INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais

MODELOS PARA ESTIMAR O VOLUME DE MADEIRA DA RESERVA EXTRATIVISTA AUATÍ-PARANÁ, REGIÃO DO ALTO SOLIMÕES, FONTE BOA (AM)

JUVENAL MARTINS GOMES

MANAUS/AMAZONAS
DEZEMBRO/2008

JUVENAL MARTINS GOMES

MODELOS PARA ESTIMAR O VOLUME DE MADEIRA DA RESERVA EXTRATIVISTA AUATÍ-PARANÁ, REGIÃO DO ALTO SOLIMÕES, FONTE BOA (AM)

ORIENTADOR: Dr. NIRO HIGUCHI

CO-ORIENTADOR: Dr. JOAQUIM DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

MANAUS/AMAZONAS
DEZEMBRO/2008

G633 Gomes, Juvenal Martins
Modelos para estimar o volume de madeira da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, na região do Alto Solimões, Fonte Boa (AM) / Juvenal Martins Gomes.--- Manaus : [s.n.], 2009.
xi, 69 f. : il. color.

Dissertação (mestrado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2009
Orientador : Niro Higuchi
Co-orientador : Joaquim dos Santos
Área de concentração : Manejo Florestal

1. Madeira caída. 2. Volumetria. 3. Alometria. 4. Manejo florestal. 5. Florestas tropicais – Amazônia. I. Título.

CDD 19. ed. 634.98

Sinopse:

Estudou-se o uso de modelos volumétricos para estimativa do volume de madeira com casca na Reserva Extrativista Auatí-Paraná. Árvores recém-caídas em bom estado de conservação foram usadas como conjunto de dados geradores das equações de volume. Aplicaram-se os procedimentos da cubagem rigorosa para obtenção das variáveis, diâmetro e altura ao longo do fuste, e de análises de regressão para gerar os modelos.

Palavras-chave: Alometria, madeira caída, manejo florestal.

OFEREÇO

À memória dos irmãos: Elizabete, Antônio Marcos, Marcos Antônio, Pedro e José Antônio.

A minha mãe, Etelvina Martins Gomes e ao meu pai, Antônio Tarcisio Gomes, pelo empenho na minha formação e amor ao longo de todos esses anos de minha ausência. Aos irmãos: Eliane, Ernane, Natalino, Sebastião e Vicente.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo acompanhamento de todos os passos de minha vida, guiando e confortando em momentos difíceis.

Neste momento, faz-me necessário agradecer diversas pessoas e enitidades que direta ou indiretamente ajudaram na concretização deste trabalho:

Aos meus pais e irmãos pelo imenso incentivo prestado nos momentos cruciais.

À amiga, namorada e companheira Elisabeth, uma pessoa maravilhosa. Uma ancora do dia-a-dia!

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, em especial ao curso de pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, pela oportunidade desta pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnólogico - CNPq pela concessão da bolsa.

Ao Dr. Niro Higuchi e ao Dr. Joaquim dos Santos pela orientação, apoio e amizade.

Ao amigo Adriano Nogueira Lima pela amizade e longas discurssões sobre este trabalho, ajuda valiosa.

As comunidades da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, na época da campanha de campo, pelo apoio que recebemos durante este trabalho.

Aos amigos do Laboratótio de Manejo Florestal – LMF/INPA, pela convivência e ajuda na execução deste trabalho.

Aos integrantes da equipe de campo, no período de coleta dos dados, muito obrigado pela força e disposição em sempre ajudar. Valeu família ZF2!

Aos amigos e colegas de república: Shanna, Henrique, Murilo, Geângelo, Marcos Bento, Ricardo e Mônica. Muitas lições e bons momentos vivenciados juntos!

Aos amigos do mestrado CFT, e aos demais amigos do INPA e da UFAM. Em especial aos amigos da minha turma de mestrado, uma galera nota dez. Muitos bons momentos compartilhados e boas discussões enriquecedoras sobre a Amazônia e a vida. Valeu amigos!

Muito Obrigado!

RESUMO

O Manejo Florestal Sustentável depende de estimativas quali-quantitativas precisas e consistentes do volume de madeira para regiões, sítios e espécies florestais. Por isso as equações de volume são ferramentas imprescindíveis na execução do Manejo Florestal, para ordenar e avaliar o estoque em potencial e a produtividade do sítio. Este estudo foi desenvolvido na área da Reserva Extrativista Auatí-Paraná localizada no município de Fonte Boa, região do Alto Solimões, AM. Foram testados 18 modelos volumétricos (seis equações de simples entrada e doze de dupla entrada) com base na cubagem rigorosa de 206 árvores recém-caídas. Com relação aos modelos gerais, entre as equações de dupla entrada, o modelo de *Schumacher-Hall* original obteve os melhores ajustes, com R^2_{aj} =0,95, erro de 5,18% e boa distribuição dos erros, sendo superior aos modelos de única entrada. Entre os modelos de simples entrada, o modelo logarítmico de *Husch* foi o que melhor se ajustou aos dados, no conjunto dos indicadores, com R^2_{aj} =0,95, S_{yx}=11,5% e boa distribuição dos resíduos. No ajuste de equações para as árvores na classe diamétrica 10 $\leq$ DAP < 50 cm, obtiveram-se equações mais precisas que as equações gerais. O modelo de dupla entrada logarítmico, $ln\ V = a + b\ lnDAP^2HC$, com a varíavel combinada de Spurr foi o melhor ajustado (R^2_{aj} = 0,97 e S_{yx} = 4,18%). Entre as equações de simples entrada nesta classe de diâmetro o modelo $ln\ V = a + b\ lnDAP$ apresentou bons indicadores (R^2_{aj} = 0,92 e S_{yx} = 6,46%). Já o ajuste de equações para a classe de diâmetro DAP $\geq$ 50 cm não resultou em equações melhor ajustadas que os modelos gerais. Ainda ajustaram-se equações para três espécies: tauari (*Cariniana sp.*), castanha-sucupira (*Curupira tefeensis*) e anoerá (*Beilschmiedia brasiliensis*), tendo um bom ajuste a equação não linear exponencial para as duas primeiras espécies. Recomendam-se a equação de simples entrada de *Husch* para uso local no manejo da floresta na Resex e a equação de *Schumacher-Hall* para uso regional em outros sítios de florestas similares. O uso de árvores recém-caídas como conjunto de dados geradores dos modelos é viável e consistente. É de fácil obtenção e operacionalização a cubagem de árvores caídas que estejam em boas condições, em florestas tropicais.

ABSTRACT

Sustainable Forest Management relies on precise and consistent qualitative and quantitative wood volume estimation for regions, sites and forest species. Therefore volume equations are indispensable for the forest manager to plan and evaluate the stand's potential stock and yield. This study was carried out in the area of the Reserva Extrativista Auatí-Paraná, located on the Fonte Boa municipality, Upper Solimões region, Amazonas State. 18 volumetric models (six single- and twelve double-entry equations) were tested based on cubing 206 newly fallen trees.

