DAP /H</i>	(S. H. Spurr [1952])	$V = b_0 + b_1 d^2 h$
	Schumacher-Hall	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 \log h$
	(S. H. Spurr [1952])	$\log V = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$

3.4 - CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO

Os critérios utilizados para a seleção das equações que melhor se ajustaram foram: valor de F altamente significante; maior coeficiente de determinação (r^2); menor erro padrão de estimativa (S_{yx}); conseqüentemente menor coeficiente de variação (CV); valor do Índice de FURNIVAL (IF) para as equações logarítmicas e análise de resíduos através do Desvio Médio Percentual (DMP), para verificar a não-tendenciosidade na distribuição dos resíduos e o percentual de subestimativa ou superestimativa dos volumes pelos modelos. Além desses critérios estatísticos, também foram considerados os critérios de praticidade de uso das equações e o custo da obtenção dos dados de campo.

3.5 – ANÁLISE DE DADOS

Os volumes reais foram calculados na planilha do software excel, e juntamente com as variáveis diâmetro e altura, possibilitaram a geração de uma matriz com todas as variáveis necessárias para serem utilizadas posteriormente no software de regressão -BIOESTAT. Para isso foram montadas tabela de variáveis do Grupo-1 (simples entrada) e Grupo-2 (dupla entrada), no sentido de facilitar a análise dos dados. As variáveis utilizadas nos modelos do grupo 1, foram: Vol.real, d, 1/d, d^2 , $\log V$, $\log d$, enquanto que para o grupo 2, foram: $d^2 h$, $\log d$, $\log h$, $\log d^2 h$.

3.6- COMPARAÇÃO DO VOLUME REAL COM OS ESTIMADOS PELAS

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SELECIONADAS

A validação das equações de regressão selecionadas, para estimar o volume na área do estudo, tanto a de simples entrada, $V = f(\text{DAP})$, quanto a de dupla entrada, $V = f(\text{DAP}; H)$, foi feita pela comparação dos volumes reais e os volumes estimados pelas equações.

A comparação se deu através do teste qui-quadrado (χ^2) entre os volumes estimados pelas equações (\hat{Y}_i) e uma nova base de dados composta pelos volumes reais obtidos pelo método de Smalian (Y_i) constituído de 87 árvores não incluídas no banco de dados originais utilizado para o ajuste das equações.

$$\chi^2_{cal} = \sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\hat{Y}_i}$$

Sendo:

Y_i = Volume real do fuste;

\hat{Y}_i = Volume do fuste estimado pela equação de volume selecionada.

É importante ressaltar que após o ajuste de uma equação de regressão, deve ser feito o controle de validação e da qualidade das estimativas feitas pela mesma, para que se possa ter maior confiança nas suas predições.

Por isso, Queiroz et al., 2006, citam que a amostra utilizada em uma validação tem que ser independente dos dados utilizados nos seus respectivos ajustes. Desta forma foram levantadas no campo 87 árvores distribuídas entre as espécies, e nas diferentes classes diamétricas. Assim, foram obtidos seus respectivos volumes reais, que constituíram um novo banco de dados independente e utilizado para o processo de validação.

3.7 FATOR DE FORMA

Árvores que apresentem os mesmos valores de diâmetro e de altura não necessariamente, apresentam o mesmo valor para o volume, devido às diferentes formas dos fustes das árvores. As formas dos fustes das árvores sempre apresentam variações em função da diminuição do diâmetro da árvore, no sentido da base para o ápice.

A literatura que trata sobre mensuração florestal, denomina essa diminuição de “ taper ou afilamento do fuste”, denotando a variação no volume da árvore em relação ao volume do cilindro, variando em função da espécie, idade, posição sociológica e condições de sitio. O Fator de Forma (ff) é a razão entre o volume real da árvore e o volume de um cilindro de altura igual à altura da árvore e com diâmetro igual ao DAP. Esse Fator de Forma, assim calculado, é denominado de Fator de Forma absoluto (HUSCH et al 1982). Assim, temos:

$$f_{1,3} = \frac{V_{\text{árv.}}}{V_{\text{cilind.}}}$$

$V_{\text{árv.}}$ = Volume real da árvore obtido, por exemplo, pelo método de Smalian

$V_{\text{cilind.}}$ = $g.H$, sendo $g = \frac{\pi .dap^2}{4}$ e H = altura real da árvore

Deste modo, foram calculados os fatores de forma para todas as árvores amostras, determinando, assim, o fator de forma médio para a área estudada.

3.8 FUNÇÃO DE AFILAMENTO

Taper (afilamento do fuste) é o termo aplicado ao decréscimo do diâmetro ao longo do fuste. Quando ocorre uma regularidade definida na mudança desse diâmetro, o perfil do tronco pode ser expresso por funções denominadas “funções de taper ou funções de afilamento”. A partir de uma dessas funções, ou equações, pode-se estimar diretamente o diâmetro em qualquer altura do fuste, bem como determinar o volume a partir de algumas transformações algébricas na equação (Campos & Leite, 2002). Os mesmos autores apresentam alguns exemplos de modelos de afilamento, entretanto o modelo mais comumente usado para representar o perfil do fuste é o modelo linear polinomial proposto por Kozak, Munro, Smith (1969), pela facilidade de ajustamento, além da precisão de suas estimativas. O modelo de Kozak é dado por:

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

onde:

d = diâmetro na altura h , com ou sem casca;

dap = diâmetro, com casca, medido na altura de 1,30m do nível do solo;

h = distância do solo até o ponto onde o diâmetro d é considerado;

H = altura total do fuste;

β_i = parâmetros da regressão ($i=0,1,2$); e

ε = erro aleatório.

3.8.1 – Altura comercial a partir do modelo de Kozak

A estimativa da altura comercial (h) de um fuste, com um diâmetro (d) definido a partir do modelo de Kozak é dado pela expressão.

$$\hat{h} = \frac{-b_1 \cdot H \pm \sqrt{(b_1 \cdot H)^2 - 4 \cdot b_2 \left(b_0 \cdot H^2 - \frac{d^2 \cdot H^2}{dap^2} \right)}}{2 \cdot b_2}$$

em que:

h = altura comercial estimada até um diâmetro igual a d ;

b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação de afilamento de Kozak;

H = altura total do fuste.

A solução dessa equação de segundo grau fornecerá duas raízes reais, sendo uma delas coerente com as dimensões do fuste.

3.8.2 – Volume a partir do modelo de Kozak

Para estimar o volume de um fuste a partir do modelo de afilamento proposto por Kozak, este passa por algumas transformações algébricas, até obter a expressão que fornecerá o volume, apresentado a seguir:

$$V = \frac{\pi}{40.000} dap^2 \left[b_0(h_2 - h_1) + \frac{b_1}{2.H}(h_2^2 - h_1^2) + \frac{b_2}{3.H^2}(h_2^3 - h_1^3) \right]$$

onde:

V = Volume estimado a partir da função taper proposta por Kozak;

Dap = Diâmetro medido à 1,30m do nível do solo;

H = altura total do fuste;

b₀, b₁, b₂ = coeficientes da serie taper de Kozak

h₁ e h₂ = alturas inferior e superior de qualquer seção do fuste, respectivamente. Podendo assumir valores desde h₁=0 até h₂=H

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS COLETADOS NO CAMPO

Os resultados da estatística descritiva, das variáveis DAP e Hc, obtidas no campo e o Vreal. das árvores cubadas que foram utilizadas, para o ajuste dos modelos testados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 . Estatística descritiva das variáveis utilizadas nos modelos de regressão.

