



UFAM

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO-SENSU EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS-PPGCIFA**

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA REGIÃO SUL DO ESTADO DO
AMAZONAS**

Érico Fernando Trevisan

Manaus - AM

2018



ÉRICO FERNANDO TREVISAN

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA REGIÃO SUL DO ESTADO DO
AMAZONAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Professor Dr. Joaquim dos Santos

Co-orientador: Professor Dr. Alberto Carlos Martins Pinto

Manaus - AM

2018



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e
Ambientais - PPGCIFA



PARECER
Defesa nº 204

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando **ÉRICO FERNANDO TREVISAN**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada **“EQUAÇÕES DE VOLUME PARA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS”** é de parecer favorável à APROVAÇÃO do mestrando habilitando-o ao título de Mestre *“Magister Scientiae”* em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.

Doutor Joaquim dos Santos
Pesquisador(a) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA
Presidente

Doutor Diego Ribeiro de Aguiar
Pesquisador(a) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA
Primeiro (a) Examinador (a)

Doutor Nabor da Silveira Pio
Professor(a) da Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Segundo (a) Examinador (a)



Manaus, 03 de setembro de 2018.

Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

T814e Trevisan, Érico Fernando
Equações de volume para região sul do Estado do Amazonas /
Érico Fernando Trevisan. 2018
54 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Joaquim dos Santos
Coorientador: Alberto Carlos Martins Pinto
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Desmatamento. 2. Manejo Florestal . 3. Fator de Forma. 4.
Sustentabilidade. 5. Alometria. I. Santos, Joaquim dos II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

À minha querida filha Evelyn, especialmente aos meus pais
Edgar Rodrigues Trevisan e Vera Lúcia Sampaio Trevisan.
Pelos ensinamentos e exemplos a mim compartilhados.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela vida, saúde e forças para lutar e vencer os obstáculos da vida;

À Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais e Florestais - PPGCIFA pela oportunidade de realizar este mestrado;

À Capes, por dois anos de bolsa que contribuíram na condução da pesquisa;

Ao Dr. Joaquim dos Santos, pela orientação, paciência e compreensão disposta em minha jornada de mestrando.

Ao Dr. Alberto Carlos Martins Pinto, pela co-orientação, sugestões e acolhimento no Laboratório de Exploração Florestal da UFAM – LEF/UFAM.

Ao Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – LMF/INPA, em especial aos pesquisadores Dr. Niro Higuchi e Adriano Lima, pelo respeito, apoio científico e intelectual.

Ao Sr. Edinaldo H. Batista – Detentor do PMFS por autorizar a coleta dos dados e a empresa Trevisan Florestal, especialmente aos Senhores Victor Hugo; Márcio Abreu, Attos, Fábio Farias e Elifran Luna, pelo empenho e dedicação durante a coleta de campo;

Aos amigos de turma 100, pela amizade, união e parceria: Conceição Vargas, Danielly Araújo, Helender Ueno, Giovanni Monteiro, Júlio Falcão, Kellyson Reis, Marcelo Teles, Márcio Abreu, Susane Carvalho e em especial a Nadiele Pacheco;

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

RESUMO

A exploração madeireira em regime de manejo florestal sustentável tem colaborado com o desenvolvimento econômico da região. Entretanto, ainda há uma necessidade de maior domínio sobre a quantificação produtiva da floresta. Atualmente, o volume comercial é obtido por meio de modelo que tem como fundamento a multiplicação do volume do cilindro pelo fator de forma médio igual a 0,7. Dentro desse contexto, seis modelos de regressão, sendo três de simples entrada e três de dupla entrada, foram testados com o objetivo de selecionar o melhor modelo para estimar o volume de árvores comerciais em pé numa área de manejo florestal sustentável (MFS) licenciada no município de Novo Aripuanã-AM, Sul do estado do Amazonas. Uma cubagem rigorosa (*Smalian*) de 361 árvores-amostras de 15 espécies e diâmetros variando entre 50 – 186 cm foram utilizados para desenvolver equações de volume. Para a seleção do melhor modelo foram usados os critérios de seleção estatísticos, $Syx(\%)$, $R^2_{ajustado}$, Incerteza (%), Critério de Informação de Akaike (*AIC*), seguindo o ranking sugerido por Bartoszeck (2000). Entre os modelos de simples entrada o modelo de Kopezky e Gehrhardt $V = 0,8643 * 0,0007 * DAP^2$ ($R^2_{aj.} = 0,82$) apresentou melhores resultados no ranking de seleção, e entre os modelos de dupla entrada o modelo de Meyer $V = 7,3035 + (-0,1045 * DAP) + 0,0004 * DAP^2 + 0,0145 * (DAP * Hc) + 0,0000 * (DAP^2 * H) + (-0,7813 * Hc)$ ($R^2_{aj.} = 0,88$) foi o que melhor se ajustou. Um grupo de 38 árvores-amostra foram utilizadas para validar através da estatística do *Qui-quadrado* (X^2), os volumes estimados pelos modelos volumétricos que melhor se ajustaram ao volume observado na cubagem. A forma das árvores foi definida como o fator de forma médio para todas as espécies amostradas ($\bar{ff} = 0,68$). Com o uso do fator de forma 0,7 proposto por Heinsdijk, superestima o cálculo da volumetria da Floresta Ombrófila Densa de Dossel Emergente da região Sul do município de Novo Aripuanã-AM, o que mostra importância de ajuste de modelos volumétricos locais para melhorar a precisão da estimativa do volume de madeira em pé e consequente liberação de créditos virtuais no Sistema-DOF. Os resultados mostram ser possível a aplicação deste modelo em determinações de volume de árvores em pé na região Sul do Estado do Amazonas.

Palavras-chave: Desmatamento, Manejo Florestal, Fator de Forma, Sustentabilidade e Alometria.

ABSTRACT

Logging under sustainable forest management has contributed to the economic development of the region. However, there is still a need for greater control over the productive quantification of the forest. Currently, the commercial volume is obtained by means of a model that is based on the multiplication of the cylinder volume by the average form factor of 0.7. Within this context, six regression models, three of which were single entry and three double entry, were tested with the objective of selecting the best model to estimate the volume of standing commercial trees in a sustainable forest management (SFM) area licensed in the municipality of Novo Aripuanã-AM, south of the state of Amazonas. A rigorous (Smalian) cubing of 361 tree-samples of 15 species and diameters ranging from 50-186 cm were used to develop volume equations. For the selection of the best model we used the statistical selection criteria, Syx (%), R^2 adjusted, Uncertainty (%), Akaike Information Criterion (AIC), following the ranking suggested by Bartoszeck 2000). Among the simple input models the model of Kopecky and Gehrhardt $V = 0.8643 * 0.0007 * DAP^2$ ($R^2_{aj.} = 0.82$) presented better results in the selection ranking, and among the models of double entry the Meyer model $V = 7.3035 + (-0.1045 * DAP) + 0.0004 * DAP^2 + 0.0145 * (DAP * Hc) + 0.0000 * (DAP^2 * H) + (-0.7813 * Hc)$ ($R^2 = 0.88$) was the best fit. A group of 38 sample trees were used to validate through the Chi-square statistic (X^2) the volumes estimated by the volumetric models that best fit the volume observed in the cubing. The shape of the trees was defined as the mean shape factor for all species sampled ($\bar{ff} = 0.68$). With the use of the form factor 0.7 proposed by Heinsdijk, it overestimates the calculation of the volumetry of the Emerging Canopy Dense Ombrophyllous Forest of the southern region of the municipality of Novo Aripuanã-AM, which shows the importance of adjusting local volumetric models to improve the accuracy of the estimation of the volume of standing timber and consequent release of virtual credits in the DOF System. The results show that it is possible to apply this model to determinations of the volume of standing trees in the southern region of the State of Amazonas.

Keywords: Deforestation, Forest Management, Form Factor, Sustainability e Allometry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
FIGURA 2: ESQUEMA DA COLETA DE DADOS PARA O CÁLCULO DO VOLUME OBSERVADO, COM BASE NA METODOLOGIA DE SMALIAN E HOHENADL. (AUTOR, 2018).	24
FIGURA 3: PROCESSO DE MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO (M) E DIÂMETRO (CM).	25
FIGURA 4: GRÁFICO DE FREQUÊNCIA ABSOLUTA DAS ÁRVORES-AMOSTRAS POR CLASSE DE DAP (CM), SUBDIVIDAS CONFORME SUA UTILIZAÇÃO.	33
FIGURA 5:RELAÇÃO ENTRE A VARIÁVEL DEPENDENTE E A VARIÁVEL INDEPENDENTE (VOLUME VS. DAP); VOLUME VS. Hc; VOLUME VS. DAP ² .Hc E DAP VS. Hc.	37
FIGURA 6:GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS DOS MODELOS TESTADOS.	39
FIGURA 7: GRÁFICO DEMONSTRATIVO DO GANHO VOLUMÉTRICO A CADA METRO ACRESCIDO NA ALTURA COMERCIAL, OS VOLUMES OBTIDOS PELA FÓRMULA QUE UTILIZA O FATOR DE FORMA MÉDIO (0,7).	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR DE VOLUME COMERCIAL POR MEIO DO DAP E Hc.....	26
TABELA 2: FAMÍLIA, ESPÉCIE E N°. DE ÁRVORES-AMOSTRAS UTILIZADAS NOS AJUSTES E VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	32
TABELA 3: MÉDIA (\bar{x}), DESVIO PADRÃO (s), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV EM %) E VALORES EXTREMOS PARA O CONJUNTO DE ÁRVORES-AMOSTRAS (N = 361).	33
TABELA 4: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS AJUSTES DOS MODELOS DE DUPLA E SIMPLES ENTRADA DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL.	36
TABELA 5: COMPARAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO ENTRE OUTROS ESTUDOS.....	36
TABELA 6: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON PARA OS PARES DE VARIÁVEIS TESTADOS.	38
TABELA 7: ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE REGRESSÃO PARA OS MODELOS AJUSTADOS. .	41

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 FLORESTA AMAZÔNICA.....	16
2.2 MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL	17
2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE VOLUME.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 GEOLOGIA.....	22
3.3 GEOMORFOLOGIA E ALTITUDE.....	23
3.4 SOLOS.....	23
3.5 HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA	23
3.6 VEGETAÇÃO.....	23
3.7 COLETA DE DADOS	24
3.8 SELEÇÃO DOS MODELOS.....	25
3.9 VALIDAÇÃO DO MODELO SELECIONADO	29
3.10 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA	30
3.11 ANÁLISE DOS DADOS.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA	32
4.2 AJUSTES E SELEÇÃO DOS MODELOS	34
4.3 VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE REGRESSÃO ATRAVÉS DO TESTE QUI-QUADRADO (x ²)	42
4.4 COMPARAÇÃO COM O MODELO QUE UTILIZA O FATOR DE FORMA MÉDIO	43
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INTRODUÇÃO

A Amazônia engloba nove países da América do Sul, abriga o maior banco genético do planeta e detém um terço das reservas de florestas tropicais úmidas. Apresenta alta diversidade de espécies (MYERS et al., 2000) e grande quantidade de biomassa. Toda essa riqueza faz com que o Brasil seja o país com a maior extensão de floresta tropical contínua e o segundo com maior cobertura florestal do mundo (FAO, 2010). Com 524 milhões de hectares de floresta, dos quais, 55% são de florestas públicas (FAO, 2010). De posse deste patrimônio o governo adota políticas públicas que promovem a utilização dos recursos naturais por meio de princípios técnicos, econômicos e sociais (SFB, 2011).