With regards to general models, among the double entry equations, *Schumacher-Hall* original model attained the best fit, with a R^2_{aj} = 0,95; S_{yx} = 5,18% and good residues distribution, superior to the single-entry models. *Husch*'s logarithmic model was the better fit among the single-entry models, attaining a R^2_{aj} =0,95, S_{yx}=11,5% and a good residue distribution. Fitting the equations for the trees in the 10 $\leq$ DAP < 50 cm diametric class resulted in more precision than the through general equations. The logarithmic double-entry model, $ln\ V = a + b\ lnDAP^2HC$, with Spurr's combined variable fitted best (R^2_{aj} = 0,97 e S_{yx} = 4,18%). Among the single entry equations in this diametric class the model $ln\ V = a + b\ ln\ DAP$ achieved a good performance (R^2_{aj} = 0,92 e S_{yx} = 6,46%). Fitting equations to the diametric class DAP $\geq$ 50 cm however, resulted in no improvements from the general models. Also three species had equations fitted to them: tauari (*Cariniana sp.*), castanha-sucupira (*Curupira tefeensis*) and anoerá (*Beilschmiedia brasiliensis*). The first two species had good non-linear exponential fit. *Husch*'s single-entry equation is recommended for local use in the forest management at the Resex and the is recommended for regional use in other sites of similar forests. The use of newly fallen trees as a data record to generate models is viable and consistent. Cubing the fallen trees in good condition is easy to obtain and execute in tropical forests.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS……x
LISTA DE TABELAS…….. xi

1. Introdução 12

2. Objetivos 14

2.1 Geral 14

2.2 Específicos.....14

3. Materiais e métodos 15

3.1 Localização e caracterização da área.....15

3.2 Coleta de dados 16

3.2.1. Inventário e cubagem de árvores caídas.....16

3.2.2. Volume sólido real 17

3.2.3. Identificação botânica.....18

3.3. Modelos volumétricos 19

3.3.1. Modelos testados 19

3.3.2. *Equações para espécies madeireiras de importância econômica com uso* do método "Jackknife".....20

3.3.3. Análise de desempenho 23

3.4. Escolha do melhor modelo 24

3.5. Modelos logarítmicos versus não logarítmicos 25

3.6. Equação única "paralelismo e coincidência das estimativas de volume".....26

4. Resultados e discussão 27

4.1 Caracterização dos dados 27

4.1.1 Distribuição diamétrica e Volume real.....27

4.1.2. Identificação botânica de árvores caída.....28

4.2. Modelos ajustados 29

4.2.1 Modelos gerais 29

4.2.2 Modelos por classes de diâmetro.....37

4.2.2.1 Classe de diâmetro (10 $\leq$ DAP < 50 cm).....37

4.2.2.2 Classe de diâmetro (DAP $\geq$ 50 cm).....43

4.2.3 Modelos ajustado por espécies madeireiras.....48
4.3 Análise de desempenho 50
4.4 Equação única "paralelismo e coincidência das estimativas de volume".....51
4.5 Recomendação para a cubagem de árvores caídas 52
4.6 Aos tomadores de decisão 54
5. Conclusões 56
6. Referências bibliográficas 57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Resex Auatí-Paraná município de Fonte Boa, Amazonas. (Fonte: IBAMA, 2007)..... 15

Figura 2. Procedimentos da cubagem rigorosa das ávores caídas na Resex ilustrando: a) foto de árvore recém-caída; b) medição da altura com o uso de trena; c) medição de diâmetro com o uso da suta e d) esquema de cubagem de árvore caída dividindo a altura comercial em 10 partes..... 18

Figura 3. Amostra anatômica do fuste de árvore caída (disco de 5 cm de espessura) coletada na Resex Auatí-Paraná 19

Figura 4. Número de indivíduos de árvores caídas (n) distribuido por classes de diámetro, tipologia florestal (várzea e floresta de terra firme – FTF) e total, amostradas na área da Resex Auatí-Paraná, AM…….. 28

Figura 5. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares…….. 34

Figura 6. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas..... 35

Figura 7. Gráfico de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações não lineares exponenciais……. 36

Figura 8. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares na classe diamétrica (10 < DAP ≤ 50 cm)..... 40

Figura 9. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (10 < DAP ≤ 50 cm)..... 41

Figura 10. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações não lineares exponenciais na classe diamétrica (10 < DAP ≤ 50 cm)..... 42

Figura 11. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares na classe diamétrica (DAP ≥ 50 cm)..... 45

Figura 12. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (DAP ≥ 50 cm)... 46

Figura 13. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (DAP ≥ 50 cm)..... 47

Figura 14. Curvas do volume estimados pelas equações: da análise de desempenho (vol. modelo: Higuchi *et al*., 1997), equações ajustadas (vol. modelo 5 deste estudo) e volume real obtido na cubagem para a Resex……... 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das árvores caídas após a cubagem em classes de diâmetro (D) e altura total (H) do conjunto de árvores amostradas na Resex Auatí-Paraná……... 17

Tabela 2. Modelos volumétricos testados para estimativa individual do volume do fuste com casca das árvores cubadas..... 20

Tabela 3. Estimativas parciais dos coeficientes de regressão para o conjunto de dados da espécie castanha-sucupira (r= 7) e para sub-grupos com o uso e re-uso de cada indivíduo da espécie ($\hat{O}_{-1}$ até $\hat{O}_{-7}$)……. 22

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para o conjunto de dados da espécie castanha-sucupira (r=7)……... 23

Tabela 5. Modelos volumétricos submetidos análise de desempenho para estimativa individual do volume de árvores, frente ao conjunto de árvores cubadas na Resex Auatí-Paraná……. 23

Tabela 6. Índices estatísticos aplicados aos modelos volumétricos submetidos à análise de desempenho para estimativa individual do volume de árvores com casca na Resex Auatí-Paraná……. 24

Tabela 7. Média (x), desvio padrão (s), coeficiênte de variação (CV em %) e valores extremos para o conjunto de árvores-amostras (n = 206), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM). 27

Tabela 8. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) para os modelos volumétricos gerais, na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM)…….. 30

Tabela 9. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) para os modelos volumétricos na classe de diâmetro ($10 \leq DAP < 50$), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM)..... 38

Tabela 10. Coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) para os modelos volumétricos na classe de diâmetro ($DAP \geq 50$ cm), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM). 43

Tabela 11. Análise descritiva: média (x), desvio padrão (s), coeficiênte de variação (CV em %) e valores extremos para o conjunto de árvores-amostras por espécie, na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM)..... 48

Tabela 12. Equações de volume para espécies madereiras com: número de indivíduos (n), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %)..... 48