Variáveis	Unid.	Número Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV%
DAP	cm	265	15,0	129,5	65,9	24,76 5	37,57
Hc	m	265	5,6	30,0	17,5	4,76569	27,23
V.real	m ³	265	0,096716	18,90385	5,42365 6	3,86434	71,25

Observa-se que a variação das observações em torno da média (CV%), são altas, principalmente da variável volume real. Isso mostra a necessidade de um grande número de árvores-amostras para a confecção das tabelas de volume, que garantam uma precisão aceitável nas estimativas do volume das árvores do povoamento florestal. Essa variação é explicada pelo número de espécies envolvidas no conjunto de dados, bem como, a ocorrência de grande amplitude de variação das variáveis DAP e Altura comercial (Hc).

Por outro lado, essa alta variação observada, também pode ser explicada pelo fato do número de árvores-amostra por classes de diâmetro, seguir uma distribuição decrescente, principalmente, a partir da classe de 55 –65 cm (Tabela 2), fazendo com que haja uma ligeira influência no valor da média. Desse modo, no caso do número de árvores amostras utilizadas para o ajuste dos modelos não apresentarem uma precisão aceitável, utilizando-se os dados individuais de cada árvore, então é necessário realizar o ajuste das equações por classe diamétrica de forma a minimizar a variação dos dados.

4.2- AJUSTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO TESTADOS

O resultado dos ajustes dos modelos testados, tanto do grupo 1, quanto do grupo 2, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Modelos de simples e Dupla entrada de equações de volume testados e Seus respectivos dados de precisão.

Equação	Coefficientes	F	R ²	Sy/x	CV %	DMP %	IF
<i>SIMPLES ENTRADA</i>							
V= b0 + b1d²	b₀=-0,037268 b₁=11,027570	1680,11	0,864	1,424	26,26	30,027	
V= b0 + b1d + b2d²	b₀=-0,894626 b₁= 2,915868 b₂= 8,879358	852,178	0,865	1,416	26,10	-29,879	
V= b0+ b1d	b₀=-3,958929 b₁=14,240506	1311,00	0,832	1,582	29,18	-223,154	
logV=b0+b1 log d	b₀= 1,081861 b₁= 2,401474	5428,86	0,954	0,110	20,27	3,105	0,90049
logV= b0 + b1 log d + b2(1/d)	b₀= 1,140984 b₁= 1,854200 b₂=-0,094200	2967,33	0,957	0,106	19,43	2,986	0,86303
<i>DUPLA ENTRADA</i>							
V= b0 + b1d² h	b₀= 0,515655 b₁= 0,520777 b₀=-0,057105	3572,12	0,931	1,014	18,69	75,124	
logv=b0+b1logd+b2logh	b₁= 2,026275 b₂= 0,862432	7630,78	0,983	0,067	12,27	1,069	0,54527
logV= b0 + b1log(d²h)	b₀=-0,216849 b₁= 0,981427	14801,4	0,982	0,068	12,46	1,214	0,55352

Dos oito modelos matemáticos testados, sendo cinco modelos de Simples Entrada e três de Dupla Entrada, com base nos critérios estatísticos estabelecidos na metodologia, foram pré-selecionada duas equações de Simples Entrada e duas de Dupla Entrada, as quais são apresentadas na Tabela 6. Dessas, optou-se em aceitá-las pelo critério de maior praticidade de uso e obtenção dos dados no campo as equações $\log V = b_0 + b_1 \log d$ e $\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (1/d)$ por apresentarem os critérios, r^2 , CV% e o DMP considerados aceitáveis e bem próximos dos valores das demais equações

Embora as equações de Dupla Entrada propostas por Schumacher-Hall, tenham apresentados os R^2 , Sy/x, CV% e DMP menores do que para as equações de Simples Entrada já referidas, estas apresentam as dificuldades e o custo inerentes à obtenção da variável altura no

campo, principalmente em se tratando de florestas tropicais. Também, no que se refere ao melhor ajuste, expresso pelos critérios estatísticos, a de se considerarem os erros cometidos quando da medição da variável altura das árvores em pé, em geral feita somente por avaliação visual.

Assim, para o caso, em que seja possível medir a variável altura com precisão como, por exemplo, usando dendrômetro a laser, é indicado o uso da equação de Dupla Entrada, mesmo que esses dendrômetros apresentem algumas limitações como dificuldades operacionais em florestas tropicais de visualização do ponto de referência de medição.

Tabela 6 . Equações de Simples e Dupla Entrada que melhor se ajustaram.

Autor	Equação	Coefficientes	F	R ²	Sy/x	CV	DMP	IF
SIMPLES ENTRADA								
<i>B. Husch [1963]</i>	logV=bo+b₁ log d	b ₀ =1,081861 b ₁ =2,401474	5428,86	0,954	0,110	20,27	3,105	0,900
Brenac	logV=bo+b₁logd+b₂ 1/d	b ₀ =1,140984 b ₁ =1,854200 b ₃ =-0,09420	2967,33	0,957	0,106	19,42	2,986	0,863
DUPLA ENTRADA								
Schumacher-Hall	logV=b₀+b₁logd+b₂logh	b ₀ =-0,05710 b ₁ =2,026275 b ₂ =0,862432	7630,78	0,983	0,067	12,27	1,069	0,545
S.H. Spurr	logV= bo + b₁log(d²h)	b ₀ =-0,21684 b ₁ =0,981427	14801,4	0,982	0,068	12,46	1,214	0,553

Como exemplos de aplicações para esses modelos, se pode citar Rolim et al (2006) que considerou para a Floresta Nacional do Tapirapé - Aquiri, Serra dos Carajás (PA), o modelo volumétrico de simples entrada de Husch, como o mais indicado ($r^2 = 0,9105$) e ($Sy_x \% = 18,45$). Entretanto sugere cautela no seu uso e recomenda ser testado com maior número de árvores de grande porte por apresentar tendenciosidade para estimativas de elevados volumes.

Baima et al (2003), também concluiu que o modelo volumétrico de Husch, aplicado à floresta tropical de terra firme, no Moju (PA), foi o mais indicado pelos requisitos preenchidos ($r^2_{aj} = 0,9391$) e ($CV\% = 21,7$).

Para os modelos de dupla entrada, Rolim et al (2006) recomendou o modelo volumétrico de Schumacher – Hall, ($R^2 = 0,9942$) e ($Sy_x\% = 4,68$), para a Flona Tapirapé - Aquiri. No

entanto, para Baima et al (2003) o modelo volumétrico de dupla entrada mais preciso para a floresta tropical de terra firme em Moju (PA) foi o de Spurr , ($r^2 = 0,9679$ e $CV\% = 15,80930$).

Quanto ao modelo volumétrico mais preciso a escolher, está Dissertação vem confirmar a necessidade de se testar vários modelos para identificar qual melhor se adaptou às condições de sitio. Assim, o presente estudo considerou o modelo volumétrico de Brenac como sendo o que melhor se ajustou aos dados estudados, entre os modelos de simples entrada, quanto aos modelos de dupla entrada, o modelo de Schumacher – Hall foi considerado o que melhor se ajustou.

4.3- COMPARAÇÃO PELO TESTE QUI-QUADRADO E ANÁLISE DE VARIÂNCIA

4.3.1 Validação dos modelos de regressão através do teste Qui-quadrado - (χ^2)

O teste qui-quadrado foi utilizado para fazer as validações das equações selecionadas através das comparações do volume real, com os volumes estimados pelas equações de regressão selecionadas, e da comparação entre os volumes estimados pela equação de Simples Entrada, $V = f(DAP)$, com a de Dupla Entrada, $V = f(DAP;H)$.