Todavia, a ineficiência técnica do poder público aliado aos interesses privados, possibilitam a conversão da floresta para uso alternativo do solo de forma desordenada, promovendo a supressão vegetal e queima da biomassa. Dados do 3º Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, 2016, mostram que o desmatamento colabora com os altos índices de emissões e também com os incêndios florestais (Alencar et al. 2006, Alencar et al. 2011). Entretanto, no período de 2004 a 2014 o desmatamento teve redução nas taxas de desmatamento da Amazônia brasileira. Porém, em 2015 e 2016 o panorama foi alterado, com aumento em 2015 de 43% no desmatamento em relação ao ano de 2009, subindo para 54% no ano subsequente (INPE, 2017).

A construção de um cenário positivo e duradouro para redução das taxas de desmatamento está relacionada a um modelo de desenvolvimento econômico que também dependa das florestas em pé. Assim, não somente as ações de comando e controle, mas, principalmente, a garantia da sustentabilidade das atividades econômicas há longo prazo é que deverão garantir as extensas áreas de florestas nativas e viabilizar a diminuição do desmatamento na Amazônia. Pois, nitidamente o setor de florestas nativas não acompanhou o desenvolvimento tecnológico disponível para o setor de florestas plantadas, que apresentam altos índices de produção. Problemas como o acesso aos recursos florestais, empresas de baixa tecnologia, falta de regularização fundiária, desestruturação da cadeia produtiva, mão-de-obra não especializada e as dificuldades de acesso ao crédito ainda são recorrentes (VERÍSSIMO et al.,

2014).

Para que o setor florestal de nativas possa ter, de fato, um papel relevante na economia do país, políticas assertivas e estruturantes são necessárias. Um passo importante em direção a este cenário originou-se no Código Florestal (Lei No 4.771/65), e uma variedade de decretos e atos administrativos, e embora este, tenha estabelecido que as florestas nativas só poderiam ser exploradas por meio do manejo florestal, sua regulamentação ocorreu quase 30 anos depois. Contudo, a adoção do manejo florestal é uma prática relativamente recente na Amazônia, apesar do desenvolvimento do sistema para a produção madeireira no Brasil, ter iniciado a cerca de 30 anos (HIGUCHI, 2005).

Com a implementação do manejo florestal sustentável (MFS), tornou-se necessário o uso das equações volumétricas para estimação do volume comercial da madeira, que é de fundamental importância para o planejamento da exploração florestal (HIGUCHI ET AL., 1997; BAIMA ET AL., 2001; SEGURA E KANNINEN, 2005). Para o desenvolvimento e aplicação das equações volumétricas é necessário a realização do inventário florestal, nele são colhidas as medidas de Circunferência a Altura do Peito - CAP (cm) e altura comercial estimada (Hc). Estas medidas, CAP e Hc, são informações fundamentais para determinação do volume comercial, comumente obtido pela equação de volume com uso do fator de forma ($ff=0,7$) (SEGURA E KANNINEN, 2005).

A determinação de volume comercial com uso do fator de forma está prevista nas resoluções (Resolução CONAMA n° 406/2009; CEMAAM n° 017/2013) sobre exploração florestal madeireira. Ainda que seja uma obrigação legal o desenvolvimento de equação volumétrica para as áreas de manejo florestal que possuem duas ou mais Unidade de Produção Florestal – UPF. Esta obrigação, se dá para a exploração da Segunda UPF. Porém, 99% dos manejos florestais se desenvolvem em pequenas e médias propriedades, com UPF única. Sendo toda a produção licenciada, quantificada pela equação com uso do fator de forma médio. Contudo, não se encontra na literatura estudos sobre métodos de cubagem e ajustamento de equações volumétricas desenvolvidas para a região sul do estado do Amazonas, responsável por mais de 70% da produção de madeira licenciada no ano de 2017, tendo como principal produtor o município de Novo Aripuanã-AM, com aproximadamente 44% do volume autorizado (IPAAM, 2017).

A hipótese para este trabalho é que equações de regressão de simples entrada atende aos preceitos legais para estimativa do volume explorável em áreas de manejo florestal. De posse dos dados da cubagem rigorosa foram ajustadas equações volumétricas com diferentes variáveis independentes para posterior comparação com os volumes obtidos com o modelo que utiliza o fator de forma médio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver equações de volume para região Sul do Estado do Amazonas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Gerar equações de volume de simples e dupla entrada.

Validar as equações pelo método Qui-quadrado;

Comparar o volume estimado pelas equações com a equação que utiliza o fator de forma médio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FLORESTA AMAZÔNICA

Na Amazônia brasileira, a riqueza natural salta aos olhos pela dimensão e, principalmente, pela diversidade de paisagens. São florestas densas e abertas, integradas a mosaicos de diferentes ecossistemas – várzeas, matas de igapó, campos alagados, savanas e refúgios montanhosos. Lá estão localizados vastos estoques de madeira comercial e carbono, “mercadoria” estratégica na luta contra as mudanças climáticas.

Os principais ambientes que compõem as formações florestais na Amazônia estão relacionados a um gradiente de distância dos corpos d’água, associado à posição no relevo e topografia. De forma geral, os ambientes florestais são divididos em “terra-firme” e “várzea” ou “igapó”, em que a primeira se aplica às florestas que não são sazonalmente inundadas pela cheia dos rios, se diferenciando, assim, das várzeas ou igapós (RIBEIRO et al., 1999). De acordo com os mesmos autores, as formações florestais amazônicas podem ser divididas ainda quanto às características dos solos e relevos, refletindo em florística e em estrutura específicas para cada situação: platô, vertente, campinarana e baixio, em ordem decrescente de elevação. Relacionando as classificações citadas, as florestas de terra-firme equivalem às formações de platô e vertente, enquanto as florestas de várzea ou igapós correspondem à formação de baixio, e a campinarana, a uma região de transição.

A região florística Amazônica, é composta principalmente pelas formações Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Sempre Verde e Campinarana, é caracterizada por apresentar vegetação com predomínio de famílias de dispersão pantropical, como Sapotaceae, Fabaceae, Lecythidaceae, Vochysiaceae, Caricaceae e Humiriaceae. Dentre os elementos florísticos típicos desse Bioma, destacam-se as espécies florestais de interesse comercial como: a castanheira (*Bertholletia excelsea* Bonpl.), o pau-rosa (*Aniba roseodora* Ducke), a copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), o mogno (*Swietenia macrophylla* King), os angelins (*Dinizia excelsea* Ducke, *Zygia racemosa* (Ducke) Barneby e J. W. Grimes, *Andira surinamensis* (Bondt) Spligt. ex Amshoff, *Hymenolobium petraeum* Ducke, *H.*

modestum Ducke, *H.excelsum* Ducke), a maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev.), a andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), o cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl) Willd.), a cerejeira (*Amburana acreana* (Ducke) A. C. Sm., os jatobás (*Hymenaea courbaril* L., *H. intermedia* Ducke), os ipês (*Handroanthus serratifolius* (Vahl.) S. Grose, *H. incanus* (A. H. Gentry) S. Grose) e a itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meisn.)

2.2 MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

Manejo Florestal é parte da ciência que aborda princípios referentes à produção madeireira continuada, conforme o sistema utilizado e as normas que o regulamentam (HIGUCHI, 1994). O Manejo Florestal teve início no Brasil com a publicação da Instrução Normativa nº 80 de 24 de setembro de 1991, que trazia em seu bojo ações objetivas sobre regulação e manutenção da floresta. A partir da Instrução Normativa do Ministério do Meio Ambiente nº 004, de 4/2/2002, o censo das árvores passou a ser requerido e o Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) passou a contemplar as modalidades: manejo empresarial, manejo em pequena escala, comunitário ou cooperativo e em florestas de palmeiras (AZEVEDO, 2006). A Instrução Normativa nº 5 de 11/12/2006 trouxe os regulamentos atuais para atividade, como diâmetro mínimo de corte, incremento médio anual para a floresta manejada, Intensidade de corte, etc.

O novo Código Florestal, lei nº 12.651 de 25/05/2012, trouxe normas que visam além dos componentes florestais, o uso e ocupação da terra, bem como adequação e regularização das propriedades rurais para a sua plena produção. Nesta lei o conceito de manejo sustentável foi apresentado como: administração da vegetação natural para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras ou não, de múltiplos produtos e subprodutos da flora, bem como a utilização de outros bens e serviços.

Nos últimos anos, houve aumento considerável no número de áreas de produção de madeira exploradas legalmente e com certificação florestal na área da Amazônia. Aparentemente, o alto valor da madeira serrada de espécies tropicais tem levado ao aumento pela demanda por Planos de Manejo Florestal

Sustentável na Amazônia (CUNHA, 2013). Diante da elevada diversidade e complexidade estrutural das formações tropicais, a predição precisa da produção florestal se torna imprescindível para a implementação das atividades de manejo florestal sustentável.

2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE VOLUME

O volume de madeira é item fundamental para o setor florestal, pois, é com base nesta informação que as decisões são tomadas. Para obter o volume de madeira de uma árvore, você precisa realizar o inventário florestal de uma determinada parcela da floresta. De posse dos dados e com equações confiáveis poderá usá-las para estimar o volume de árvores em pé (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2014). Contudo, a forma do tronco é fator que influencia diretamente na obtenção do volume (SPURR, 1952; SOARES et al., 2011; CAMPOS e LEITE, 2013; BATISTA et al., 2014).

Segundo Batista et al., 2014, a definição de volume de madeira se dá de diferentes formas, diretamente relacionadas com seu uso. Considerando os métodos para obtenção do volume real das árvores, os mais precisos envolvem técnicas destrutivas, como o abatimento e o seccionamento dos seus componentes. Para Husch et al., (1972), Batista et al., (2014), há duas possíveis técnicas para determinação do volume do fuste de árvores, sendo a medição direta (cubagem rigorosa) e a medição indireta.

2.3.1 Método Direto

A principal vantagem do método direto é a determinação do volume real. Em contrapartida, a sua principal desvantagem é o alto custo e a demanda de um tempo maior para a mensuração. Dentre os principais métodos diretos, destacam-se: o princípio do xilômetro, volume de Francon (ou 4º reduzido) e a cubagem rigorosa (CAMPOS; LEITE, 2013).

Soares et al. (2006), explicam que as principais formas de realizar a cubagem rigorosa são separadas em dois grupos, conforme a divisão das seções do fuste: método absoluto (Newton, Huber e Smalian) e pelo método relativo (Hohenadl). O método de Smalian é bastante utilizado em áreas de

plantios florestais (SCHWENGBER et al., 2006; MACHADO, 2008; SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Contudo alguns trabalhos na região Amazônica vêm utilizando a combinação dos métodos de Smalian e Hohenadl, em função da sua praticidade no momento da tabulação dos dados e sua precisão (LIMA, 2010; GIMENEZ, et al., 2015).

2.3.2 Método Indireto

A principal vantagem de utilizar métodos indiretos é a redução do custo e do tempo para a coleta em campo (SOARES et al., 2006). Existem basicamente três métodos para estimar o volume comercial de árvores individuais de forma indireta, que são: os fatores de forma, função de afilamento e os modelos volumétricos (SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015).