Tabela 13. Valores dos índices estatísticos de desempenho dos modelos avaliados, sendo: erro médio ($\bar{e}$) uma medida de tendência; variância média (s^2) uma medida de precisão; raiz quadrada do quadrado médio ($\sqrt{QM}$) demonstra a exatidão das predições e desvio (D%) afastamento do valor observado ……..... 50

1. INTRODUÇÃO

O uso de equações volumétricas, ferramenta básica como suporte ao manejo florestal, é de fundamental importância no planejamento e administração dos recursos na exploração florestal (Higuchi *et al*., 1997; Baima *et al*., 2001; Segura e Kanninen, 2005). Os planos de manejo têm o volume de madeira como principal váriavel de interesse, servindo as equações volumétricas para o controle, fiscalização e monitoramento (Scolforo *et al*., 2004). Porém é um grande desafio a elaboração e o ajuste de equações de volume para florestas tropicais frente à heterogeneidade de espécies e tipologias destes ecossistemas (Akindele e LeMay, 2006), entre outros fatores de ordem técnica, econômica e operacional (Silva, 1984; Baima *et al*., 2001; Silva 2007).

Desde a criação da primeira escola de florestas no mundo, na Alemanha em 1811, o setor florestal teve um grande avanço e passou a regular o corte de madeiras com base no volume (Silva e Rosokawa, 1978). Há na literatura diversos estudos desenvolvidos na geração de modelos volumétricos visando a previsão do estoque e determinação do potencial futuro madeireiro de florestas tropicais (p.ex: Spurr, 1952; Heinsdijk e Bastos, 1963; Silva, 1984; Higuchi, 1988; Finger, 1992; Higuchi *et al*., 1997; Rolim *et al*., 2006). Durante muitas décadas, pesquisas voltadas ao tema buscaram a elaboração de tabelas de volume, uma prática relativamente antiga na ciência florestal (Machado *et al*., 2000), para facilitar a exploração florestal em áreas nativas (Higuchi, 1982; Fernandes *et al*., 1983; Silva *et al*., 1984), mas principalmente em florestas plantadas (Scolforo, 1998; Machado *et al*., 2002; Santana e Encinas, 2004). Nestas tabelas usam-se uma ou mais variáveis de entrada, em que o volume é a variável dependente, associado às variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como: diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), altura (comercial ou total) e fator de forma (referente à forma do fuste da árvore). De acordo com Finger (1992) essas tabelas podem ser classificadas quanto ao número de variáveis independentes: com uma variável (tabelas locais), duas (tabelas padrão), três ou mais (tabelas por classe de forma). A partir da década 80 essas tabelas deixaram de ser usadas com tanta frequência, pela facilidade computacional para obter equações de volume.

Na região Amazônica há uma carência de estudos sobre este tema em função da diversidade de espécies e tipologias florestais (Baima *et al*., 2001). As equações de volume na região são aplicadas, na maioria das vezes, pela extrapolação de poucos modelos desenvolvidos para algumas regiões à toda bacia amazônica (Higuchi e Ramm, 1985). A aplicação destes

modelos para áreas extensivas é delicada, como demonstrado por Rolim *et al.* (2006), em que os modelos volumétricos desenvolvidos por Silva (1984) e Heinsdijk e Bastos (1963) usados na Flona do Tapirapé-Aquirí, PA, eram menos precisos e subestimavam o volume real em relação aos modelos locais. Portanto trabalhos que consideram escalas menores, dentro de uma abordagem local, são importantes para gerar modelos mais realísticos e ajustados, pois cada sítio florestal possui características próprias inerentes às variações de relevo, clima e vegetação (Higuchi *et al*., 2004; Rolim *et al*., 2006).

Três formas mais frequentes são abordadas para gerar equações de volume para florestas tropicais visando absorver a heterogeneidade existente neste ecossistema: 1. equações de volume para espécies individuais, 2. equações de volume para agrupamento de espécies por morfo-espécie; e 3. equações gerais para toda a área (Akindele e LeMay, 2006). De acordo com autores supracitados, equações para espécies individuais são difíceis de serem obtidas, muitas vezes por não se ter dados suficientes por espécie para ajustar os modelos e pela alta diversidade de espécies nas florestas tropicais (Avery e Burkhart, 2002).

Equações que consideram, além do DAP, outras variáveis como altura (comercial ou total) e forma da árvore são mais precisas (Silva e Carvalho, 1984; Santos, 1996; Rolim *et al*., 2006). Uma pergunta que cabe neste sentido é: mais precisas quanto? Muitas vezes, um pequeno aumento de precisão não é justificado pelas perdas econômicas na coleta de outra variável, como por exemplo, a altura (Silva e Carvalho, 1984; Santos, 1996). Além disso, alguns trabalhos recomendam o uso de modelos de simples entrada, tendo somente o DAP como variável independente, pela facilidade de mensuração, evitando-se assim, os erros gerados na coleta da variável altura (Segura e Kanninen, 2005; Silva, 2007). Essas tentativas são de fato importantes, uma vez que reconhece a imprecisão do uso de modelos volumétricos extrapolados para grandes áreas e muitas espécies (Fernandes *et al*., 1983; Santos, 1996; Baima *et al*., 2001; Rolim *et al*., 2006). A confiabilidade das estimativas geradas pelas equações volumétricas depende da representatividade das amostras em relação à área total de inferência e do ajuste do modelo aos dados coletados (Avery e Burkhart, 2002).

Neste contexto, o presente estudo propõe-se a suprir a demanda de informações sobre a volumetria, além de gerar equações de volume para a elaboração do plano de manejo da Reserva Extrativista Auatí-Paraná, bem como para a região do Alto Solimões.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

- Ajustar modelos volumétricos para a estimativa individual do volume comercial com casca do fuste das árvores (DAP $\geq$ 10 cm) na Reserva Extrativista Auatí-Paraná, com o uso de uma nova metodologia para a obtenção do conjunto de árvores-amostra geradoras dos modelos a partir da cubagem de árvores recém-caídas.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar o volume individual de árvores caídas;
- Identificar as espécies botânicas no conjunto das árvores caídas inventariadas;
- Determinar uma equação de volume com casca para a área da Resex;
- Determinar equações de volume com casca para árvores nas classes diâmetricas (10 $\leq$ DAP < 50 cm) e (DAP $\geq$ 50 cm);
- Determinar equações de volume com casca para espécies florestais madeireiras com potencial econômico, com o uso do método "jackknife";
- Definir a metodologia de coleta de dados para o desenvolvimento de equações de volume, baseado na cubagem rigorosa de árvores caídas;
- Analisar o desempenho de modelos alométricos para estimativa do volume comercial com casca gerados em outras regiões e aplicados ao novo conjunto de dados deste estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área

Os dados deste trabalho foram coletados na Resex Auatí-Paraná (figura 1) localizada no município de Fonte Boa, mesorregião do Alto Solimões, AM, à margem direita do Rio Solimões, distante 680 km de Manaus em linha reta e 1033 km por via fluvial, a 2º 31'S e 66º 2' O (Segov, 2007).