Foram feitas as seguintes comparações:

Volume Real X Volume Estimado ($V=f(DAP)$), pelo resultado do teste qui-quadrado ($\chi^2=29,257$) obtém-se $p = 0,7505862$ (bilateral);

Volume Real X Volume Estimado ($V =f(DAP;H)$), foi obtido pelo teste qui-quadrado ($\chi^2=21,539$) uma probabilidade igual a $p = 0,830415$ (bilateral); e

Volume estimado ($V = f(DAP)$) X Volume Estimado ($V = f(DAP;H)$), a probabilidade para o teste qui-quadrado ($\chi^2=14,581$) foi de $p = 0,85275$ (bilateral).

Como pode ser observado pelos resultados as probabilidades encontradas, através da aplicação do teste χ^2 , foram maiores que 0,05, isto é, $p \geq 0,05$, todas as comparações realizadas não apresentaram diferenças significativas entre elas, de forma que o volume estimado pelas equações tanto de Simples Entrada, quanto de Dupla Entrada não se diferenciaram do volume real a uma probabilidade de 95%. As comparações entre os volumes estimados pelas equações de regressão, também não apresentaram diferenças entre si,

demonstrando a viabilidade de sua aplicação para a área estudada, sem prejuízo de precisão em suas estimativas.

4.3.2 Validação dos modelos de regressão através da ANOVA

Também, para comparar os volumes estimados pelas equações selecionadas com os volumes reais, foi utilizado uma Análise de Variância –ANOVA, com três tratamentos, compreendendo os volumes reais e estimados e as classes de diâmetro os blocos.

Tabela 7 – Dados dos volumes reais por classe diamétrica e volumes por classe Estimados pelas equações de simples e dupla entrada

BLOCOS (Classes de diâmetro)	DAP (cm)	H (m)	TRATAMENTOS		
			T ₁ Vol. real	T ₂ V = f (DAP)	T ₃ V = f (DAP,H)
15-25	20	7,0	0.154	0.236567	0.180065
25-35	30	8,8	0.4356	0.720215	0.498828
35-45	40	9,4	0.8272	1.471037	0.945836
45-55	50	11,3	1.55375	2.479786	1.742344
55-65	60	13,2	2.6136	3.737938	2.882619
65-75	70	14,1	3.79995	5.238336	4.17008
75-85	80	15,2	5.3504	6.974988	5.831609
85-95	90	16,8	7.4844	8.942806	8.070932
95-105	100	19,4	10.67	11.1374	11.31192
105-115	110	22,3	14.84065	13.55495	15.47352
115-125	120	25,8	20.4336	16.19205	20.92975
125-135	130	29,7	27.60615	19.04567	27.79252

T₁ = Volume real, obtido pela média dos volumes real das árvores cubadas pelo método de Smalian, em m³;

T₂ = Volume estimado pela Equação: $\log V = 1,140984 + 1,8542 \cdot \log DAP - 0,0942 \cdot (1/DAP)$;

T₃ = Volume estimado pela Equação: $\log V = -0,0571 + 2,026275 \cdot \log DAP + 0,862432 \log H$.

Tabela 8 -Quadro da Análise de Variância -ANOVA

Fonte de Variação	Gl.	SQ	QM	F
BLOCOS (Classes diamétrica)	11	2109,334	191,7576	63,56
TRATAMENTOS (Equações)	2	4,3032	2,1516	0,7132 ^{ns}
RESÍDUO	22	66,3678	3,0167	-
TOTAL	35	2180,005	-	

^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade

Com os dados da Tabela 8, verifique que o valor de F para as Equações é não significante, isso implica dizer que não existe diferença significativa entre os tratamentos, isto é, entre as

equações e o Volume real, sendo esse resultado compatível com os obtidos pelo teste Qui-quadrado.

4.4 FATOR DE FORMA NORMAL

A forma das 265 árvores-amostras foi definida através da média dos fatores de forma normais das árvores, bem como foram determinados os fatores de forma média das espécies que apresentaram maior número de indivíduos amostrados, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Fatores de forma para todas as espécies e para as espécies mais frequentes dentre as árvores amostras, número de indivíduos e seus respectivos desvios padrões.

ESPÉCIES	nº de indiv.	Fator de forma(ff)	Desvio Padrão (s)
Maçaranduba	46	0,71	0,081
Maparajuba	107	0,79	0,206
Cumarú Amarelo/Vermelho	26	0,75	0,109
Jatobá	15	0,71	0,065
Todas as Espécies	265	0,75	0,16

Considerando que o valor do fator de forma igual a 0,7 é considerado como médio para todas as espécies da Amazônia, segundo Heinsdijks & Bastos (1963), observa-se que para as espécies maçaranduba e jatobá, (ff=0,71), esse fator é muito bem representativo, não se podendo considerar o mesmo para as espécies maparajuba e cumarú amarelo/vermelho, os quais são melhor representados pelo fator de forma médio encontrado para todas as espécies da área estudada, que teve valor igual a 0,75. Esse mesmo valor médio foi encontrado por Moura (1994) para 710 árvores da Floresta Nacional do Tapajós.

4.5 EQUAÇÃO DE AFILAMENTO PARA AS ESPÉCIES MAÇARANDUBA E MAPARAJUBA

Na Tabela 9, foram apresentadas as espécies mais abundantes dentre as árvores amostras, levantadas durante a operação de campo. A espécie maçaranduba, (*Manilkara huberi*), e a espécie maparajuba, (*Manilkara bidentata* subsp. *Surinamensis*) com 46 e 107 árvores respectivamente, foram as que apresentaram maior ocorrência dentre as 265 árvores amostradas no campo. Observa-se, também, na mesma tabela, que a espécie maçaranduba apresentou um

desvio padrão, $s=0,081$, para um fator de forma médio, $ff=0,71$, demonstrando a existência de uma variação dos valores do fator de forma de 11,4%, denotando que a espécie apresenta uma certa regularidade definida na forma de seus fustes.

Por outro lado, o mesmo não é observado com a espécie maparajuba, pois para um fator de forma médio igual a 0,79, apresentou um desvio padrão, $s=0,206$, o que demonstra uma grande variação(26%) na ocorrência da forma de seus fustes, indicando a falta de regularidade definida na sua forma razões essas, que levaram a necessidade de se ajustar a equação taper proposta pelo modelo de Kozak para essas duas espécies.

Na Tabela 10, são apresentadas as equações de afilamento ajustadas para as espécies maçaranduba e maparajuba, segundo o modelo proposto por Kozak, Munro, Smith (1969), e suas respectivas medidas de qualidade de ajustes.

Tabela 10 – Equações de afilamento ajustadas para as espécies maçaranduba e maparajuba

Equação <i>Kozak(1969)</i>	Espécies	Coeficientes	F	R ²	Sy/x ₁ x ₂	CV %	DMP %
$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = b_0 + b_1\left(\frac{h}{H}\right) + b_2\left(\frac{h}{H}\right)^2$	Maçaranduba	$b_0=1,0174$ $b_1=-1,0873$ $b_2=0,6534$	819,0	0,767	0,08	11,5	+1,38
	Maparajuba	$b_0=1,1844$ $b_1=-1,3472$ $b_2=0,8358$	283,6	0,35	0,237	29,6	+3,8

Analisando os critérios de qualidade de ajuste das equações de afilamento das espécies maçaranduba e maparajuba apresentadas na Tabela 10, verifica-se que a equação de afilamento para a primeira se ajustou muito bem aos dados, visto que a variável dependente foi explicada em 76,7% pelas variáveis independentes envolvidas no modelo, tendo em média uma variação dos dados observados de 11,47%, dispersos em relação à linha de regressão ajustada. A equação ajustada não apresentou tendenciosidade nas estimativas obtidas, conforme é demonstrado pelo Desvio Médio Porcentual (DMP) encontrado, podendo-se, assim, inferir que, em média, houve

uma superestimação de apenas 1,38% nos valores estimados da variável dependente, isto é, $(d/dap)^2$ e, conseqüentemente, nos valores dos diâmetros, d , em diferentes alturas do fuste.