O fator de forma é obtido pela razão entre o volume do fuste da árvore e o volume de um cilindro de igual altura e diâmetro mensurado (SOARES et al., 2006; CAMPOS; LEITE, 2013). Estes mesmos autores, explicam que o fator de forma médio é obtido pela razão entre o somatório do fator de forma pelo número de árvores mensuradas. Segundo Figueiredo et al. (2009), este método pode fornecer estimativas confiáveis, somente se for controlado a tipologia florestal, espécie, idade do plantio e a classe diamétrica. Estes mesmos autores recomendam ainda utilizar o fator de forma apenas na situação em que não se tem informação sobre a forma da árvore ou quando for necessária rapidez no trabalho de inventário. Em acréscimo, Campos e Leite (2013), alertam que estes fatores não são indicados para florestas inequiâneas, devido à alta heterogeneidade das espécies, portanto são aconselhados apenas para áreas pequenas e homogêneas.

Atualmente o método indireto mais utilizado para gerar estimativas de volume de árvores em pé são as equações volumétricas, obtidas a partir de análises de regressão (MULLER et al., 2014; CORDEIRO et al., 2015; GIMENEZ et al., 2015; MIRANDA et al., 2015). A principal vantagem de utilizar este recurso é o conhecimento da incerteza associada a equação (HIGUCHI, 2009). Sendo que, reportar a incerteza associada à média é mais importante que reportar a própria média (IPCC, 2006). As equações, em comparação aos fatores de forma médios possuem menores erros, resultando em estimativas de volume total de

povoamentos florestais com menores intervalos de confiança (SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Contudo estes mesmos autores afirmam que tanto as equações volumétricas quanto os fatores de forma podem gerar estimativas precisas de volume em povoamentos florestais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa está situada no município de Novo Aripuanã, no estado do Amazonas, que faz fronteira com os municípios de Apuí, Borba, Manicoré e o Estado do Mato Grosso. Está distante 227 Km em linha reta de Manaus, capital do estado, com área total de 41.187,694 Km² (IBGE, 2014).

A área do estudo possui 1.084,00 ha, subdividida em 1.015,00 ha de Área de Manejo Florestal – AMF, 964,36 ha de Unidade de Produção Florestal – UPF e 896,55 ha de Área de Efetiva Exploração Florestal – AEEF. Com volume autorizado para exploração de 22.400,43 m³ de madeira em toras, representados por 3.409 indivíduos, com Intensidade de Exploração de 24,99 m³/ha, sob Licença de Operação n°. 266/17, emitida em 22 de Setembro de 2017 e validade para 02 (dois) anos, nas coordenadas geográficas de 5°14'25" S e 60°22'0,9" W (Figura 1).

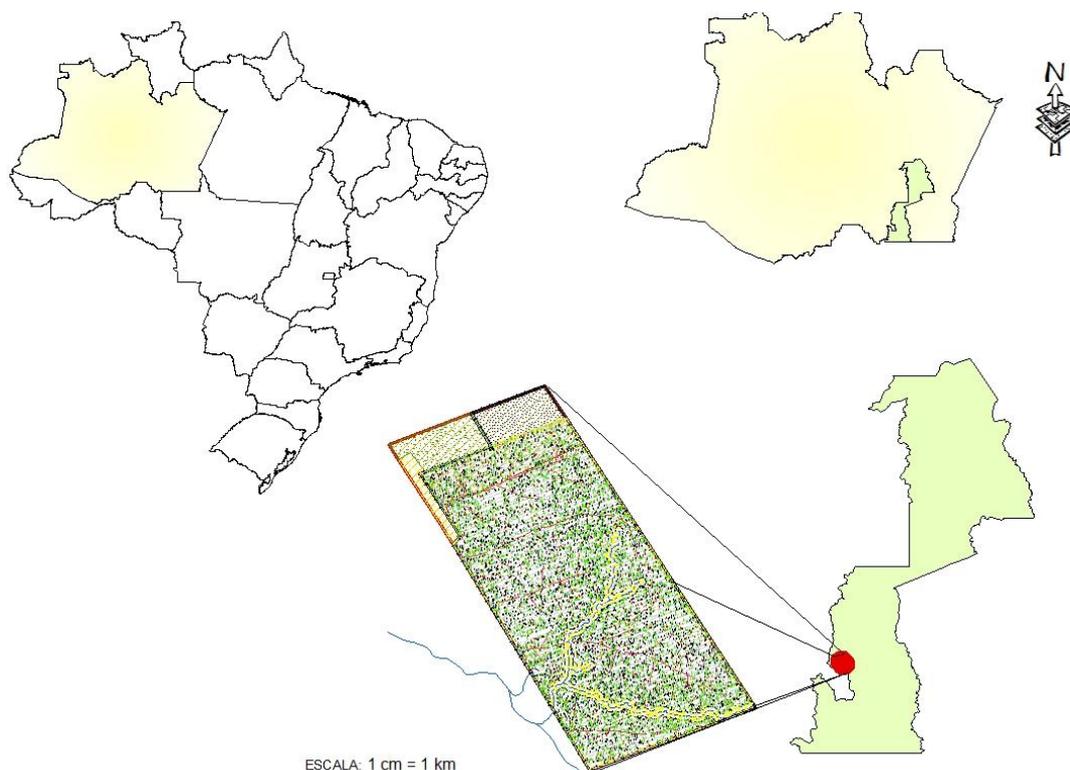


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo

O município de Novo Aripuanã está inserido na mesorregião do Madeira,

a qual é constituída por cinco municípios: Apuí, Borba, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã. Juntos, representam aproximadamente 14,07% da área total do estado do Amazonas (SILVA et al., 2010).

Segundo Alvares et al. (2014), que construiu um mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil com base em dados de precipitação e temperatura de 2.950 estações meteorológicas, definiu que o clima da região de estudo é do tipo Af (Equatorial Úmido), com temperatura média de 26,7 °C e precipitação de 2.420 mm e o mês mais seco em Agosto com 80 mm de chuvas.

3.2 GEOLOGIA

A mesorregião do Madeira apresentam as formações geológicas do tipo Aluviões Holocênicos, Terraços Holocênicos, Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica, Grupo Beneficente, Suite Intrusiva Teles Pires, Complexo Nova Monte Verde, Formação Roosevelt, Suite Intrusiva Canamã, Complexo Jamari, Formação Prosperança, Formação Alter do Chão, Suite Intrusiva Serra da Providência, Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, Formação Prainha, Grupo Iriri, Grupo Jatuarana, Formação Içá, Formação Palmeiral, Suite Intrusiva Rondônia, Formação Colider, Formação Parauriti, Formação Solimões, Suite Intrusiva Ciriquiqui e Suite Intrusiva Crepori (SILVA et al., 2010; IBGE, 2014).

Segundo Silva et al. (2010) o município de Novo Aripuanã apresenta como principais tipos de formações geológica as:

- Formações de Aluviões Holocêntricos: que são formações recentes, lacustre constituído de cascalho, areia, silte e argila;
- Formações Içá: que é o produto da sedimentação pleistocênica, coberta por depósitos eólicos;
- Formações Alter do chão: que é uma sequência Cretácea que corresponde aos depósitos fluviais, preservados em função ao levantamento tectônico andino ou a formação de montanhas na região;
- Formações Detrito-Laterítica: é associada à origem pós-cretácica, com ocorrências conglomeráticas basais, recobertas por camadas de arenitos, argelitos, que compõem mantos de intemperismo profundos com latossolos vermelhos.

3.3 GEOMORFOLOGIA E ALTITUDE

A região do Madeira apresenta cerca de 12 unidades geomorfológicas distribuídas nos 5 municípios da região (IBGE, 2014). No município de Novo Aripuanã as tipologias geomorfológicas mais predominantes são: Planície Amazônica, Depressão do Madeira-Canumã e Depressão Roosevelt-Aripuanã (SILVA et al., 2010).

As altitudes dos relevos presentes na região do Madeira variam de 20 a 150 metros de altitude acima do nível do mar. O município de Novo Aripuanã está a uma altitude de 20 metros acima do nível do mar, o mais baixo dos cinco municípios que compõe a região do Madeira (SEGOV, 2014; CNM, 2010).

3.4 SOLOS

De acordo com IBGE (2014), a região do Madeira é formada principalmente por Latossolos e Argissolos. Contudo, também são encontrados solos do tipo Gleissolo, Espodossolo, Aluvial, Litótico, Planossolo, Plintossolo, Areia Quartzosa, Petroplínico, Hidromórficos Indiscriminados, Cambissolo e Afloramento de Rochas.

No município de Novo Aripuanã a maior predominância é de Latossolos Amarelos. Solos classificados como minerais profundos e muito intemperizados, com um horizonte B bem característico, ácidos, pobres em nutrientes e apresentando elevado teor de alumínio trocável (SILVA et al., 2010).

3.5 HIDROGRAFIA E HIDROLOGIA

Segundo o IBGE (2014) a região do Madeira é formada por diversos rios. O rio Aripuanã que é um dos principais rios da região do Madeira, que junto com seus afluentes cobre uma vasta área de floresta e de várzea e é a principal forma de transporte, fonte de renda e abastecimento da d'água a diversas populações do município de Novo Aripuanã (SILVA et al., 2010).

3.6 VEGETAÇÃO

A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa de Dossel

Emergente. Outra formação que apresenta ocupação significativa na região é a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas de Dossel Emergente. O restante é ocupado pela Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com Palmeiras (SILVA et al., 2010).

3.7 COLETA DE DADOS

Os dados utilizados neste documento foram obtidos em uma área de exploração florestal em regime de manejo de maior impacto. Dentre as 3.409 árvores, distribuídas em 22 espécies comerciais, 20 gêneros, 11 famílias, com volume estimado pelo método que utiliza o fator de forma (0,7) em 22.400,43m³ de madeira em toras licenciados para corte. Foram coletadas medidas dendrométricas como diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), diâmetro das 10 seções ao longo do fuste e comprimento comercial do fuste das árvores-amostra.

Todas as árvores foram identificadas por nomenclatura comercial, por identificador certificado pelo órgão licenciador. A nomenclatura botânica foi adotada conforme aplicabilidade no Sistema-DOF - de acordo com o Banco de Dados do IBAMA.

O volume resultante da cubagem rigorosa se deu por meio da determinação do volume individual dos fustes. Os volumes observados foram obtidos por meio da combinação dos métodos de *Smalian* (medição do diâmetro da base e do topo de cada seção) e *Hohenadl* (divisão relativa do comprimento da seção).

$$\text{Comprimento da seção} = \frac{Hc}{10} = \frac{15,0}{10} = 1,5 \text{ m cada seção.}$$

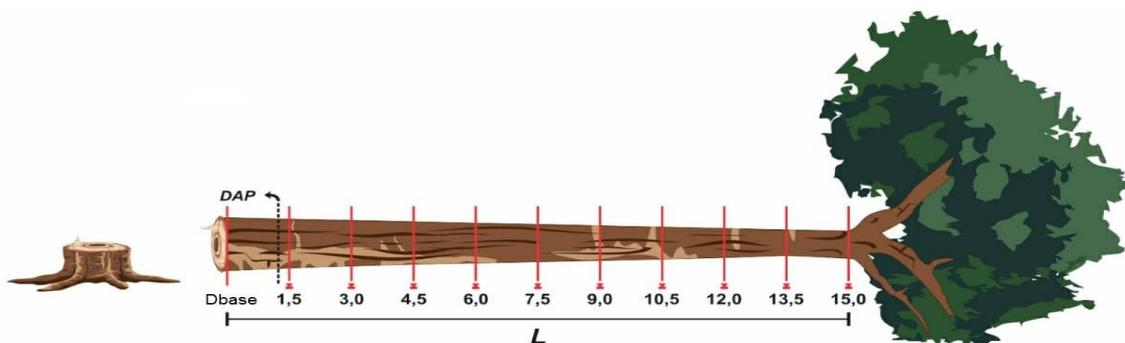


Figura 2: Esquema da coleta de dados para o cálculo do volume observado, com base na metodologia de Smalian e Hohenadl. (Autor, 2018).