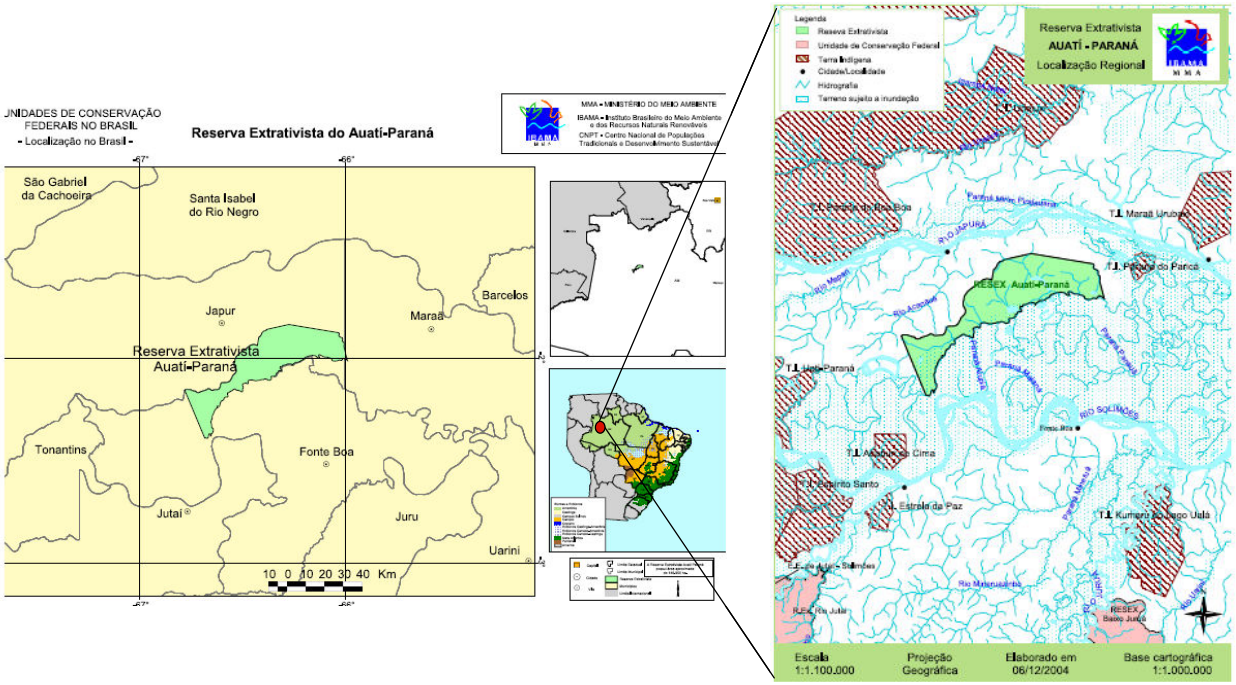

Figura 1. – Localização da Resex Auatí-Paraná município de Fonte Boa, Amazonas. (Fonte: IBAMA, 2007).

A Reserva Extrativista Auatí-Paraná foi criada em 7 de agosto de 2001. Esta unidade de conservação possui uma área de 146.950,46 ha, com uma população extrativista residente de, aproximadamente, 1.500 habitantes, organizada em 15 comunidades. O processo de sua criação emergiu da comunidade motivada por trabalhos da Comissão Pastoral da Terra (CPT) e outros, ligados à igreja católica, além de contar com o apoio do Centro Nacional de Desenvolvimento Sustentado das Populações Tradicionais - CNPT/Ibama (Santos *et al*., 2004).

O clima da região, segundo a classificação climática de *Köppen* é do tipo Af, constantemente úmido (RadamBrasil, 1978). Os meses mais secos na região ocorrem de julho a novembro, sendo a precipitação média anual de 2697 mm (Radambrasil, 1978).

De acordo com Ranzani (1980), predominam os solos Podzólicos Vermelho Amarelo e, subordinados a estes, os Latossolos Amarelos, com predominância de material pelítico. No município de Fonte Boa, os perfis analisados apresentaram características de Latossolos Amarelos álico de relevo plano a suavemente ondulado e solos bem drenados (Radanbrasil, 1978).

A cobertura vegetal da região é constituída por diversas formações diferenciadas (RadamBrasil, 1978). Dentre as mais importantes, encontram-se: Formação Pioneira, Sistema Ecológico da Campinarana, Refúgio Ecológico, Áreas de Tensão Ecológica, Sistema Ecológico da Floresta Tropical Densa e Sistema Ecológico da Floresta Tropical Aberta, sendo as duas últimas as mais encontradas no município de Fonte Boa.

Segundo o IBAMA (2007), a vegetação da Resex é formada por floresta tropical densa, com ambientes de matas de terra firme (caucho, castanha, e buriti), várzea (seringueira, maçaranduba, e louros) e igapó (buriti, breu, e ata do igapó). Santos *et al*. (2004) descrevem como famílias de maior riqueza em espécies amostradas, dentro da área da Resex: *Leguminosae* com 11 espécies (*Leguminosae*: *Caesalpinioideae* com 3 espécies; *Leguminosae*: *Mimosoideae* - 5 espécies; *Leguminosae*: *Papilionoideae* - 3 espécies); *Myristicaceae* com 8 espécies; *Lecythidaceae* e *Sapotaceae* com 7 espécies cada; *Moraceae* com 6 espécies e *Euphorbiaceae* com 5 espécies. Estas seis famílias somam 51% de todas as espécies amostradas na área de estudo.

3.2 Coleta de dados

3.2.1 Inventário e cubagem de árvores caída

Com o objetivo de facilitar a obtenção de árvores-amostra para ajustar as equações de volume, este trabalho utilizou a cubagem de árvores recém-caídas em bom estado de conservação. O inventário dessas árvores foi realizado simultaneamente ao inventário das árvores em pé, dentro das parcelas instaladas na Resex.

As árvores sem decomposição aparente que possibilitavam a obtenção de informações dendrométricas como diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), diâmetros das seções ao longo do fuste,

altura comercial e total foram cubadas rigorosamente, perfazendo um total de 206 árvores caídas com DAP ≥ 10 cm distribuídas em diferentes classes de diâmetro e altura (tabela 1).

Tabela 1. Distribuição das árvores caídas após a cubagem em classes de diâmetro (D) e altura total (H) do conjunto de árvores amostradas na Resex Auatí-Paraná.