Por outro lado, a mesma qualidade de ajuste da equação não foi observada para a espécie maparajuba, pois as variáveis independentes envolvidas no modelo, (h/H) e $(h/H)^2$, só conseguiram explicar um percentual muito baixo de 35% da variável dependente, $(d/dap)^2$. A variação dos dados observados, em relação a linha de regressão ajustada foi de aproximadamente 30%. Mesmo apresentando essa baixa qualidade de ajuste, a equação de afilamento para a maparajuba apresentou um Desvio Médio Porcentual –DMP%, da ordem de 3,8%, valor este que pode ser considerado uma superestimativa aceitável da variável dependente.

Desse modo, verifica-se que o modelo proposto por Kozak, não apresenta forte tendenciosidade nas estimativas obtidas. Porém, pode-se inferir que a baixa qualidade do ajuste da equação de afilamento para a espécie maparajuba, foi devido a fatores intrínsecos às próprias características da espécie, no que se refere a forma de seus fustes, isto é, à falta de uma regularidade definida, conforme também foi explicado pela alta variação de 26% encontrada entre os valores do fator de forma das árvores dessa espécie.

Garcia et al (2006) fez um estudo de forma para *Virola surinamensis* (Roll). Warb., através de ajuste de funções de afilamento. Foram testados quatros modelos: Kozak; Munro; Smith (1969), Demaerschalk (1972), Baldwin & Feduccia (1991) e Garay (1979) para estimativas da variável diâmetro comercial, altura comercial e volume. As equações ajustadas foram avaliadas pelos autores por meio dos coeficientes de determinação R^2 , coeficiente de correlação múltipla $\square y\hat{y}$ e análise de resíduos. O modelo de Garay se mostrou mais flexível para descrever as variações da forma da virola e consistente em relação às variáveis diâmetros, altura e volume por isso foram escolhidos para quantificar multiprodutos dessa espécie.

Queiroz et al (2006) ajustaram três modelos não segmentados para cada classe de idade e, também, para o total dos dados da espécie *Mimosa scabrella* Bentham (Bracatinga) em povoamentos da região metropolitana de Curitiba - Paraná, no Sul do Brasil.

Para esse estudo os autores testaram três modelos: Schöepfer (1966), o de Hradetzky (1976) e o de Kozak, Munro e Smith (1969). Os valores dos coeficientes de determinação ajustados (R^2) dos modelos foram respectivamente: (0,92437), (0,92603), (0,91545). Concluíram que o modelo de Hradetzky (1976) foi melhor, tanto para estimativa dos diâmetros

como dos volumes, em quase todas as classes de idade, e o melhor para o conjunto total dos dados.

Esses estudos também evidenciam que funções de afilamento ajustadas para espécies nativas, necessitam de mais estudo devido à variabilidade de forma que os fustes dessas espécies assumem.

4.5.1 Estimativa do diâmetro comercial, d , de um fuste à uma altura, h , definida.

Um dos pontos que muitas vezes a equipe que trabalha na indústria pondera, com certa frequência, com o responsável pelo manejo florestal e colheita das árvores, é a ocorrência freqüente de toras, com diâmetro muitas vezes inferior ao mínimo estipulado pela indústria e pela própria legislação ambiental do IBAMA.

Esse fato, muitas vezes ocorre devido à equipe de campo responsável pela exploração, só levar em consideração para definir o corte de uma determinada árvore, o DAP como diâmetro mínimo de corte, não se importando se as toras do ápice do fuste terão diâmetro muito menores do que o diâmetro mínimo especificado pela indústria. Daí a importância de se determinar equações de afilamento, se não para todas as espécies de interesse comercial, mas, pelo menos, para as mais freqüentes, ou mesmo para as espécies que apresentam valores comerciais pequeno, cujo beneficiamento com diâmetros inferiores a um mínimo estipulado, não seria compensatório.

Abaixo se exemplifica a determinação do valor de um diâmetro, d , com casca, a uma altura, h , definida, em 16 m, em uma árvore de maçaranduba, que tenha um CAP-Circunferência à Altura do Peito igual a 233 cm e uma altura total, H , do fuste igual a 26 m.

Tomando-se como base a equação taper ajustada para a espécie maçaranduba tem:

$$(d/dap)^2 = 1,0174 - 1,0873 (h/H) + 0,6534 (h/H)^2$$

Onde:

$$CAP=233 \text{ cm} \Rightarrow DAP = 74,2 \text{ cm}$$

$$H=26 \text{ m e } h=16 \text{ m}$$

$$d_{16\text{m}} = ?$$

Então, tem-se:

$$d_{16\text{m}} = dap \cdot \sqrt{1,0174 - 1,0873(h/H) + 0,6534(h/H)^2}$$

$$d_{16\text{m}} = 57,2 \text{ cm}$$

Desta forma pode-se, então, calcular os diâmetros, d , a qualquer altura do fuste, e comparar com os dados reais dos diâmetros medidos ao longo do fuste da árvore-amostra de maçaranduba, coletados no campo, conforme é mostrado na Tabela 10.

Tabela 11 – Dados de diâmetros medidos a diferentes alturas do fuste, de uma árvore de maçaranduba, comparados com os diâmetros estimados pela equação taper ajustada pelo modelo de Kozak para a referida espécie.

DAP		H		h (m)													
Árv	cm	m	d	0,3	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Real	74,2	26	d_i	74,8	68,7	67,8	65,2	63,0	60,8	60,2	59,2	58,2	57,3	58,2	54,7	53,8	53,1
Est.			d_i	74,3	71,8	69,0	66,4	64,0	61,8	60,0	58,5	57,2	56,4	55,9	55,7	56,0	56,6

Na tabela 11, pode-se verificar através da comparação dos valores dos d_i a boa precisão das estimativas desses diâmetros a diferentes alturas, realizadas com base na equação taper ajustada para a espécie maçaranduba.

Na Tabela 12, apresenta os dados de cinco árvores com DAP variando de 45 cm a 65 cm, como também, para cada uma das árvores a variação de três valores atribuídos para a variável altura.

Tabela 12 – Simulação do DAP mínimo de corte que proporciona um diâmetro mínimo De 45 cm a uma altura determinada (h_i).