A aquisição das medidas paramétricas para obtenção do volume se deu

com da utilização de trena métrica estendida sobre o fuste comercial ligando a base ao topo, após identificação do comprimento da tora em metros, procedeu-se a divisão em 10 partes (seções) iguais. Em seguida definiu-se o comprimento das seções, realizou-se a medição de diâmetro com o auxílio de uma Suta graduada em centímetros. (Figura 3).



Figura 3: Processo de medição do comprimento (m) e diâmetro (cm).

Após a coleta, digitação e tratamento dos dados em uma planilha eletrônica do Excel. Em seguida, calculou-se o volume dos fustes mensurados por meio da expressão matemática abaixo e pela figura 02.

$$V_{observado} = \left[\left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{40.000} + \frac{\pi \cdot D_2^2}{40.000} \right) \right] * L + \left[\left(\frac{\pi \cdot D_3^2}{40.000} + \frac{\pi \cdot D_4^2}{40.000} \right) \right] * L + \dots + \left[\left(\frac{\pi \cdot D_n^2}{40.000} + \frac{\pi \cdot D_n^2}{40.000} \right) \right]$$

Onde, D_1^2 é o diâmetro ao quadrado em cm da seção 1; D_2^2 é o diâmetro ao quadrado em cm da seção 2; D_3^2 é o diâmetro ao quadrado em cm da seção 3; D_4^2 é o diâmetro ao quadrado em cm da seção 4; D_n^2 é o diâmetro ao quadrado em cm da seção n e L é o comprimento da seção em metros.

3.8 SELEÇÃO DOS MODELOS

Após a mensuração e cubagem as toras comerciais, utilizou-se da análise de regressão para testar 06 (seis) modelos clássicos de volumetria comercial e selecionar o modelo que melhor representa os dados analisados. Os modelos testados foram selecionados por dotarem de ampla aceitação e presença em estudos de modelagem florestal, porém poucas vezes aplicados em projetos de manejo na região. (SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Gimenez

et al. (2015), fez uso dos modelos, visando ajustar equações de volume das principais madeiras comerciais de uma região de floresta nativa no estado de Roraima. Os modelos selecionados estão classificados em simples e duplas entrada, sugeridos por Loetsch et al., (1973) e Campos & Leite (2013). Ficou definido com variável dependente o volume observado, enquanto que o DAP e a Altura comercial (Hc) = comprimento da tora, foram as variáveis independentes adotadas para ajuste dos diferentes modelos de regressão testados.

Tabela 1: Modelos testados para estimar de volume comercial por meio do DAP e Hc.

Nº	Modelo	Autor
1	$V = \beta_0 \times D^{\beta_1} \times H^{\beta_2}$	SCHUMACHER-HALL
2	$V = \beta_0 + \beta_1 \times (D^2 \times H)$	SPURR
3	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D + \beta_2 \times D^2 + \beta_3 \times (D \times H) + \beta_4 (D^2 \times H) + \beta_5 H$	MEYER
4	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D$	BERKHOUT
5	$V = \beta_0 \times D^{\beta_1}$	HUSCH
6	$V = \beta_0 + \beta_1 \times D^2$	KOPEZKY e GEHRHARDT

Nota: V = Volume observado (m^3); D = Diâmetro a Altura do Peito - DAP (cm), em centímetros; H = comprimento de cada tora (m); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes da equação;

Buscando identificar a existência de associação linear entre as duas variáveis quantitativas, foi empregado o teste denominado *Correlação de Pearson*. Uma baixa correlação entre as variáveis independentes é uma premissa da estatística para o uso da técnica de regressão (HOEL, 1981; MAGNUSSON e MOURÃO, 2003; MONTGOMERY e RUNGER, 2009). Seguindo este princípio, o teste *Correlação de Pearson* foi utilizado como parâmetro de validação para os modelos de dupla entrada.

Para a seleção do melhor modelo, foi utilizada inicialmente a Análise de Variância da regressão, com o objetivo de testar a existência de regressão entre as variáveis dependente e independente a um nível de significância de 0,05% (SOARES et al., 2011a). Após esta etapa, foram calculadas as medidas de precisão do ajustamento: Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{ajustado}$), o Erro Padrão da Estimativa em porcentagem ($Syx(\%)$), Incerteza (%) e o Critério de Informação de Akaike (AIC), seguindo o ranking sugerido por Bartoszeck (2000), buscando avaliar a contribuição de cada variável para o modelo, foi aplicado um teste de significância dos coeficientes de cada modelo (Valor-p). Na

etapa seguinte, foi realizada a análise gráfica dos resíduos em forma percentual (SILVA; PAULA NETO, 1979; SOARES et al., 2011a).

O coeficiente de determinação indica a variabilidade total da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes, por meio da equação de regressão ajustada (DRAPPER e SMITH, 1998). Esse coeficiente varia no intervalo de 0 a 1, sendo a variável dependente melhor explicada quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 (HIRAMATSU, 2008). Para comparação de modelos, cujo número de coeficientes ou variáveis é diferente, usualmente utiliza-se o coeficiente de determinação ajustado que pondera o R^2 pelos graus de liberdade da regressão (GOMES e GARCIA, 1993; MOURA, 1994; HIRAMATSU, 2008). Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos testados

$$R_{aj.}^2 = 1 - \left[(1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right) \right] \quad \text{Coeficiente de Determinação Ajustado}$$

Considerando:

$R^2_{ajustado}$ = Coeficiente de Determinação Ajustado em função do número de coeficientes de cada modelo;

R^2 = coeficiente de determinação;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes do respectivo modelo;

Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj});

O erro padrão da estimativa é uma medida de precisão que indica o erro médio associado ao uso de uma equação, representado o quão próximo os valores estimados estão dos observados e, assim, quanto menor o for o seu valor maior será a acuidade da estimativa pela equação, podendo ainda ser calculado em termos absolutos ou relativos (MOURA, 1994; HIRAMATSU, 2008).

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad \text{Erro Padrão da Estimativa Relativo}$$

Sendo:

$S_{yx}(\%)$ = Erro Padrão da Estimativa em porcentagem;

S_{yx} = Erro Padrão da Estimativa;

\bar{Y} = valor médio da variável dependente.

A incerteza pode ser definida como a falta de conhecimento acerca do valor real de uma variável dentro uma função de densidade de probabilidade (IPCC, 2006). A incerteza também pode ser traduzida como o intervalo de confiança (Lima, 2010) e depende da qualidade e quantidade de dados utilizados, bem como o conhecimento dos processos e métodos de inferência (IPCC, 2006). Neste trabalho os valores de incerteza calculados pela expressão abaixo, foram expressos em porcentagem.

$$\text{Incerteza } (\%) = \left(\frac{z^* \left(\frac{S_{yx}}{\sqrt{n}} \right)}{\bar{v}_{(obs)}} \right) * 100 \quad \text{Incerteza}$$

O Critério de Informação de Akaike (AIC) demonstra a distância geral relativa entre o modelo gerado e o modelo real, sendo, portanto, melhor quanto menor for seu valor (VISMARA, 2009). O AIC foi obtido através da seguinte equação (VISMARA, 2009):

$$\text{AIC} = -2 \ln (mv) + 2 p \quad \text{Akaike}$$

Sendo:

mv = valor de máxima verossimilhança apresentada pelo modelo;

p = número de parâmetros do modelo.

A análise gráfica dos resíduos, obtidos em função da diferença entre os valores da variável observada e da estimada, que possibilita a identificação de problemas como a heterocedasticidade de variâncias, mesmo em casos onde a equação demonstre ser precisa (SOARES et al., 2011a). Além disso, permite a detecção de tendências resultantes do uso do modelo, como subestimações ou superestimações. O mesmo foi calculado de forma porcentual, de acordo com a seguinte equação:

$$Res\% = \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i} \right) \cdot 100$$

Resíduos relativos

Sendo:

$Res(\%)$ = Resíduo porcentual;

y_i = Valor estimado;

\hat{y}_i = Valor observado.

3.9 VALIDAÇÃO DO MODELO SELECIONADO

Diversos autores recomendam que em processos de ajuste e seleção de modelos volumétricos para espécies arbóreas, seja dada importância para etapa de validação da equação selecionada, por meio da separação de uma amostra independente de árvores cubadas (PRODAN, 1997; MACHADO et al., 2008a).

Para a validação, estima-se o volume da amostra independente, por meio da equação selecionada, e compara-se com o volume real obtido na cubagem. Para isso, pode ser aplicado o erro padrão da estimativa e o teste de aderência *Qui-quadrado*, estabelecendo um nível de confiança para verificar a existência de diferenças significativas entre os valores reais e estimados (MACHADO et al, 2008a; MACHADO et al., 2008b).

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}$$

Qui-quadrado calculado

Sendo:

y_i = Valor estimado;

\hat{y}_i = Valor observado.

É importante destacar que após o ajuste da equação de regressão, realizou-se o controle da validação e da qualidade das estimativas feitas pela mesma, visando ter maior confiança nas previsões.

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 38 árvores-amostras 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.

3.10 DETERMINAÇÃO DO FATOR DE FORMA

Segundo Finger (1992), fator de forma é um fator que reduz o volume do cilindro formado pela área transversal e altura, para o volume verdade representado através do sólido de revolução, pode este fator ser calculado por diversos métodos. De acordo com Silva e Paula Neto (1979), o fator de forma normal ($f_{1,30}$) pode ser obtido através da relação entre o volume observado da árvore e o volume calculado, considerando a forma de um cilindro (multiplicação da área basal obtida com o DAP, e altura). A equação utilizada pode ser resumida da seguinte maneira (SOARES et al., 2011a):

$$f_{1,30} = \frac{\Sigma V_{(i)observado}}{\Sigma V_{(i)cilindro}} \quad \text{Fator de Forma}$$

Sendo:

$\Sigma V_{(i)observado}$ = é o somatório do volume observado da i-ésima árvore obtido pela fórmula de Smalian em m³;

$\Sigma V_{(i)cilindro}$ = é o somatório do volume da i-ésima árvore obtido pela fórmula do volume do cilindro ($\pi \times \text{DAP}^2/4 \times H_c$) em m³;

$f_{1,30}$ = é o fator de forma calculado.

Com base no fator de forma foi possível realizar estimativas dos volumes de árvores individuais sem necessidade de cubá-las. No intuito de se avaliar a eficiência do uso do fator de forma em relação as estimativas geradas com o uso do modelo de simples entrada que apresentou o melhor resultado, foram realizadas uma análise de variância de fator único, testando se há diferenças significativas entre o volume real, o volume estimado pelo modelo, e o volume estimado através do uso do fator de forma (adaptado de JORGE, 1982; SOUZA; JESUS, 1991; e SCOLFORO et al., 1994).

3.11 ANÁLISE DOS DADOS

Após a tabulação das informações de campo em planilha Excel 2013, procedeu-se a determinação do volume real, diâmetro e altura comercial das árvores-amostras, gerando uma matriz com todas as variáveis necessárias. As quais foram utilizadas no processamento realizado com auxílio do software RStudio, versão 3.5.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva das 361 árvores-amostras coletadas de uma área de manejo florestal sustentável (MFS) em processo de exploração madeireira na região Sul do estado do Amazonas, distribuídas em 9 famílias, 15 gêneros e espécies, conforme tabela que segue:

Tabela 2: Família, espécie e nº. de árvores-amostras utilizadas nos ajustes e validação dos modelos.