Classe de diâmetro (cm)	Classe de altura total (m)								
	5 | – 10	10 | – 15	15 | – 20	20 | – 25	25 | – 30	30 | – 35	35 | – 40	H≥40	Total geral
10 | – 20	2	11	17	4	1	-	-	-	35
20 | – 30	-	2	31	12	4	1	-	-	50
30 | – 40	-	1	6	21	8	2	-	-	38
40 | – 50	-	-	3	15	9	6	-	-	33
50 | – 60	-	-	5	7	6	1	-	-	19
60 | – 70	-	-	-	4	4	-	-	-	8
70 | – 80	1	-	-	2	3	3	-	1	10
80 | – 90	-	-	-	-	3	3	-	-	6
90 | – 100	-	-	-	-	3	-	-	-	3
D ≥100	-	-	-	-	1	1	1	1	4
Total geral	3	14	62	65	42	17	1	2	206

3.2.2 Volume sólido real

O volume individual das árvores cubadas foi obtido por meio da combinação dos métodos: de *Smalian* (medição do diâmetros na base e do topo de cada seção) e de *Hohenald* (divisão relativa do comprimento da seção).

Pela facilidade da árvore estar no chão, mediram-se as alturas comercial (comprimento do fuste até a primeira bifurcação) e altura total com o auxílio de trena métrica. A altura comercial foi dividida em 10 partes (ou seções), sendo que em cada seção foram medidos os diâmetros da base e do topo com o auxílio de uma suta (figura 2d).

O volume de cada seção resulta da multiplicação da área basal média (base e topo) pelo comprimento da seção (1/10 da altura comercial). O somatório dos volumes das 10 seções constitui o volume total da árvore, dado pela fórmula:

$$Vc/c = \frac{\pi}{4} \cdot \left\{ \frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} + D_1^2 + D_2^2 + \ldots + D_9^2 \right\} \cdot \frac{c}{10}$$

Onde: Vc/c = volume comercial com casca (m^3); D_0, D_1, D_2..
D_{10} = diâmetro do cilindro (cm); e c = comprimento de cada seção (altura comercial, em m, divido pela razão 10).

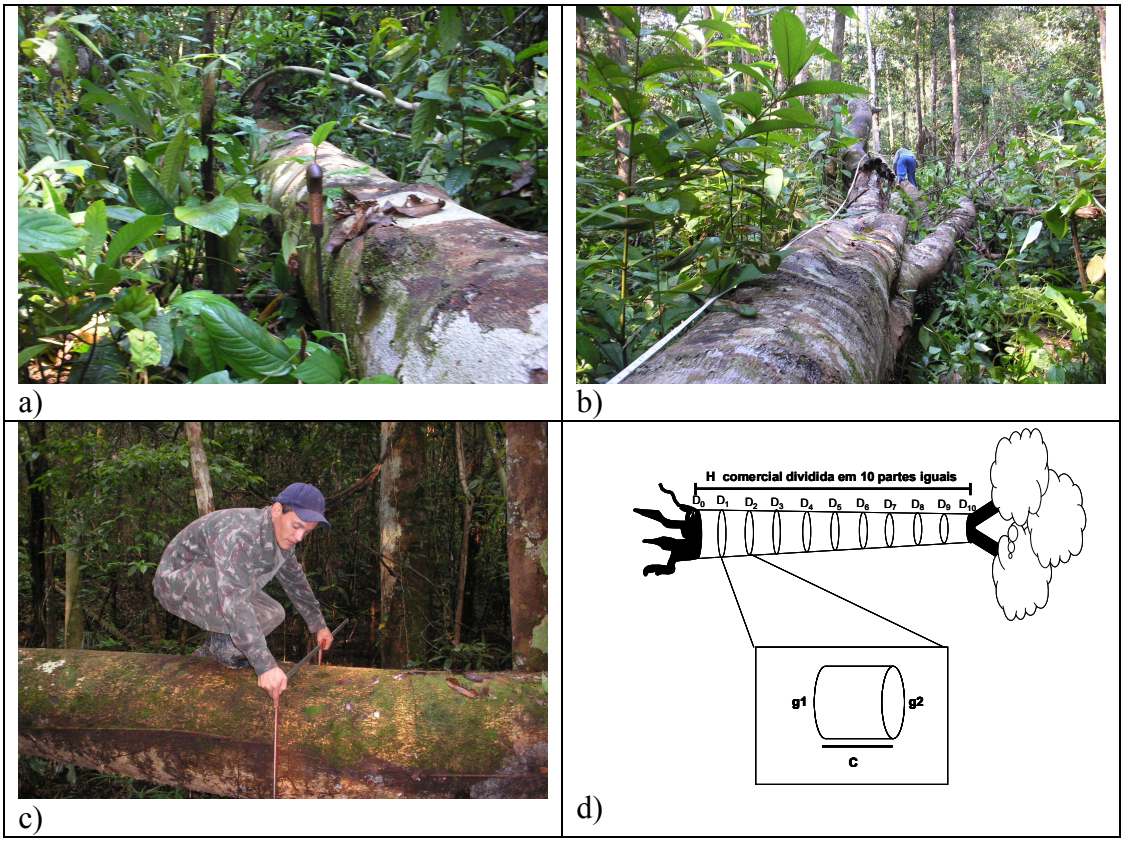

Figura 2. Procedimentos da cubagem rigorosa das ávores caídas na Resex ilustrando: a) foto de árvore recém-caída; b) medição da altura com o uso de trena; c) medição de diâmetro com o uso da suta e d) esquema de cubagem de árvore caída dividindo a altura comercial em 10 partes.

3.2.3 Identificação Botânica

Para garantir uma correta identificação botânica da madeira caída sabendo-se das dificuldades em função da falta de materiais botânicos (folhas, flores e frutos) foi coletada uma amostra de madeira (disco de 5 cm de espessura) das árvores cubadas que possibilitavam tal coleta (figura 3). As amostras foram encaminhadas para identificação no Laboratório de Anatomia da Madeira – Coordenação em Pesquisas de Prudutos Florestais - CPPF/INPA.

Figura 3. Amostra anatômica do fuste de árvore caída (disco de 5 cm de espessura) coletada na Resex Auatí-Paraná.

3.3 Modelos volumétricos

3.3.1 Modelos testados

Dezoito modelos volumétricos, de freqüente uso na mensuração florestal, foram ajustados para a obtenção do volume individual com casca para as árvores cubadas (tabela 2). Sendo ajustados modelos gerais para toda a vegetação da Resex, por classe diamétrica ($10 \leq DAP < 50$ cm; $DAP \geq 50$ cm) e para espécies florestais madereiras de importância econômica identificadas entre as árvores caídas.

Os modelos lineares foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados; os modelos não lineares pelo método de quadrados mínimos não lineares, com o uso do algoritmo *Gauss-Newton* para aproximação linear (Bates e Watts, 1988). Em cada modelo testado foram aplicadas análises de variância (teste F) e teste de siginificância dos coeficientes (teste t) de acordo com Draper e Smith (1996), Neter e Wasserman (1974) e Weiss e Hassett (1982), utilizando o pacote estatístico SYSTAT (versão 10.0).