ÁRV	DAP (cm)	H (m)	d_i	h_i												
				0,3	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	45	18	d	44,9	42,8	40,4	38,3	36,6	35,2	34,3	33,8	33,8	34,3	-	-	
			i	9	0	5	8	5	9	6	8	9	7			
		16	d	44,9	42,4	39,9	37,6	35,9	34,6	33,9	33,8	34,3	-	-		
			i	4	9	1	9	2	6	6	6	7				
		14	d	44,8	42,1	39,2	36,8	35,1	34,1	33,8	34,3	-	-	-	-	
			i	7	0	3	7	3	0	4	7					
2	50	20	d	50,0	47,8	45,4	43,3	41,4	39,9	38,7	37,9	37,6	37,6	38,1	-	-
			i	3	3	4	0	4	1	4	6	1	9	9		
		18	d	49,9	47,5	44,9	42,6	40,7	39,2	38,1	37,6	37,6	38,1	-	-	-
			i	9	6	5	5	2	1	8	5	6	9			
		16	d	49,9	47,2	44,3	41,8	39,9	38,5	37,7	37,6	38,1	-	-	-	-
			i	3	1	4	8	1	1	3	3	9				
3	55	22	d	55,0	52,8	50,4	48,2	46,2	44,6	43,2	42,2	41,6	41,3	41,4	42,0	-
			i	7	7	5	5	9	2	6	5	1	5	9	1	
		20	d	55,3	52,6	49,9	47,6	45,5	43,9	42,6	41,7	41,3	41,4	42,0	-	
			i		2	9	3	9	0	1	6	7	5	1		
		18	d	54,9	52,3	49,4	46,9	44,7	43,1	41,9	41,4	41,4	42,0	-	-	
			i	9	1	4	1	9	3	9	1	2	1			
4	60	24	d	60,1	57,9	55,4	53,2	51,1	49,4	47,8	46,6	45,8	45,2	45,1	45,2	45,83
			i	2	0	6	1	8	0	9	9	1	8	0	9	
		22	d	60,0	57,6	55,0	52,6	50,5	48,6	47,2	46,0	45,3	45,1	45,2	45,8	-
			i	8	7	3	3	0	8	0	9	9	1	6	3	
		20	d	60,0	57,4	54,5	51,9	49,7	47,8	46,4	45,5	45,1	45,2	45,8	-	
			i	4	0	3	6	3	9	9	5	3	2	3		
5	65	24	d	65,1	62,7	60,0	57,6	55,4	53,5	51,8	50,5	49,6	49,0	48,8	49,0	49,65
			i	3	3	8	4	4	1	8	8	3	5	6	6	
		22	d	65,0	62,2	59,6	57,0	54,7	52,7	51,1	49,9	49,1	48,8	49,0	49,6	-
			i	9	8	2	2	1	3	3	3	7	7	3	5	
		20	d	65,0	62,1	59,0	56,2	53,8	51,8	50,3	49,3	48,8	48,9	49,6	-	
			i	4	8	8	9	8	8	6	5	9	9	5		

Deste modo, demonstra-se para a espécie maçaranduba, qual o DAP mínimo de corte que proporciona melhor aproveitamento do tronco, isto é, que reduz desperdícios.

Assim na Tabela 12, verifica-se que na árvore 1, com DAP=45 cm em qualquer das alturas (h_i) esperadas, não disponibilizará nenhuma tora com diâmetro mínimo de 45 cm esperado pela indústria. A árvore 2, proporcionará apenas o aproveitamento de uma tora de 4 m de comprimento aproveitável do fuste, que mantém em sua extremidade o diâmetro mínimo desejado, isto é, com 45 cm (com os devidos arredondamentos). Já na árvore 3, diminuem um

pouco o desperdícios, aproveitando uma seção do fuste de 10 m de comprimento. Mas, mesmo assim, o desperdício na indústria no beneficiamento de toras de madeira com os diâmetros dos extremos menores que 45 cm, ainda é muito grande pelas indústrias da região.

As árvores 4 e 5, isto é, com DAP de 60 cm e 65 cm, respectivamente, mantêm o diâmetro mínimo esperado pela indústria de 45 cm, até o final do comprimento do fuste. Desta maneira, com o propósito de garantir o melhor aproveitamento com o menor desperdício do tronco das árvores da espécie maçaranduba é indicado árvores que apresentem um DAP mínimo de 60 cm.

4.5.2 Estimativa da altura comercial, h, do fuste com diâmetro, d, definido

A estimativa da altura comercial pode ser obtida a partir de transformações do modelo de taper proposta por Kozak (1969), onde foi possível chegar a seguinte fórmula:

$$\hat{h} = \frac{-[-1,0873 \cdot H \pm \sqrt{(-1,0873 \cdot H)^2 - 4 \cdot 0,6534 \left(1,0174 \cdot H^2 - \frac{d^2 \cdot H^2}{dap^2}\right)}]}{2 \cdot 0,6534}$$

Tendo-se:

H=26m

d=57,2cm

dap=74,2cm

h_{57,2cm} = ?

Substituindo-se os valores na fórmula acima, tem-se então que: h'=27 m e h''=16 m.

Como se pode observar, a aplicação da fórmula para o cálculo da altura, cujo diâmetro deve ter 57,2 cm, resultou em duas respostas, isto é, h' e h'', sendo apenas o valor de h''=16 m coerente com as dimensões do fuste analisado, que apresentava uma altura total de 26 m.

4.5.3 Estimativa do volume a partir da equação taper da espécie maçaranduba

Com o propósito de apresentar o cálculo de volume do fuste uma árvore a partir de sua equação de afilamento vai-se, também, considerar os mesmos coeficientes encontrados para a equação de afilamento da espécie maçaranduba, substituídos na fórmula a seguir:

$$V = \frac{\pi}{40.000} dap^2 \left[1,0174(h_2 - h_1) + \frac{-1,0873_1}{2 \cdot H} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{0,6534}{3 \cdot H^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$$

Tendo-se:

DAP =74,2 cm

H=26 m

$h_1 = 0,3$ m

$h_2 = 16$ m

Assim, tem-se: $V = 5,1638 \text{ m}^3$

Para se ter uma idéia do nível de precisão da estimativa do volume pela equação de afilamento, esse resultado foi comparado com os valores dos Volumes de fuste estimados pelas equações de volume de Simples e de Dupla Entrada ajustada para a área em estudo, como é visto na Tabela 13.

Tabela 13 – Volumes de uma árvore de maçaranduba, estimados pelas equações de simples e dupla entrada que melhor se ajustaram para a área em estudo.

Equação de Volume	Volume (m^3)
$\log V = 1,081861 + 2,401474 * \log(\text{dap})$	5,897
$\log V = -0,05710 + 2,026275 * \log(\text{dap}) + 0,862432 * \log(H)$	5,1485

dap=0,742m
H=(16-0,3m)=15,7m

V= Volume

log= logaritmo na base 10

Desse modo, verifica-se que a equação taper estima o volume com a mesma precisão obtida pela equação de volume de dupla entrada.

5 CONCLUSÕES

1- As equações de regressão selecionadas atenderam aos critérios estatísticos de qualidade de ajuste e, de praticidade de uso na obtenção dos dados de campo, para ser utilizada na determinação do volume de madeira de árvores em pé, na área de estudo.

2- A equação de Brenac, $\log V = 1,140984 + 1,8542 \cdot \log DAP - 0,0942 \cdot \log H$ de Simples Entrada foi a que melhor explicou a relação entre o volume (m³) e o DAP em metros, da floresta estudada, sendo portanto a equação a ser utilizada para determinação do volume das árvores em pé das florestas da Fazenda do Rio Aru, no Município de Portel (PA), considerando-se os critérios de praticidade de uso na obtenção dos dados de campo.

3. A equação, $\log V = -0,0571 + 2,026275 \cdot \log(dap) + 0,862432 \cdot \log(H)$ de Dupla entrada, proposta por Schumacher-Hall, foi a que melhor explicou a relação entre o volume (m³) e as variáveis DAP em metros e Altura do fuste (H), também em metros, e portanto é indicada o seu uso para os casos em que for possível medir com precisão a variável altura.