Família	Espécie	Nº. Amostra
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	8
Bignoniaceae	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols.	5
Chrysobalanaceae	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch.	33
Combretaceae	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	19
	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	2
	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	34
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	73
Fabaceae	<i>Eperua oleifera</i> Ducke	17
	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	9
	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	73
	<i>Vatairea sericea</i> Ducke.	7
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	42
Lecythidaceae	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	33
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	4
Vochysiaceae	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	2
Total Geral		361

Observa-se na Tabela 3, que as variações em torno da média (CV%) são altas, principalmente do 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 Diâmetro a Altura do Peito (DAP) e Altura comercial (Hc).

Tabela 3: Média (\bar{x}), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV em %) e valores extremos para o conjunto de árvores-amostras (n = 361).

Variável	DAP (cm)	Hc (m)	Vol. (m ³)
Média	80,74	17,33	6,37
Desvio Padrão (s)	29,37	2,83	5,52
CV (%)	34,66	16,33	86,69
Mínimo	50,50	9,60	1,65
Máximo	186,00	29,90	53,06

Nota-se uma grande variação no DAP (50,5 a 186,0 cm) e Volume (1,65 a 53,06m³), resultando num elevado valor do coeficiente de variação, sendo de 34,7 e 86,7% respectivamente. Higuchi et al. (1998) usando um banco de dados com 315 árvores de DAP > 5 cm coletadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST), Manaus, para estimar biomassa de árvores em pé, observaram alta variabilidade nas variáveis descritoras: DAP, altura total e peso total, CV em %: 96, 45 e 290 respectivamente.

Por outro lado, essa alta variação observada, pode ser estar relacionado ao fato das árvores-amostra apresentar concentração em três classes de diâmetro, especialmente, as classes 65 e 75 cm (Figura 5), influenciando no valor da média. Contudo, esta pequena concentração das árvores-amostra nas classes intermediárias, não afetou o resultado dos ajustes.

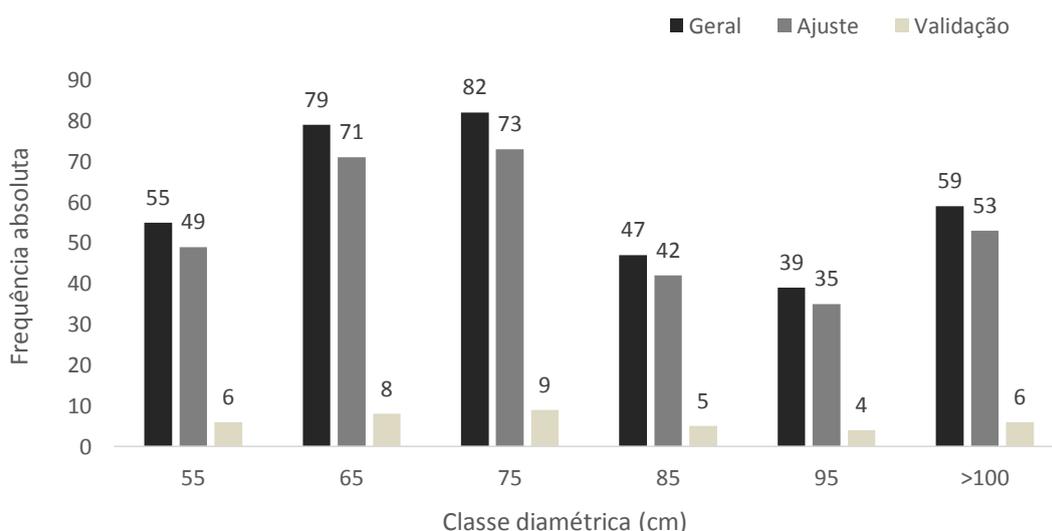


Figura 4: Gráfico de frequência absoluta das árvores-amostras por classe de DAP (cm), subdivididas conforme sua utilização.

4.2 AJUSTES E SELEÇÃO DOS MODELOS

Todos os modelos testados geraram equações altamente significativas. Critério como o coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$), erro padrão médio da estimativa ($Syx\%$) e distribuição dos resíduos. A facilidade de obtenção das variáveis independentes, a diminuição de erros não amostrais e tempo também foram utilizados na escolha.

Baima et al. (2001) atribuíram o melhor ajuste das equações de dupla entrada ao fato do diâmetro e da altura (comercial e total) estarem altamente correlacionados com volume, onde as equações de dupla entrada desenvolvidas para a floresta de terra firme em Moju, PA, estimaram melhor o volume. Silva et al. (1984), na Floresta Nacional de Tapajós, obtiveram melhor ajuste para as modelos de dupla entrada, tendo com a equação de Schumacher-Hall logaritmizada os melhores indicadores de qualidade, maior coeficiente de determinação, menor erro padrão da estimativa e boa distribuição dos resíduos.

O que se tem observado, é que os modelos de dupla entrada apresentaram resultados estatísticos melhores aos de simples entrada, com menores valores de $Syx\%$ e os maiores de $R^2_{aj.}$ A melhoria dos ajustes com a inserção da variável altura é citada por diversos autores que trabalharam com estimativas volumétricas na Amazônia, Silva et al. (1984), Rolim et al. (2006), Thaines et al. (2010), Barreto et al. (2014) e Tonini, Borges (2015) e Lima (2010).

Contudo, novo fator tem sido atribuído para escolha do melhor modelo, utilizando simplesmente os resultados estatísticos para definição do modelo que melhor explica os dados, porém, estão sendo cautelosos em apontar como melhor modelo simplesmente por esses resultados. Pois, modelos com resultados semelhantes e de simples entrada, se tornam uma ótima alternativa para estimação de volume considerando o nível de variação legal aceitável.

Após obtenção de todos os indicadores estatísticos de seleção, foi aplicado um método de ranqueamento para classificação do melhor modelo com bases nos critérios estatísticos. Este método consiste em elencar em uma ordem classificatória conforme os resultados obtidos pelo ajuste do modelo, após a classificação ordinária dos critérios observados, foi realizado o somatório dos valores elencados para cada modelo, onde o modelo que alcance o menor valor no "Rank" é que detém as melhores estatísticas de seleção. Mesmo no critério

de informação de Akaike e Índice de Schlaegel os resultados apresentaram baixas variações. Dentre os modelos de dupla entrada testados para a estimativa do volume comercial, o de modelo de Meyer alcançou as melhores estatísticas de ajuste e maior precisão nas estimativas, com erro inferior a 30%, e R^2_{aj} . Igual 0,88 e incerteza de 1,66.

No mais, foi possível observar que a presença de coeficiente desse modelo estatisticamente não significativa, sugerindo a existência de problemas com multicolinearidade. O indício mais claro da multicolinearidade são os elevados valores de R^2_{aj} , seguidos de coeficientes de regressão não significativos estatisticamente (VALENTE et al., 2011), sendo a maior consequência, os elevados erros de estimativa (GUJARATI, 2000). A ocorrência de multicolinearidade é corriqueiro em modelos com muitas variáveis, como o de Meyer (BATISTA et al., 2004). Algumas recomendações são indicadas para se resolver tal problema, tais como: a exclusão de variáveis independentes que dão origem aos coeficientes não significativos (HAIR et al., 2005).

Considerando os modelos de simples entrada, o Modelo 5 e 6 foram os mais apropriados, apresentando maior aderência aos dados e as estimativas mais precisas com erro de 38,69% e 37,63%, R^2_{aj} de 0,87 e 0,82, respectivamente. Analisando a eficácia desses modelos, diversos autores citam o de Husch como o mais eficaz (GUIMENEZ et al., 2015; BARRETO et al., 2014; ROLIM et al., 2006).

Embora as equações de Dupla Entrada, tendem a ajustes estatísticos melhores do que as equações de Simples Entrada já referidas, estas apresentam as dificuldades e o custo inerentes a 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 arvores em pé, em geral feita somente por avaliação visual.

Ao avaliar a influência do erro nas estimativas de altura na precisão de equações de volume, Guimenez et al. (2015) indicaram a utilização do modelo de simples entrada de Husch, mesmo com os melhores ajustes dos modelos de dupla entrada.

Tabela 4: Coeficientes e estatísticas dos ajustes dos modelos de dupla e simples entrada de equações volumétricas testados para a estimativa do volume comercial.

Nº. Modelo		Coeficientes	R ² aj.	C	Syx%	C	Incert (%)	C	AIC	C	Rank
1	β_0	0,0002***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	1,9428***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_2	0,4947***	0,8857	2	40,72	6	2,26	6	1,93	6	31
2	β_0	2,2539***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	0,0000***	0,8116	5	38,51	3	2,14	3	1,81	3	20
3	β_0	7,3035*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	-0,1045.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_2	0,0004*	0,8869	1	29,84	1	1,66	1	1,32	1	11
	β_3	0,0145**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_4	0,0000*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_5	-0,7813**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	β_0	-8,0715***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	0,1706***	0,8033	6	39,35	5	2,19	5	1,86	5	30
5	β_0	0,0009***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	1,9582***	0,8702	3	38,69	4	2,15	4	1,82	4	20
6	β_0	-0,5320***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	β_1	0,0009***	0,8201	4	37,63	2	2,09	2	1,77	2	14

Em que: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 = coeficientes da regressão a serem estimados; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; R_{aj}^2 = Coeficiente de Determinação Ajustado; Incert.(%) = Incerteza (%); AIC = Critério de Informação de Akaike; P = valor referente à classificação de cada modelos no critério avaliado; e Rank. = Somatório da classificação dos critérios de seleção. Em negrito os modelos em destaque.

A Tabela 6, compara as estatísticas de ajustes e precisão entre outros estudos desenvolvidos na Amazônia Brasileira, demonstra os estudos com elevado número de amostras e sortimento de espécies tendem a elevar o erro amostral e reduzir os valores de R_{aj}^2 , inferiores a 0,9 e de Syx% superiores a 30%. Esses resultados são compatíveis com os resultados encontrados neste trabalho (Tabela 6). Tais tendência sugerem a necessidade de adoção de banco de dados consistentes e numerosos para construção de equações de volume que consigam englobar as variações existentes nas formas de fustes comerciais.

Tabela 5: Comparação das estatísticas de ajuste e precisão entre outros estudos.

Autor	Local	Amplitude		Árvores	Espécies		
		Syx%	R ² aj.				
Moura, 1994	Tapajós – PA	12,08	36,05	0,68	0,96	710	68
Barreto et al., 2004	Anapú – PA	12,91	34,76	0,79	0,96	132	25
Rolim et al., 2006	Tapirapé-Aquirí – PA	4,64	56,24	0,82	0,99	55	-
Hiramatsu, 2008	Jari – PA	32,07	40,24	0,69	0,81	16099	25
Colpini et al., 2009	Cotriguaçu – MT	18,75	30,34	0,92	0,97	91	48
Thaines et al., 2010	Lábrea – AM	7,76	19,92	0,82	0,92	141	15

Autor	Local	Amplitude				Árvores	Espécies
		Syx%		R ² aj.			
Ramos, 2012	Itacoatiara – AM	21,23	34,73	0,76	0,91	268	38
Tonini e Borges, 2015	Caracarái – RR	10,05	19,78	0,79	0,98	122	18
Guimenez et al., 2015	Rorainópolis – RR	17,11	21,97	0,88	0,96	54	-
Cysneiro, 2016	Jamari – RO	35,68	41,47	0,61	0,72	5150	32
Este Estudo	Novo Aripuanã - AM	29,84	40,72	0,8	0,88	361	15

Fonte: Adaptado de Cysneiro, 2016. Em que: Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; e R²aj. = coeficiente de determinação ajustado.