Tabela 2. Modelos volumétricos testados para estimativa individual do volume do fuste com casca das árvores cubadas.

Número	Modelos	Autor
1	$V= \beta 0 + \beta 1\ DAP + \varepsilon i$	Dissescu-Stanescu
2	$V= \beta 0 + \beta 1\ DAP^{2} + \varepsilon i$	Kopezky-Gehrardt
3	$V= \beta 0\ DAP^{\beta 1} + \varepsilon i$	
4	$V= \beta 0\ (DAP^{2})^{\beta 1} + \varepsilon i$	
5	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln DAP + \varepsilon i$	Husch
6	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln DAP^{2} + \varepsilon i$	
7	$V= \beta 0 + \beta 1\ (DAP^{2}\ HC) + \varepsilon i$	Spurr
8	$V= \beta 0 + \beta 1\ (DAP^{2}\ HT) + \varepsilon i$	Spurr
9	$V= \beta 0 + \beta 1\ DAP + \beta 2\ HC + \varepsilon i$	
10	$V= \beta 0 + \beta 1\ DAP + \beta 2\ HT + \varepsilon i$	
11	$V= \beta 0\ DAP^{\beta 1}\ HC^{\beta 2} + \varepsilon i$	Schumacher-Hall (original)
12	$V= \beta 0\ DAP^{\beta 1}\ HT^{\beta 2} + \varepsilon i$	Schumacher-Hall (original)
13	$V= \beta 0\ (DAP^{2}\ HC)^{\beta 1} + \varepsilon i$	
14	$V= \beta 0\ (DAP^{2}\ HT)^{\beta 1} + \varepsilon i$	
15	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln (DAP^{2}\ HC) + \varepsilon i$	Spurr Logarítmica
16	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln (DAP^{2}\ HT) + \varepsilon i$	Spurr Logarítmica
17	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln DAP + \beta 2 \ln HC + \varepsilon i$	Schumacher-Hall (logarítmica)
18	$\ln V= \beta 0 + \beta 1 \ln DAP + \beta 2 \ln HT + \varepsilon i$	Schumacher-Hall (logarítmica)

Onde: V = volume comercial de cada árvore (m^3); DAP=diâmetro a 1,30 m do nível do solo (cm); HT = altura total de cada árvore (m); HC = altura comercial (m); $\beta 0$, $\beta 1$ e $\beta 2$ = coeficientes de regressão; εi = erro aleatório; ln = logaritmo natural.

3.3.2 Equações para espécies madeireiras de importância econômica com uso do método "Jackknife"

Para as três espécies (tauari, anoerá e castanha-sucupira) que tiveram maior número de indivíduos na amostragem das árvores caídas (anexo 1), ajustou-se uma equação de volume submetida ao método "jackknife" com base nos procedimentos e referencial teórico apresentados por Higuchi (1992). As etapas descritas por este autor consistem: *i)* ter um conjunto de dados através da medição do DAP (truncadas a um determinado DAP) dentro de unidades amostrais, aleatoriamente, selecionadas da área a ser inventariada; *ii)* ordenar em ordem crescente todos os valores de DAP medidos; *iii)* usar a ordem estatística para selecionar as árvores que serão derrubadas para obtenção do volume real e *iv)* usar os procedimentos normais da regressão de acordo com a metodologia do método "jackknife" para obter as estimativas necessárias. A etapa

iii) supracitada foi adaptada neste trabalho em função da coleta dos dados serem feitas em árvores caídas para obtenção do volume real, não sendo executada a derrubada de árvores.

De acordo com Yang e Kung (1983), as árvores para os subgrupos que serão submetidos ao "jackknife", podem ser selecionadas usando a ordem estatística, principalmente, se a amostra for grande. Higuchi (1992) usou a progressão geométrica para selecionar as árvores individuais para montar o subconjunto a ser submetido ao "jackknife". Como foi verificado um pequeno número de indivíduos para as três espécies analisadas ($n < 30$), foram utilizados todos os indivíduos da espécie como conjunto de dados geradores do modelo submetido ao "jackknife", sem a retirada aleatória de um subconjunto.

A equação não linear exponencial de única entrada foi ajustada para cada espécie, porque exige apenas o DAP como variável independente, de fácil mensuração e apresenta bom ajuste entre os modelos testados.

Com base no conjunto de dados de cada espécie: anoerá (n= 9), tauari (n= 12) e castanha-sucupira (n= 7) foram obtidas as estimativas parciais dos coeficientes de regressão por meio do processamento dos dados no pacote estatístico Systat (versão 10.0). Com estas estimativas calculam-se os pseudo-valores dos coeficientes. As estimativas dos coeficientes de regressão final que serão utilizados nos modelos foram obtidas por meio da média dos pseudo-valores.

Os procedimentos para os cálculos dos coeficientes de regressão submetidos ao método "jackknife" para pequenas amostras ($n<30$) foram demonstrados, tendo como exemplo o conjunto de dados da espécie castanha-sucupira (n= 7) no total de árvores cubadas (n= 206) na Resex.

Foi realizada a análise de regressão para o conjunto (r= 7) da espécie obtendo a estimativa do coeficiente para o conjunto. Após, retira-se a árvore um do conjunto ($\hat{O}_{-1}$) e roda novamente a análise de regressão obtendo-se a estimativa parcial dos coeficientes para o conjunto sem a árvore um. Na seqüência retorna-se com a árvore um para o conjunto de dados e retira-se a árvore dois ($\hat{O}_{-2}$) obtendo-se as estimativas para o conjunto sem a árvore dois, retornando-se após a árvore dois e assim procedendo para as demais árvores do conjunto. Isso explica a questão do uso e re-uso da árvore na amostra, uma vez que, um mesmo indivíduo participa em vários sub-grupos do conjunto. Também obtém-se a estimativa para todo o conjunto de árvores cubadas (n= 206) como demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Estimativas parciais dos coeficientes de regressão para o conjunto de dados da espécie castanha-sucupira (r= 7) e para sub-grupos com o uso e re-uso de cada indivíduo da espécie ($\hat{O}_{-1}$ até $\hat{O}_{-7}$).

Conjuntos	**a**	**b**
r=7	0,000382	2,200433
$\hat{O}_{-1}$	0,000551	2,118515
$\hat{O}_{-2}$	0,000271	2,276981
$\hat{O}_{-3}$	0,000373	2,205625
$\hat{O}_{-4}$	0,000386	2,198105
$\hat{O}_{-5}$	0,000400	2,190175
$\hat{O}_{-6}$	0,000384	2,199250
$\hat{O}_{-7}$	0,007348	1,323547
n=206	0,001481	1,891552

$\hat{O}$ = estimativa para r conjunto (árvores individuais)
$\hat{O}$-j = estimativa parcial excluindo a j-ésima árvore do conjunto.