4- A aplicabilidade da equação ajustada neste trabalho, está restrita à áreas que apresentem as mesmas características florísticas e ambientais daquela onde foram coletados os dados;

5- A forma das árvores da Fazenda Jutaíca, foi definida pelo Fator de Forma médio para todas as espécies igual a $ff = 0,75$;

6- A Equação de forma ajustada para a espécie Maçaranduba (*Manilkara huberi*), explicou muito bem, a regularidade do afilamento dos fustes das árvores dessa espécie, com um Desvio Médio Porcentual (DMP) apresentando uma superestimativa de +1,38%, quando comparado com os dados de volume real;

7- A Equação de forma ajustada para a espécie Maparajuba (*Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis*) não apresentou a mesma precisão na qualidade do ajuste, quando comparado com a espécie Maçaranduba, mas mesmo assim, apresentou um DMP de +3,8%, o que permite ainda indicar seu uso.

8- Tanto para a Maçaranduba quanto para a espécie Maparajuba, o DAP mínimo de corte é de 60 cm para garantir que a extremidade do fuste apresente um diâmetro de 45 cm.

6 RECOMENDAÇÃO

O estudo desenvolvido com as espécies Maçaranduba (*Manilkara huberi*) e Maparajuba (*Manilkara bidentata* subsp. *surinamensis*) ratificam a importância do desenvolvimento de equações de afilamento para outras espécies comerciais e potencialmente comerciais, haja vista que com DMC = 50 cm, estabelecido na IN-05 IBAMA e IN-07 SECTAM, não garante o aproveitamento integral do fuste comercial para processamento em serraria dessas espécies.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCE, J.E. Obtenção de alturas parciais em árvores com funções de afilamento polinomiais de grau elevado através do método da bisseção. **Revista Ciência Exatas e Naturais**, v. 4, n.1, p. 91-98 jan/jun 2002.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O Setor Florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.16, p. 3 – 30 set. 2002.

BASTOS, N.L.M. Inventário florestal na Cia. Suzano de Papel e Celulose. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL., 2, Piracicaba. 1984. **Anais**. Piracicaba, IPEF, 1984. p. 11-26

BALAAM, L. N. Fundamentals of biometry. New York: John & Sons, 1972

BIGING, G.S. Taper equations for second mixed-conifers of Northean Califórnia. **Forest Science**, v.30, n.4, p.278-283, 1984

BAIMA, A.M.V.; SILVA, S.M.A. .; SILVA, J.N.M. 2001 Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. In: SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; YARED, J.A.G. (Eds). **A silvicultura na Amazônia Oriental: Contribuições do Projeto silvicultura tropical** (Embrapa/DFID). Belém: Embrapa Amazônia Oriental v.2. p.367-392, 2003.

BARROS, P. L. C, de. ; SILVA, J.N.M. Relação entre volume de árvores em pé e volume Francon. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 2002. p. 25-41. (FCAP. Informe Técnico, 28)

BARROS, P.L.C.; RABELLO. J.L.; ROCHA. E. S.; SILVA, J.N.M.; BARROS. A.V.; JUNIOR, A. T. S. Equações de volume de madeira para a área da fazenda Jutaicica, no rio aru, da empresa Amazônia Compensados e Laminados s/a – AMACOL. Belém. 2005. p.28 (Trabalho não publicado).

BALDWIN JR, V.C. ; FEDUCCIA, D.P. Compatible Tree-volume and upper-stem diameter equations for plantation loblolly Pines in the West Gulf region. **South. Journal Applied Forestry**, v.15, n.2, p. 92-97, 1991.

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.

SUDAM. Levantamentos florestais realizados pela missão FAO na Amazônia (1956-1961). Belém: v.2.1974.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Folha SA. 22 Belém**. Rio de Janeiro, 1984. (MME. DNPM. Levantamento de recursos naturais, 5).

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H. G, Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas – Viçosa UFV, 2002. 407p.

COUTO, H.T.Z., do. Equações de volume e peso para estimar Biomassa de Eucalyptus. In: SIMPÓSIO ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL. CONVÊNIO CESP/IPEF. 1983. São Paulo. Relatório Final. São Paulo: CESP, 1983. p.38-58.

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

DRAPER, N.; SMITH, H. Applied regressions analisys. New York. J. Wiley , 1966.

FERNANDES, N.P.; JARDIM, F.C.S.; HIGUCHI, N. Tabelas de volume para a floresta de terra firme da estação experimental de silvicultura tropical. **Acta Amazônica**, v.13, p.537-545,1983.

FINGER, C.A.G Fundamentos de Biometria Florestal. Santa Maria: UFSM/CEPEF – FATEC, 1992, 269p.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J.R.S.; ACERBI Jr, F.W.; 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, 2001.

FIGUEREDO, E.V.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de Tectona grandis L.F. **Acta Amazônica**, v.36, p. 465 – 482. 2006.

FRANCO, E. J.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, A.D. Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de Eucalyptus Camaldulensis. **Cerne**, Lavras, v.3, n.1, p.82-116, 1997

GARCIA, S.L.R.; LEITE, H. G.; YARED, J.A.C. Analise do perfil do tronco de morototó(Didymopanax morototonii) em função do espaçamento. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7; Congresso Florestal Pan-americano, 1., Curitiba, 1993. **Anais ...** Curitiba: SBS, 1993. p. 485-491.

GARCIA, S.L.R ; GAMA, J.R.V; CRUZ, J.P; SOUZA, A.L. Função de afilamento para Virola surinamensis(ROLL.) WARB **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.1, p.99-106, 2006

GARAY, L. **Tropical forest utilization system..** VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Seatlhe: Coll. Forest. Resour., Inst. Forest Prod. Univ. Wash., 1979. 64p.

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

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Arvore**, v.16, n.2, p. 170 -180, 1992.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A.M. Inventários florestais na Amazônia. Rio de Janeiro; Ministério da Agricultura. 1963 100p. (Serviço Florestal. Boletim, 6).

HIGUCHI, N.; RAMM, W. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). **The Commonwealth Forestry Review**, v.64, n.1, 1985. (1).

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abhängigkeiten (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungsprojekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

HUSCH, B.; MILLER, C.J. & BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2ed. New York, Ronald Press, 1971. 410p.

HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T.E. **Forest mensuration**. 3ed. New York: J.Willey & Sons, 1982. 397p.

LOETSCH, F.; ZOEHRER, F. & HALLER, N. E. Forest Inventory. München, BLV Verlagsgesellschaft, 1973. 2v.

LEITE, H. G.; GARCIA, S.L.R. **Pesquisa e desenvolvimentos em inventário, mensurações e manejo florestal na Cenibra**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2001. 49p. (Relatório Técnico, SIF).

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R.. Fatos florestais da Amazônia 2005. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005. p.140

LIMA, D.G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. 1996. p.80 Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

KOZAK. A.; MUNRO, D D.; SMITH, J. G .H. Taper function and their application in forest inventory. **The Forest Chronicle**, v.45, n.4, p. 278 – 283, 1969.

MOURA, J.B. de. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira**. Curitiba: UFPR. 1994. 113p. Dissertação (Mestrado).

MANUAL DE INVENTARIO FLORESTAL com especial referencia a los Bosques mixtos tropicales. Roma: FAO, 1974.

MACHADO, S.A. Tabelas de Volume para Pinus taeda na região de Telêmaco Borba-Pr. Revista Floresta p.29-35. 1979.

MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO, D.J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbastes em plantações de Pinus oocarpa. Revista Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, v.4, n., 2002.

ORMEROD, D.W. A simple bole model. **The Forest Chronicle**, v.49, n.3, p. 136-138, 1973.

PRODAN, M., PETERS, R., COX, F. et al. Mensuração florestal. San José, Costa Rica: IICA, 1997. p.586

PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus grandis*. Revista Arvore, Viçosa. v.1, p.31-54, jan/jun. 1977.