Entretanto, para a escolha do melhor modelo ainda são necessárias algumas considerações sobre a realidade da atividade madeireira da região, além das avaliações adicionais. Magnusson e Mourão, 2003, destacam a importância da interpretação gráfica das relações entre as variáveis. Ascombe, 1973, destaca a existência de inúmeros exemplos gráficos com estatísticas descritivas semelhantes, porém, não refletem as influencias biológicas. Com isso, foram gerados gráficos de regressão entre a variável dependente e as variáveis independentes (Figura 5).

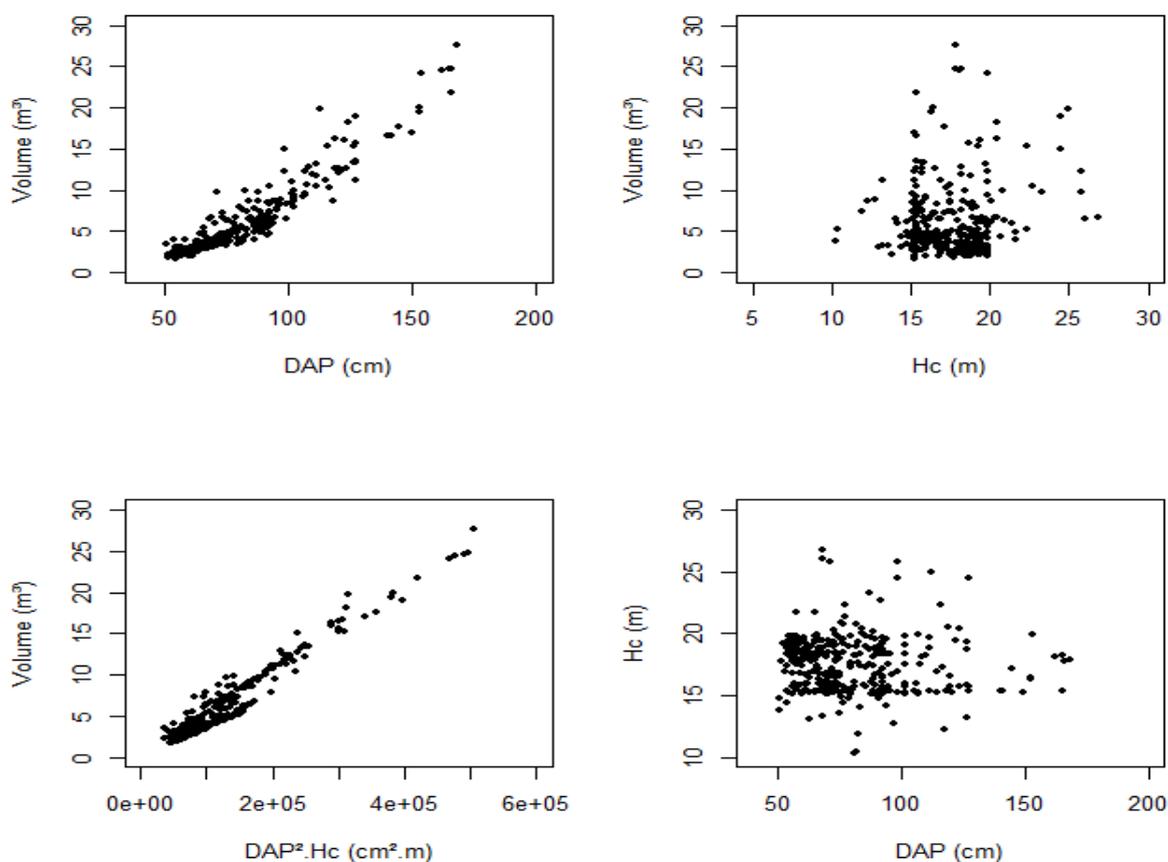


Figura 5: Relação entre a variável dependente e a variável independente (Volume vs. DAP); Volume vs. Hc; Volume vs. DAP².Hc e DAP vs. Hc.

Nota-se na Figura 6 que dentre as relações apresentadas nos gráficos acima, tem-se, relação do tipo aleatória para as variáveis Volume vs. Hc e Hc vs. DAP, não linear do tipo exponencial para a relação Volume vs. DAP e linear quando as variáveis independente são combinadas Volume vs. $DAP^2.Hc$.

Tabela 6: Coeficiente de correlação linear de Pearson para os pares de variáveis testados.

Variável 1	Variável 2	r
Volume	DAP	0,94
Volume	Hc	0,09
Volume	$DAP^2.Hc$	0,97
Hc	DAP	0,06

As representações gráficas da figura 5, estão representadas de forma numéricas por meio da *correlação de Pearson* demonstrado na Tabela 6, onde demonstra uma baixa correlação (0,06 e 0,09) entre as relações gráficas com distribuição aleatória, isso demonstra a possibilidade de inclusão das duas variáveis independentes nas equações de volume. Ademais, observa-se uma melhora nos valores das correlações (0,94 e 0,97) nas relações com distribuição não linear exponencial e relação linear respectivamente.

Tais informações tendem a corroborar para escolha de modelos de dupla entrada, visto que as variáveis independentes DAP e Hc não possuem boa correlação. Contudo, deve-se fazer algumas considerações para escolha do melhor modelo, dificuldade para obtenção com precisão da variável Hc, além da avaliação dos gráficos de dispersão de resíduos (Figura 7). Os gráficos de dispersão dos resíduos foram utilizados para se interpretar a independência dos erros, a presença de dados discrepantes e o comportamento da variância (Campos e Leite, 2009).

Por meio da análise gráfica dos resíduos (Figura 6), onde cada gráfico demonstra a distribuição residual para o modelo testado. É possível observar que o modelo 1 (Schumacher-Hall), embora tenha sido ranqueado como o menos indicados para ajustes dos dados processados, apresenta uma boa distribuição dos resíduos, demonstrando conformidade dos resíduos ao entorno da linha de regressão, com uma leve tendência a subestimar os volumes para as árvores com DAP acima de 100 cm. Contudo, mesmo com uma boa distribuição dos resíduos dentre os modelos de dupla entrada, o modelo de dupla

entrada escolhido como melhor modelo foi o de Meyer, que apresentou resultados estatísticos apropriados e uma boa destruição dos resíduos.

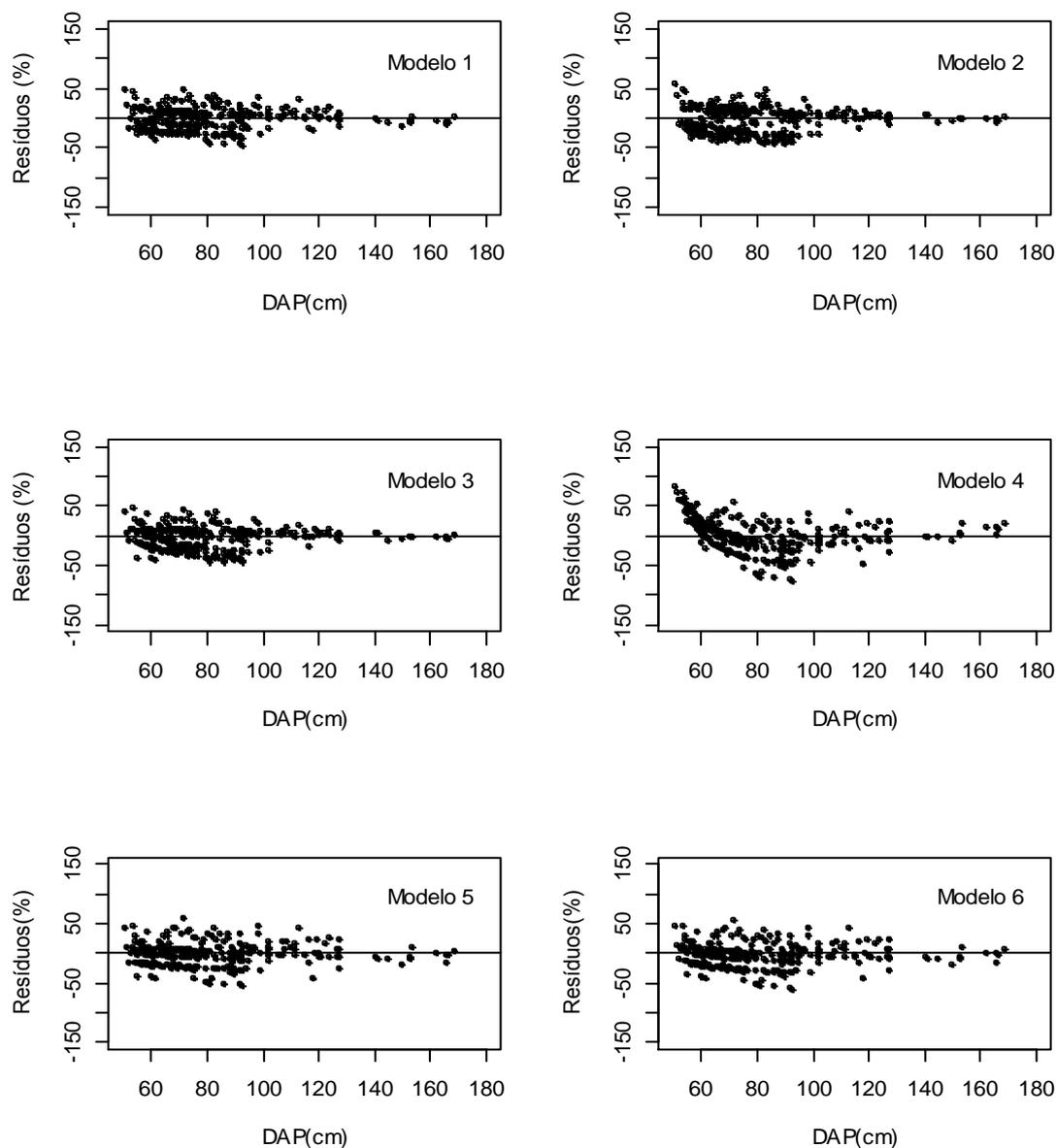


Figura 6: Gráficos de dispersão de resíduos dos modelos testados.

Nota-se na Figura 6 que os modelos 03 e 04 tendem a superestimar os volumes das árvores com diâmetros < 100 cm. Já nos modelos 2 e 6, os modelos tendem a subestimar os volumes para os diâmetros menores que 100 cm. Observa-se ainda, a grande dispersão dos dados ao longo da linha de regressão e fortes tendências de superestimativas e subestimativas para os referidos modelos, caracterizando a elevada variabilidade e heterogeneidade dos dados. Nas classes de diâmetro entre 50 e 100 cm, onde a maioria das árvores está

concentrada, essa tendência foi mais acentuada, tanto para superestimar quanto para subestimar. Elevados valores nos resíduos em equações gerais para diversas espécies foram encontrados por Hiramatsu (2008) no ajuste de modelos volumétricos para o Vale do Jari, estado do Pará, dispondo de um amplo banco de dados oriundos de romaneio, como no presente estudo.