Com estas estimativas parciais dos coeficientes de regressão calculam-se os pseudo-valores, por meio do uso da sequinte formula:

$$\hat{O}*j = \text{pseudo valor} = r * \hat{O} - (r-1)\ \hat{O}\text{-}j \text{ para } j = 1, 2, \ldots . r$$

Aplica-se está formula com base nos dados parciais das estimativas dos coeficientes da espécie castanha-sucupira (tabela 3) para os cálculos dos pseudo-valores do *coeficiente a*:

$$\hat{O}_{*1} = (7 * 0{,}000382)-(7-1) * 0{,}000551 = -0{,}000632$$
$$\hat{O}_{*2} = (7 * 0{,}000382)-(7-1) * 0{,}000271 = 0{,}001048$$
$$-$$
$$\hat{O}_{*7} = (7 * 0{,}000382)-(7-1) * 0{,}007348 = -0{,}041414$$

Os mesmo procedimentos são adotados para o cálculo do *coeficiente b*:

$$\hat{O}_{*1} = (7 * 2{,}200433)-(7-1) * 2{,}118515 = 0{,}000632$$
$$\hat{O}_{*2} = (7 * 2{,}200433)-(7-1) * 2{,}276981 = 0{,}001048$$
$$-$$

$$\hat{O}_{*7} = (7 * 2{,}200433)-(7-1) * 1{,}323547 = 0{,}041414$$

A estimativa dos coeficientes de regressão final que serão usados nos modelos foram obtidas por meio da média dos pseudo-valores (tabela 4).

Tabela 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para o conjunto de dados da espécie castanha-sucupira (r=7).

Pseudo Valores	a	b
$\hat{O}_{*1}$	- 0,000632	2,691941
$\hat{O}_{*2}$	0,001048	1,741145
$\hat{O}_{*3}$	0,000436	2,169281
$\hat{O}_{*4}$	0,000358	2,214401
$\hat{O}_{*5}$	0,000274	2,261981
$\hat{O}_{*6}$	0,000370	2,207531
$\hat{O}_{*7}$	- 0,041414	7,461749
média	- 0,005651	2,964004

Sendo a equação ajustada no final com o valor da média ($V=.0{,}005651*DAP \wedge {}^{2{,}964004}$). O valor do coeficiente de determinação, erro padrão e erro padrão da estimavia é a média dos valores obtidos para cada sub-grupo.

3.3.3 Análise de desempenho

Os melhores modelos volumétricos desenvolvidos por Fernandes *et al*. (1983), Higuchi e Ramm (1985) e Higuchi *et al*. (1997) foram testados com o novo arquivo de dados da Resex Auatí-Paraná (tabela 3), com o objetivo de avaliar a estabilidade e o desempenho destes modelos frente à nova base de dados. Os modelos testados já foram comprovados em outros sítios de pesquisas e, por esta razão, têm chances reais de repetirem os desempenhos também neste estudo.

Tabela 5. Modelos volumétricos submetidos à análise de desempenho para estimativa individual do volume de árvores, frente ao conjunto de árvores cubadas na Resex Auatí-Paraná.

n	Equações	Autor
1	$\ln V= -7{,}335 + 2{,}121 \ln DAP$	Higuchi *et al.* (1997)
2	$\ln V= 0{,}072 + 2{,}096 \ln DAP + 0{,}836 \ln HC$	Higuchi e Ramn (1985)
3	$V= 3{,}2917076\ DAP^{2{,}15715791}\ HC^{0{,}42020427}$	Fernandes *et al.* (1983)

Para avaliar a estabilidade e o desempenho destes modelos foram utilizados os índices estatísticos (tabela 6), baseados no trabalho de Mello e Batista (2002) adaptados da metodologia de Prodan *et al.* (1997) para validação preditiva de modelos volumétricos. Sendo o erro médio ($\bar{e}$) uma medida de tendência; variância média (s^2) uma medida de precisão e raiz quadrada do quadrado médio ($\sqrt{QM}$) demonstra a exatidão das predições.

Tabela 6. Índices estatísticos aplicados aos modelos volumétricos submetidos à análise de desempenho para estimativa individual do volume de árvores com casca na Resex Auatí-Paraná.

Índices estatísticos	**Formula**
Erro médio ($\bar{e}$)	$e = \frac{\sum_{i=1}^{n} \ell i}{n}$
Variância dos erros ($\bar{s}^2$)	$\bar{s}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\ell i - \bar{e})^2}{n(n-1)}$
Raiz quadrada do quadrado médio do erro ($\sqrt{QM}$)	$QM = \sqrt{\bar{e}^2} + \bar{s}^2$
Onde: ℓi = diferença entre o volume real e estimado; n = número de árvores	

Ainda, foi observado o desvio (afastamento) em %, do volume (V) médio estimado pelas diferentes equações, em relação ao volume médio observado (Higuchi *et al*., 1998), dado pela formula:

Desvio = (D%) = (V. médio observado – V. médio estimado) / V. médio observado*100

3.4 Escolha do melhor modelo

Para a escolha do melhor modelo estatístico foram adotados os procedimentos tradicionais da ciência florestal, de acordo com Draper e Smith (1966) e Santos (1996).

Os indicadores de qualidade do modelo foram: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor erro padrão de estimativa (S_{yx} em %) e melhor distribuição de resíduos.

A análise de variância para regressão foi aplicada para verificar a significância dos modelos. O R^2_{aj} indica o quanto da variação dos dados é explicado pelo modelo. O S_{yx} demonstra

a precisão do modelo, sendo que para se ter a dimensão exata da precisão do modelo, este erro tem que ser calculado em relação à média da variável dependente, através da fórmula:

$$\text{Erro (\%)} = [(\text{EPE} / \sqrt{n}) / \text{média}] * 100$$

Onde: EPE = erro padrão da estimativa; n= número de amostras; média = volume observado

Em inventários florestais, o erro (%) aceitável é de 10%. Quanto menor o erro, mais preciso é o modelo. A distribuição de resíduos indica a consistência do modelo e tem que ser uniforme, independentemente, do tamanho das árvores. A decisão final sobre o melhor modelo dependerá ainda dos custos de coletas das variáveis independentes durante o inventário florestal.

3.5 Modelos logarítmicos versus não logarítmicos

Em geral, na saída (output) da maioria dos pacotes estatísticos, o erro padrão de estimativa (EPE) do modelo logarítmico é apresentado com base no logaritmo, natural (ln) ou na base 10 (log). Nos modelos logarítmicos, a variável dependente é ln V (logaritmo do volume) e nos não logarítmicos é o V (volume). O ln V é uma boa variável dependente, mas não tem o menor sentido prático porque a comunicação entre madeireiros, por exemplo, é sempre feita por meio do volume. Portanto, o ln V tem que ser transformado em volume, que é real e permite a caracterização empírica.