PAULA NETO, F. et alii. Estimativa do volume comercial para *Eucalyptus microcorys* em regime de alto fuste na região de Coronel Fabriciano-MG. Brasil Florestal, v.9,n.34, p.57-61, abr./jul. 1978.

PELLICO NETO, S. Estimativas volumétricas de arvores individuais – síntese teórica. Revista Floresta, Curitiba v.11, n2, p.63-73. 1980

Propuesta para la elaboración de tablas volumétricas y/o factores de forma. Documento Técnico. Santa Cruz, Bolívia: Usaid, 1997. p.15

QUEIROZ, D.; MACHADO, S.A.; FILHO, A.F.; ARCE, J.E.; KOEHLER, H.S. Avaliação e Validação de Funções de Afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamento da região de Curitiba/Pr. Revista Floresta, v.36, n.2, maio/agosto. 2006.

QUEIROZ, W.T. de Técnicas de amostragem em inventario florestal nos trópicos. Belém: FCAP. 1998. p. 147

REIS, M.S Uma definição técnico-política para o aproveitamento racional dos recursos florestais da Amazônia brasileira. In: Congresso florestal brasileiro, 3. 1978, Manaus: IBDF/PRODEPEF, 1978. 21p.

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.

SCOLFORO, J.R. S Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p.

SCOLFORO, J.R.S.; MELO, J.M.M. Crescimento, produção e a distribuição diamétrica de uma floresta estacional semidecídua montana. **Revista Cerne**. Lavras, v.2, n.2. 1994.

SHOEPER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten and Wertberechnung stender Waalbestände Schriftenreihe Bad.** [S.1.]: Wurt-Forstl., 1966.

SILVA, J.A. Seleção de parcelas amostrais aplicadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos em Santa Maria – RS., 1974, 87p. Dissertação(Mestrado em Engenharia Rural) – , Universidade Federal de Santa Maria, 1974

SILVA, J.A.A. da Análise de equações volumétricas para a construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, região e método de regeneração, 1977. 93p (Dissertação-Mestrado-UFV).

SILVA, J.N.M. Metodologia utilizada na construção de tabela de volume. Belém: Embrapa-CPATU, 1988

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

SILVA, J.N.M.; CARVALHO, M.S.P. de. Equação de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós. Belterra. **Boletim de Pesquisa Florestal**. n.8/9, p.1-15, 1984

SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P. de; LOPES, J. do C.A.; CARVALHO, M.S.P. de. Equação de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.8/9. p. 50-63. 1984.

SOARES, T.S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. 2002. 49f. Dissertação(Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SOARES, T.S.; VALE, A.B. do.; LEITE, H.G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**. v.27, n.6,p.811 – 820, 2003.

VEIGA, R.A.A. Uso de Equações de volume em levantamentos florestais. In: SIMPOSIO SOBRE INVENTARIO FLORESTAL, 2,1984, Piracicaba. Anais ...Piracicaba: IPEF, 1984. p. 83 – 102. 1984. p. 93-102.

VEIGA, R.A.A.;BRASIL, M.A.M. Peso de matéria seca e volume de Eucalyptus propingua Deane ex Maiden – equações. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**. São Paulo, v.35,n.2,p.73 – 84, dez.1981.

8 ANEXOS

ANEXO A - Equações de volume determinadas para espécies individuais e para grupos de espécies da floresta amazônica.

ANEXO B – Fichas dendrometria

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$V = 0,6688 + 6,7043 * 10^5 d^2 h - 4,6272 * 10^5 d h^2$		Várias espécies	Floresta secundária	Belterra, Pa	0,18263	-	-	Silva & Carvalho (1984)
	$V = 0,2928 - 0,0191 h + 5,3832 * 10^5 d^2 h$	Vochysia maxima	Floresta secundária	Belterra, Pa	0,08970	-	-	Silva & Carvalho (1984)
$Lnv = -7,7760 + 2,0690 lnd$	-	Várias espécies	Floresta secundária	Belterra, Pa	-	0,25491	-	Silva & Carvalho (1984)
-	$V = 0,7346 + 0,0459 d + 6,3842 * 10^{-5} d^2$	Vochysia maxima	Floresta secundária	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,05741	-	Silva & Carvalho (1984)
$V = -0,0994 + 9,1941 * 10^4 * D^2 (15cm \leq DAP < 45cm)$	-	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,0926	-	Silva & Carvalho (1984)
$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + b_5 h$	$V = -5,678999 + 0227827d - 0,0018771d^2 - 0,022028dh + 0,000241d^2h + 0,586443h$	Pouteria sp e Syzygiopsis sp	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,523	-	Moura (1994)
$V = b_0 d^{b1} h^{b3} e^{(b2 \ln 2d + b4 \ln 2h)}$	$V = 0,0003403 d^{2250947908} h^{0,93392991} e^{(-0,06476951 \ln 2d + 0,03270777 \ln 2h)}$	Carapa Guianensis Aubl	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,420	-	Moura (1994)
$V = b_0 d^{b1} h^{b2}$	$V = 0,00014814 d^{1,95961890} h^{0,74765853}$	Carapa Guianensis Aubl	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,420	-	Moura (1994)
$V = b_0 d^{b1} h^{b3} e^{(b2 \ln 2d + b4 \ln 2h)}$	$V = 0,00001717 d^{2,71331968} h^{1,21895822} e^{(-0,0809136 \ln 2d + 0,03270777 \ln 2h)}$	Carapa Guianensis Aubl	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,426	-	Moura (1994)

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h$	$V = 27,679229 - 0,895191d - 0,55029671d^2 + 0,40991dh - 1,000278d^2h - 1,279273h$	Holopyxidium Jarana Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,760	-	Moura (1994)
$V = b_0d^{b_1}h^{b_3}e^{(b_2\ln 2d + b_4\ln 2h)}$	$V = 0,00005366d^{2,58136997}h^{0,97835709}e^{(0,06713122\ln 2d + 0,10265650\ln 2h)}$	Hymenenaea Corbaril L.	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	1,256	-	Moura (1994)
$V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h + b_5h$	$V = 11,6731 - 0,390299d + 0,003487d^2 + 0,027142dh - 0,000178d^2h - 0,813541h$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,936	-	Moura (1994)
$V = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3dh + b_4d^2h$	$V = -8,37632 + 0,206202d - 0,00987d^2 + 0,002885dh - 7,165396E-6d^2h$	Sclerolobium Chysophyllum P. et	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,463	-	Moura (1994)
$V = b_0d^{b_1}h^{b_2}$	$V = 0,00008073d^{2,11188534}h^{0,73148519}$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,282	-	Moura (1994)
$V = 0,000116774d^{1,97542836}h^{0,79634846}$	$V = b_0d^{b_1}h^{b_2}$	Varias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	-	0,633	-	Moura (1994)
		SIMPLES ENTRADA						
$\ln V = b_0 + b_1\ln d$	$\ln V_{cc} = 7,58355 + 2,14919\ln d$	Carapa Guianensis Aubl	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,704503	-	16	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1\ln d$	$\ln V_{sc} = -7,91241 + 2,21255\ln d$	Carapa Guianensis Aubl	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,657727	-	18	Silva et al. (1984)

Continua

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{cc} = - 6,43080 + 1,8787 \ln d$	Pouteria sp e Syzygiopsis sp	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,825458	-	16	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{sc} = - 6,70150 + 1,91522 \ln d$	Pouteria sp e Syzygiopsis s	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,766943	-	16	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{cc} = - 6,83062 + 2,07904 \ln d$	Hymenenaea Corbaril L.	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,505440	-	4,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{sc} = - 6,84288 + 2,06065 \ln d$	Hymenenaea Corbaril L.	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,368400	-	5,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{cc} = - 1,46254 + 0,05932d - 0,00019d^2$	Holopyxidium Jarana Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,014120	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 1,69570 + 0,06143d - 0,00020d^2$	Holopyxidium Jarana Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,897510	-	10	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{cc} = - 6,36922 + 1,89702 \ln d$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,625655	-	13	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{sc} = - 6,44596 + 1,8276 \ln d$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,569521	-	13	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{cc} = - 12,17500 + 3,62778 \ln d - 0,02294d$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,119140	-	13	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 11,84970 + 3,50818 \ln d - 0,02142d$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,039620	-	14	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d$	$\ln V_{cc} = - 6,36296 + 1,90014 \ln d$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	1,182970	-	11	Silva et al. (1984)

Continua ...