Thaines et al. (2010) mencionaram que as superestimativas são mais prejudiciais que as subestimativas para fins de planejamento da atividade florestal, logo, a utilização dos modelos em questão requer cautela. Porém, cabe ressaltar que a utilização de toras de grande comprimento, oriundas de romaneio, não compromete o ajuste de modelos volumétricos, conforme constatado por Silva-Ribeiro et al. (2014), avaliando diferentes seccionamentos para cubagem e escolha de equações na Floresta Nacional do Tapajós, PA

As equações de dupla entrada foram melhores na distribuição dos resíduos, em especial a equação de Schumacher-Hall que obteve uma boa distribuição dos erros, confirmando sua melhor performance neste estudo (Modelo 1).

Contudo, o modelo volumétrico a ser utilizado em empreendimentos florestais ainda requer ponderações de custos e operacionalização em cada situação. Baima et al. (2001), destaca que a utilização de equações de simples entrada, pode ser uma solução para estimativas de volume de árvores em pé, evitando erros não amostrais associados à medição da altura.

Já a utilização de equações de dupla entrada, são mais indicadas para métodos em que a derrubada das árvores, onde a altura pode ser medida com maior precisão. Outros autores recomendam o uso local de equações de simples entrada, no sítio de origem ou em localidades próximas a este, com características de vegetação similar, e modelos de dupla entrada, uso regional (Santos, 1996; Silva, 2007).

No entanto, tem-se que avaliar os custos entre os modelos de uma e de duas entrada, pois a coleta somente do DAP como variável independente facilita e reduz o tempo das atividades operacionais de campo (Baima et al., 2001, Silva, 2007). Pelos ajustes das equações nota-se que, às vezes, o uso de mais uma variável no modelo nem sempre reflete em ganhos considerados de precisão (Santos, 1996; Silva, 2007). Segundo Silva e Carvalho (1984) o ganho de precisão nas equações de dupla entrada pode não ser compensado pelo

aumento de custo do inventário, sendo recomendando o uso de equações de única entrada, por sua simplicidade de aplicação e pela facilidade de reproduzi-las.

Os modelos de simples entrada explicam entre 80 a 87% da variação dos dados e apresentam erros abaixo de 38%, podendo ser usados gerando boas estimativas para sítios de florestas com características similares. Entretanto, quando aplicados em regiões afastadas do sítio de origem, deve ser dado preferência ao uso de modelos de dupla entrada.

Todavia, devido ao denso sub-bosque das florestas tropicais a mensuração da altura comercial é prejudicada, o que reflete diretamente na incerteza de sua estimativa devido ao aumento do erro do tipo não amostral (Durigan et al., 2000; Segura e Kanninen, 2005).

No entanto, quanto ao modelo volumétrico mais preciso a escolher, este trabalho vem confirmar a necessidade de se testar vários modelos para identificar qual melhor se adaptou as condições de sítio. Assim, o presente estudo considerou o modelo volumétrico de Kopecky e Gehrhardt 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 Meyer foi considerado o que melhor se ajustou.

As análises de variância para cada modelo são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Análise de Variância de Regressão para os modelos ajustados.

1) $V = \beta_0 \times D^{\beta_1} \times H^{\beta_2}$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	2	3811,74429	1905,87214	1016,98	0,00000
Resíduo	320	112,96241	0,35301		

2) $V = \beta_0 + \beta_1 \times (D^2 \times H)$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	2	1703,16418	851,58208	1392,15	0,00000
Resíduo	320	68,90292	0,21532		

3) $V = \beta_0 + \beta_1 \times D + \beta_2 \times D^2 + \beta_3 \times (D \times H) + \beta_4(D^2 \times H) + \beta_5H$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	5	4083,59044	816,71809	507,35	0,00000
Resíduo	317	9,61241E-27	3,03231E-29		

$$4) V = \beta_0 + \beta_1 \times D$$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	5082,0437	5082,0437	1319,86	0,00000
Resíduo	321	4,59294E-27	1,43082E-29		

$$5) V = \beta_0 \times D^{\beta_1}$$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	3726,75178	3726,75178	1709,64	0,00000
Resíduo	321	105,14042	0,32754		

$$6) V = \beta_0 + \beta_1 \times D^2$$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	3128,55988	3128,55988	1473,11	0,00000
Resíduo	321	96,14664	0,29952		

Estudos de estimativa de volume em florestas tropicais têm demonstrado elevados erros nas determinações da variável dependente, dentre os diversos fatores que podem influenciar nas projeções, pode-se destacar as variações na forma e dimensão do fuste, até mesmo dentre os indivíduos de uma mesma espécie. Nessas Florestas, essa ampla variação pode ser ocasionada pela heterogeneidade florística e estrutural (AKINDELE e LEMAY, 2006), além da diversidade etária que dificulta o emprego de fatores de forma e equações de volume individual (FIGUEIREDO FILHO, 1983). Outro fator agravante para estimativas de volume em florestas tropicais é apontado por (BRANDEIS et al. 2006), que sugerem a influência negativa das árvores de grande porte na precisão das estimativas.

4.3 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 volumes estimados pelas equações de regressão selecionadas, e da comparação entre os volumes estimados pela equação de simples entrada: $V = f(DAP)$ e com Dupla Entrada: $V = f(DAP;H)$.

Foram feitas as seguintes comparações:

Volume observado x Volume estimado $V = f(DAP;H)$, pelo resultado do teste do *qui-quadrado* ($X^2= 54,2209$); e

Volume observado X Volume Estimado ($V = f(DAP)$), a probabilidade para o teste *qui-quadrado* ($\chi^2=45,2408$).

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.

4.4 COMPARAÇÃO COM O MODELO QUE UTILIZA O FATOR DE FORMA MÉDIO

Tal comparação é válida se entendermos que a região onde se desenvolveu este trabalho é atualmente a maior fonte de madeira em tora licenciada do estado do Amazonas (IPAAM, 2017). Novo Aripuanã, maior fornecedor de madeira licenciada do Amazonas no ano de 2017, detém características que o potencializam a se manter nesta posição, pois, grande parte de suas florestas estão inseridas em áreas públicas, glebas estaduais e federais (SPF, 2017). Outros fatores que favorecem para continuidade desta realidade é o fato do município ser dotado de boas condições logísticas, sendo a sede do município banhada pelo Rio Aripuanã e Madeira, por onde se recebe e escoam parte de sua produção, porção norte formada por glebas estaduais. E na porção Sul, formada por glebas Federais, que margeiam a BR-230 (Transamazônica) situada na área de maior pressão agropecuária e florestal do estado, região que contempla o arco-do-desmatamento, sofre com grilagens e alguns projetos de assentamentos.

Contudo, mesmo sofrendo com o avanço do desmatamento o manejo florestal é de longe, o melhor mecanismo técnico/legal para conter o desmatamento desenfreado, promovendo benefícios sustentáveis para localidade. Entretanto, mesmo sendo líder na produção de madeira em toras no estado do Amazonas, Novo Aripuanã, sofre com o afastamento técnico/científico na região. Analisando a atividade madeireira na região sul do município, observa-

se que grande parte da madeira explorada é provinda de projetos de manejos desenvolvidos em pequenas e médias posses rurais.

Porém, mesmo com os benefícios gerados pelo manejo florestal, este pode se tornar um problema, pois para cada metro cúbico licenciado é gerado um metro cúbico virtual, fato que permite que os aspectos legais e ilegais permaneçam atrelados de maneira sutil, dificultando sua segregação. Um dos fatores agravantes para esta ligação, é que toda a volumetria licenciada, na maioria dos planos de manejo florestal do Estado do Amazonas, o volume de madeira é estimado usando-se equações não apropriadas (HIGUCHI & RAMM, 1985). Na maioria dos casos, o volume é estimado usando a fórmula do cilindro que é corrigido com um fator de forma ($f_{1,30}$) comum para toda a região amazônica, arbitrada em 0,7 desde os primeiros inventários florestais realizados pela FAO, nos anos 50.

Um dos principais problemas com os modelos matemáticos que utiliza altura para o cálculo de estimação do volume comercial, além das dificuldades atreladas a obtenção com precisão desta variável (altura), as quais, pode-se destacar a heterogeneidade na composição de indivíduos juntamente com as diferentes idades configuram diferentes formas de fustes para diferentes espécies e conseqüentemente nem todas as espécies possuem esse valor. (FIGUEIREDO FILHO, 1983; GIMENEZ, 2015). Existe ainda indução do identificador para superestimar as alturas das árvores de maior valor comercial em troca de benefícios comerciais, este fato está diretamente ligado com a extração ilegal de madeira em áreas não regularizadas e/ou protegidas.

Levando em consideração que a legislação é complacente com até 4 m de variação na estimação da altura comercial, e que está variável é sempre aplicada na equação de volume comercial para o primeiro ano de exploração florestal, e que geralmente os manejos da região são explorados em um único ciclo, ficando o retorno à área condicionado a aproximadamente 30 anos, a obrigação de se desenvolver equações de volume conforme determinação legal para o segundo POE, vem sendo ignorada pelos empresários e engenheiros que atuam na região. Pois, sabe-se que a cada metro de altura comercial superestimado a um ganho considerável nas estimativas de volume de madeira da floresta.

Logo, percebe-se que o principal problema está relacionado ao erro do

tipo não amostral associados aos valores atribuídos a altura comercial (GIMENEZ, 2015). Por fim, foi feito um exercício para comparar os volumes observado, estimado pelo fator de forma médio e o volume estimado pelo modelos de simples entrada, para isso foi utilizado as 323 árvores-amostra cubadas aplicadas no ajustamento dos modelos, foi utilizado o volume observado, calculado pelo método de Smalian, aplicou-se a equação ajustada pelo modelo 6 de simples entrada utilizando o DAP das árvores-amostra e posteriormente calculou-se o volume utilizando o DAP e a altura comercial determinada durante a cubagem rigorosa pelo método que utiliza o fator de forma. E posteriormente apresentamos um demonstração gráfica do quanto se ganha em volumetria final por cada metro acrescido na altura comercial estimada.

Tabela 6: Comparação entre o volume obtido pela fórmula de Smalian (Volume Observado), o volume estimado pelo fator de forma médio (0,7), o volume estimado pelo modelo 06.

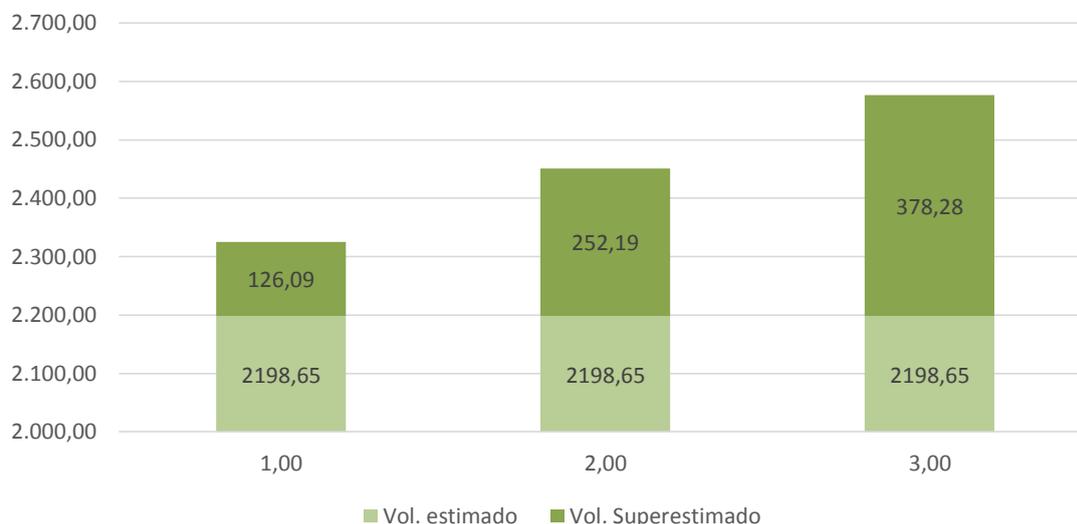
Volume Observado	Volume Estimado pelo Modelo 06	Volume Estimado com utilização do Fator de Forma médio (0,7)
1.950,24 m ³	1.848,83 m ³	2.198,65 m ³
Diferença percentual	- 5,2%	+ 12,7%

Nota-se que as estimativas de volume obtidas com o uso do fator de forma médio (com base nos dados do ajustamento) são 12,7% superior ao volume observado, contrariando os resultados de Gimenez (2015), que obteve um resultado de -4,4% em estudos realizados no estado de Roraima. Esse resultado, ratifica uma questão que é cada dia mais consensual dentre os pesquisadores que se dedicam a questão, a necessidade de não se utilizar mais a altura e conseqüentemente o fator de forma para estimação do volume comercial (LIMA, 2010). Este fato, fará com que fique cada dia mais difícil o esquentamento de madeira ilegal por meio de planos de manejo com seus volumes superestimados, contribuindo assim com a promoção da madeira legal no mercado mundial e conseqüentemente reduzir o desmatamento da região.

No mais, como uma alternativa local, a equação de simples entrada ajustada para a área do manejo, poderá ser testada em novos projetos da região buscando a validação regional da mesma, uma vez que apresentou 5,2% de

diferença do volume observado, portando dentro dos preceitos legais para planos de manejos no Brasil.

Figura 7: Gráfico demonstrativo do ganho volumétrico a cada metro acrescido na altura comercial, os volumes obtidos pela fórmula que utiliza o fator de forma médio (0,7).



Na figura acima, fica claro que a forma de estimar volume para os projetos de manejo precisa mudar. Pois, no cenário representado na figura, todos os envolvidos estariam acobertados pela legislação que permite uma variação de +4 metros na altura comercial, pois a superestimação da altura em 1, 2 e 3 metros, gera ganhos em volume de 6, 11 e 17% respectivamente (IBAMA, 2006). Vale lembrar, que nem sempre as alturas são superestimadas, em alguns casos elas são subestimadas, dependendo da produção do sítio, contudo, sempre visando o favorecimento do empresário.

Foi calculado um fator de forma para as 361 árvores-amostra. O valor do fator de forma médio obtido foi de 0,68 (desvio padrão = 0,08) que difere do valor 0,7 utilizado no modelo do fator de forma médio. Considerando que o fator de forma médio igual a 0,7 é considerado para todas as espécies da Amazônia, segundo Heinsdijks & Bastos (1963). Observa-se que embora o fator de forma encontrado neste estudo tenha se aproximado do fator de forma médio, temos uma diferença de 0,27 entre os fatores de formas mínimo (0,56) máximo (0,83) encontrados para as 15 espécies estudadas.

5. CONCLUSÃO

Foram geradas equações com base nos modelos lineares de simples e dupla entrada, de Kopezky-Gehrhardt e Meyer, respectivamente.

As equações de dupla e simples entrada foram validadas no teste (qui-quadrado).

A equação de dupla entrada apresentou uma resposta mais conservadora quando comparado com a equação do fator de forma.

O fator de forma médio obtido para região sul do Amazonas foi de 0,68.

Utilizando critérios técnicos, legais e econômicos a equação de simples entrada pode ser utilizada para estimar volume comercial para a região sul do Estado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKINDELE, S. O.; LEMAY, V. M. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 41 – 48. 2006.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728. Piracicaba, 2014.

AZEVEDO, C, P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia oriental: Experimentação e Simulação**, 2006, 254f. Tese (doutorado), Universidade Federal do Paraná.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 3º ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000, 846p.

BARRETO, W. F.; LEÃO, F. M.; MENEZES, M. C.; SOUZA, D. V. Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 321 – 329. 2014.

BAIMA, A.V.; SILVA, S. M. S.; SILVA, J. N. M. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.;

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Forestalis**, n. 65, p.162-175, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1º Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.

BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 133-142, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4. ed., atualizada e ampliada. Viçosa-MG, Editora UFV, 2013, 605 p.

CAVALCANTI, F. J. B.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T. Tamanho de unidade de amostra e intensidade amostral para espécies comerciais da Amazônia. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 207-214, 2009.

CORDEIRO, M.A.; PEREIRA, N.N.deJ.; BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.daS.; LEITE, H.G. Estimativa do volume de *Acacia mangium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 255-261, jul./set. 2015. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/>>. Acesso em: 06 julho 2018.

CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 2013. 105 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria.

CNM. **Confederação Nacional dos Municípios**. 2010. Disponível em: <<http://www.cnm.org.br/>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

DURIGAN, G.; Franco, G.A.D.C.; Saito, M.; Baitello, J.B. 2000. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 23: 371-383.

DRAPPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3ª ed. New York: John Wiley e Sons, Inc. 1998. 704 p.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia brasileira**. 1983. 176 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FIGUEIREDO, E.O; SCHROEDER, R.; PAPA D. de A. Fatores de Forma para

20 Espécies Florestais Comerciais da Amazônia. **Comunicado Técnico 173 da Embrapa**. ISSN 0100-8668. p. 1-4. Rio Branco, AC. Dez de 2009.

GIMENEZ, B. O.; DANIELLI, F. E.; OLIVEIRA, C. K. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 291 – 301. 2015.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **A determinação de equações volumétricas na Engenharia Florestal**. IPEF Série Técnica, v. 9, n.26, p. 1 -36. 1993.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. **Inventários florestais na Amazônia**. Boletim do Serviço Florestal, v. 6, 1963. 100p. HENDERSON, A. The palms of.

HERRERA, B.; CAMPOS, J. J.; FINEGAN, B.; ALVARADO, A. Factors affecting site productivity of a Costa Rican secondary rain forest in relation to *Vochysia ferruginea*, a commercially valuable canopy tree species. *Forest Ecology and Management*, v. 118, p. 73 – 81, 1999.

HIGUCHI, N. Utilização e manejo dos recursos madeireiros das florestas tropicais úmidas.pdf. **Acta Amazônica**, v. 24, p. 275–288, 1994.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. ; TEIXEIRA, L. M.; LIMA, A. J. N. O mercado internacional de madeira tropical está à beira do colapso. SBPN (São Paulo), v. 1-2, p. 33-41, 2006.

HIGUCHI, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.J.; biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazônica*, 28 (2): 153-166.

HIGUCHI, N.; PEREIRA, H. dos S.; SANTOS, J.dos; LIMA, A.J.N.; HIGUCHI, F.G.; HIGUCHI, M.I.G.; AYRES, I.G.S.S. 2009. **Governos locais amazônicos e as questões climáticas globais**. Manaus, AM. edição dos autores. 104 p. 2009.

HIRAMATSU, N. A. **Equações de volume comercial para espécies nativas na região do Vale do Jari, Amazônia Oriental**. 2008. 107 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

IBGE. **Cidade: Novo Aripuanã**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/QH0>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 25 julho. 2018.

LIMA, A. J. N. **Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas (AM)**. 2010. 165 p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munich: BLV, 1973. 469p.

MACHADO, S. A. e FIGUEIREDO-FILHO, A. **Dendrometria**. 3a Edição. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2014. 316p.

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.56, p. 17-19. 2008.

MIGUEL, E. P. **Desenvolvimento de equações hipsométricas e volumétrica para estimar o volume total e comercial de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás**. Curitiba: UFPR, 2009. (Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do

Paraná).

MIRANDA, D.L.C; JUNIOR, V.B.; GOUVEIA, D.M. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantios de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia plena**. v. 11, nº 3, p. 1-8. 2015.

MOURA, J. B. **Estudo de forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia Brasileira**. 1994. 114 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MÜLLER, M.D.; SALLES, T.T.; PACIULLO, D.S.C.; BRIGHENTI, A.M.; Castro, C.R.T.de. Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. **Revista Floresta**, PR, v. 44, n. 3, p. 473-484, jul.- set. 2014.

PIRES- O'BRIEN, M. J.; O' BRIEN, C. M. **Ecologia e modelamento em florestas tropicais**. Belém, 400 p., 1995.

PHILLIPS, P. D.; AZEVEDO, C. P.; DEGEN, B.; THOMPSON, I. S.; SILVA, J. N. M.; VAN GARDINGEN, P. R. An individual based spatially explicit simulation model for strategic forest management planning in the eastern Amazon. *Ecological Modelling*, n. 173, p. 335 – 354. 2004.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica. GTZ, IICA. 1997, 586 p.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO,A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em 82 povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. *Floresta*, v. 38, n. 2., p. 339 – 349. 2008.

RIBEIRO, J. E. L da S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. da S.; BRITO, J. M. de; SOUZA, M. A. D. de; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. da C.; SILVA, C. F. da;

MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA. 1999, 816 p.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Taipé-Aquirí, Serra dos Carajás. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 106-114, 2006.

SANTOS, J. dos. 1996. Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fito massa da Floresta Tropical Úmida de Terra-firme da Amazônia Brasileira. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 121 p.

SANTOS, J.dos; Higuchi, N.; Lima, A.J.N. de; Teixeira, L.M.; Rocha, R.M.; Silva, R.P. da; Pinto, A.M.; Pinto, F.R.; Carneiro, V.M.C.; Guimaraes, G. 2004. Resultados preliminares do inventario florestal da Reserva Extrativista Auati Paraná – AM: Flash de suas potencialidades econômicas e ecológicas. Relatório técnico, FAPEAM/INPA/CPST. 101p.

SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N.A.S.; ZIMMERMANN, A.P.L.; PEREIRA, L.D.; ROCHA JUNIOR, D.S.; MEYER, E.A.; FLEIR, F.D. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 01-07, jan./mar. 2013.

SCOLFORO, J.R.S. 1998. Modelagem de crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas. Lavras: UFLA/FAEPE, 441p.

SEGOV-AM. **Secretaria de estado da cultura e turismo do Amazonas/ Secretaria do Estado do Amazonas**. Manaus. Disponível em: Disponível em <http://200.242.43.143/portal/segov>. Acesso em Acesso em: junho 2018.

SEGURA, M.; KANNINEN, M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. **Biotropica**, Malden, v. 37, n. 1, p. 2 – 8, 2005.

SILVA, R. P. 2007. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). Tese (Doutorado) em Ciências de Florestas Tropicais, INPA/UFAM, Brasil. 152 pp.

SILVA, S. C. P.; PEREIRA, C. F.; SILVA, C. L.; LEAL, D.; OLIVEIRA, M. C.; RAPOZO, P. H. C.; BRAGA, T. P. **Plano territorial de desenvolvimento rural território madeira-AM**. Manaus, 2010.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 272p.

SOARES, C. P. B. et al. (b) Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: Editora UFV, 2013, 322p.

SPURR, S. H. **Forestry inventory**. Ronald Press, New York. 1952, 476p.

TONINI, H.; BORGES, R. A. Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no Sul de Roraima. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 11 – 117. 2015.

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

VALENTE, M. D. R.; QUEIROZ, V. T de; PINHEIRO, J. G.; MONTEIRO, L. A. da S.; Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata* Ducke) via análise de fatores e regressão. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 307-317. 2011.

VISMARA, E. D. S. Mensuração da biomassa e construção de modelos para

construção de equações de biomassa. 2009. **Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo.**

WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forest.** Claredon, 226 p., 1990.