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{cc} = - 8,25861 + 1,89762 \ln d + 0,62461 \ln h$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,418899	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 8,25786 + 1,89334 \ln d + 0,59900 \ln h$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,381315	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\ln v = b_0 + b_1 \ln(d^2 h)$	$\ln V_{cc} = - 7,9264 + 0,84181 \ln(d^2 h)$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,567287	-	7,0	Silva et al. (1984)
$\ln v = b_0 + b_1 \ln(d^2 h)$	$\ln V_{sc} = - 7,98398 + 0,84010 \ln(d^2 h)$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,526970	-	7,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 7,92437 + 1,80022 \ln d + 0,66289 \ln h$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,930616	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 8,29726 + 1,86398 \ln d + 0,65538 \ln h$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,734623	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\ln V_{cc} = 8,86102 + 1,93181 \ln d + 0,78683 \ln h$		Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,629423	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V_{sc} = - 8,97064 + 1,97011 \ln d + 0,73835 \ln h$		Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,575978	-	9,0	Silva et al. (1984)
$V_{cc} = 3,291706 d^{2,1571579} h^{0,42020427}$	$V = ad^b h^c$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,046326	-		Fernandes et al (1982)

Continua...

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{cc} = - 8,25861 + 1,89762 \ln d + 0,62461 \ln h$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,418899	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 8,25786 + 1,89334 \ln d + 0,59900 \ln h$	Virola melinonii A. C. Smith	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,381315	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\ln v = b_0 + b_1 \ln(d^2h)$	$\ln V_{cc} = - 7,9264 + 0,84181 \ln(d^2h)$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,567287	-	7,0	Silva et al. (1984)
$\ln v = b_0 + b_1 \ln(d^2h)$	$\ln V_{sc} = - 7,98398 + 0,84010 \ln(d^2h)$	Táxi vermelho	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,526970	-	7,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = - 7,92437 + 1,80022 \ln d + 0,66289 \ln h$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,930616	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h$	$\ln V_{sc} = 8,29726 + 1,86398 \ln d + 0,65538 \ln h$	Manilkara huberi Ducke	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,734623	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\ln V_{cc} = - 8,86102 + 1,93181 \ln d + 0,78683 \ln h$		Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,629423	-	8,0	Silva et al. (1984)
$\ln V_{sc} = - 8,97064 + 1,97011 \ln d + 0,73835 \ln h$		Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santarém, Pa	0,575978	-	9,0	Silva et al. (1984)
$\log V_{cc} = - 3,32954061 + 2,29209121 \log d - 1,049105 \log h$		Várias espécie	Floresta tropical Úmida de t. firme	Linhares, ES	-	-	-	Heindisjk Et al. (1965)
$\log V_{sc} = 3,953574779 + 2,021673370 \log(d) + 0,726484573 \log(h)$		Várias espécie	Floresta tropical Úmida de t. firme	Linhares, ES	-	-	-	Heindisjk Et al. (1965)
$V_{cc} = 3,291706 d^{2,1571579} h^{0,42020427}$	$V = ad^b h^c$	Várias espécie	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,046326	-	-	Fernandes et al (1982)

Continua

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S _{yx}	CV	Autores
$V_{sc} = 1,7500d^{2,1000}h^{0,6410}$	$V = a^d b h^c$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,0442	-	-	Fernandes et al (1982)
$\log V_{cc} = 0,0417316 + 2,041126\log 10^d + 0,764771\log 10^h$	$V = dap^b \cdot h$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Flona de Saracá Tacuera Oriximina, Pa	-	-	-	Queiroz & Barros (1998)
$\log V_{sc} = 0,0748563 + 2,0807 \log 10^d + 0,71389\log 10^h$	$V = dap^b \cdot h$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Flona de Saracá Tacuera Oriximina, Pa	-	-	-	Queiroz & Barros (1998)
$V = 0,07746 + 0,51789d^2h$		Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Planalto do Tapajós Santrém, Pa				Queiroz (1984)
$\ln V = -3,89724 + 2,15151\ln d + 0,574151\ln h$ (5cm ≤ Dap < 45cm)	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h + \ln e$	Várias espécies	Floresta secundária	Tapajós Belterra, Pa	-	-	5,6	Yared (1996)
$\ln V = -8,86102 + 1,93181\ln d + 0,78683\ln h$ (DAP ≥ 45cm)	$\ln V = b_0 + b_1 \ln d + b_2 \ln h + \ln e$	Várias espécies	Floresta secundária	Tapajós Belterra, Pa	-	-	8,0	Yared (1996)
$\log V = 0,072 + 2,096\log d + 0,836\log h$	$\log V = b_0 + b_1 \log d + B_2 \log h$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,094	-	-	Higuchi & Ram (1985)
$\log V = 2,074\log d + 0,889\log h$	$\log V = b_1 \log d + b_2 \log h$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,094	-	-	Higuchi & Ram (1985)
$\log V = -0,164 + 1,009\log d^2h$	$\log V = b_0 + b_1 \log d^2h$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,097	-	-	Higuchi & Ram (1985)

Equação Geral	Equação/Espécie	Espécie	Tipologia Florestal	Local/região	Índice de Furnival	S_{yx}	CV	Autores
$V/d^2h = - 0,008/d^2h + 0,707$	$V/d^2h = b_0/d^2h + b_1$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Estação Silvicultura Tropical INPA Manaus, AM	0,130	-	-	Higuchi & Ram (1985)
			SIMPLES ENTRADA					
$\text{Ln}V_{cc} = - 7,49337 + 2,086952\text{ln}d$	$\text{Ln}V = b_0 + b_1\text{ln}d$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Reserva Embrapa Moju, Pa	0,9093	-	21,7	Baima et al (2003)
$\text{Ln}V_{sc} = - 7,528167 + 2,083964\text{ln}d$	$\text{Ln}V = b_0 + b_1\text{ln}d$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Reserva Embrapa Moju, Pa	0,8888-	-	22,0	Baima et al (2003)
			DUPLA ENTRADA					
$\text{Ln}V_{cc} = - 8,703585 + 0,891852\text{ln}d2h$	$\text{Ln}V = b_0 + b_1\text{ln}(d^2h)$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Reserva Embrapa Moju, Pa	0,6607	-	15,8	Baima et al (2003)
$\text{Ln}V_{sc} = - 8,727495 + 0,889832 \text{ln}d^2h$	$\text{Ln}V = b_0 + b_1\text{ln}(d^2h)$	Várias espécies	Floresta tropical Úmida de t. firme	Reserva Embrapa Moju, Pa	0,6592	-	16,7	Baima et al (2003)

Fonte: Baima et al.