Na literatura, há vários índices recomendados para corrigir o erro padrão de estimativa de modelos logarítmicos. Os principais são: (i) Índice de Furnival: (EPE) * exp (Σ ln V/n); - Furnival (1961); (ii) Sprugel: (EPE) * exp (EPE^2 / p); onde p = número de coeficientes; - Sprugel (1983); e (iii) Santos: (EPE) * exp (QMR/2); onde QMR = quadrado médio dos resíduos; - Santos (1996). Nos três casos, o fator de correção é o exponencial ou o anti-logarítmo da média dos valores transformados em logarítmos ou do erro (Syx%) e o erro corrigido é o erro estimado multiplicado por este fator.

Estes índices são recomendados apenas quando há necessidade de comparar os desempenhos de modelos logarítmicos e não logarítmicos. Quando modelos não logarítmicos não são envolvidos, estes índices são, completamente, ignorados. Os erros são sempre muito pequenos. O índice de Furnival, por exemplo, corrige com base no inverso do ln V médio. Sendo

assim, corrigir o EPE com base apenas na variável dependente não é suficiente; a combinação da variável dependente com as independentes tem que ser levada em consideração.

Neste trabalho, o erro padrão de estimativa foi calculado com base na aplicação do modelo logarítmico aos dados originais, proposto por Silva (2007). A soma dos quadrados dos resíduos (*SQR*), o quadrado médio dos resíduos (*MQR*) e o EPE serão calculados, respectivamente, por meio das seguintes fórmulas:

$$SQR = (\text{V estimado pelo modelo} - \text{V observado})^2;$$

$$\text{MQR} = \text{SQR} / (n - c), \text{ onde: } c = \text{número de coeficientes do modelo e } n = \text{número de amostras};$$

$$\text{EPE} = \sqrt{\text{MQR}} = \text{desvio padrão}$$

3.6 Equação única "paralelismo e coincidência das estimativas de volume"

Após a escolha do melhor modelo entre os ajustados para o manejo da Resex (pelos critérios propostos), e o melhor da análise de desempenho dos três modelos desenvolvidos em outra região e aplicados ao novo conjunto de dados foi analisada a possibilidade de usar uma única equação. Para tanto foram aplicados procedimentos baseados em Thomas *et al*. (2006) por meio do teste Qui-quadrado (χ^2), com nível de significância (α) de 0,01, utilizando-se a equação:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} (V1-V2)^2/V1$$

Em que: V1 = volume com casca (m^3) estimado pela melhor equação da análise de desempenho frente ao conjunto de dados da Resex; V2 = volume com casca (m^3) estimado pelo melhor modelo ajustado para a Resex.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos dados

4.1.1 Distribuição diamétrica e Volume real

Observa-se na tabela 7 o comportamento das variáveis dendrométricas e o volume real coletado no conjunto de 206 árvores recém-caídas que foram rigorosamente cubadas na área da Resex Auatí-Paraná. O volume real total das árvores cubadas foi de 384,7 m^3, com média de 1,87 m^3 árvore. Há uma grande variação na amplitude das variáveis DAP e volume, como demonstrado pelo alto valor do coeficiente de variação, o que para a Amazônia é considerado normal. Higuchi *et al.* (1998) usando um banco de dados com 315 árvores de DAP $\geq$ 5 cm coletadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST), Manaus, para estimar a biomassa de árvores em pé, observaram alta variabilidade nas variáveis descritoras: DAP, altura total e peso total, CV em %: 96, 45 e 290 respectivamente. Assim como o peso (kg) teve a maior variabilidade natural constatado por estes autores, o volume com casca (m^3) possui a maior variação dentro do conjunto de dados observado neste trabalho.

Tabela 7. Média (x), desvio padrão (s), coeficiênte de variação (CV em %) e valores extremos para o conjunto de árvores-amostras (n = 206), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

Variável	x	s	CV (%)	Mínimo	Máximo
DAP (cm)	39,35	23,26	59,13	10	180
Altura total (m)	22,03	5,94	26,97	7,9	48
Altura comercial (m)	12,62	4,06	32,17	5,3	32
Volume c/c (m^3)	1,87	3,05	163,37	0,05	24,96

A distribuição do conjunto de dados geradores dos modelos em classes de diâmetro evidencia uma maior concentração de árvores caídas nas classes de menor diâmetro e na tipologia de floresta de terra firme. O maior DAP encontrado na amostragem foi de 180 cm, com apenas quatro árvores com DAP $\geq$ 100 cm. Das árvores caídas amostradas 24,3% pertecem à classe de diâmetro (20 < DAP < 30 cm), e 75,7% (frequênica acumulada) dos indivíduos cubados estão entre as quatro primeiras classes de diâmetro (figura 4). O maior número de árvores caídas "mortas" na classe de 20 a 30 cm de diâmetro está de acordo com dados observado por Higuchi

et al. (2004) estudando a dinâmica de florestas na Amazônia Central, onde o diâmetro médio das árvores mortas foi de 27 cm.

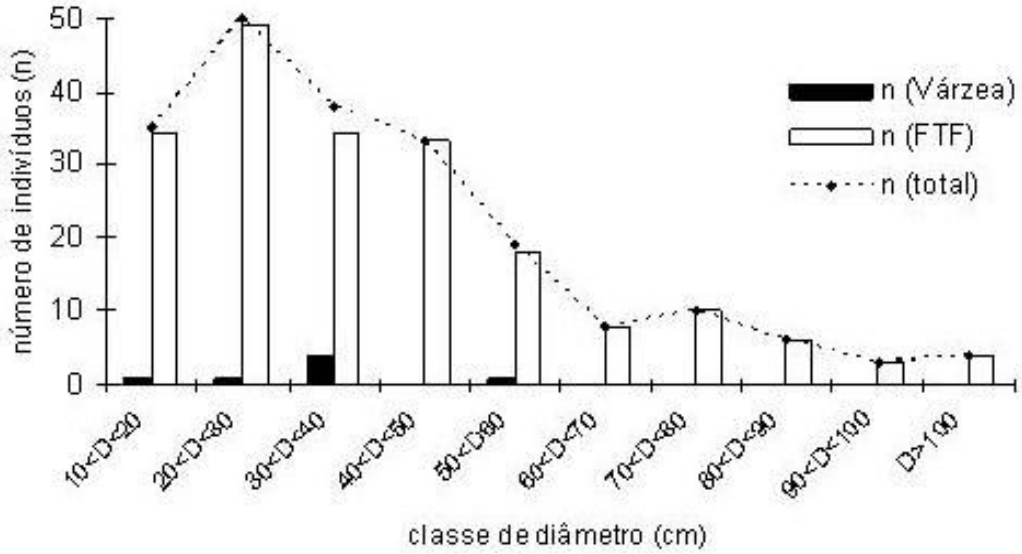

Figura 4. Número de indivíduos de árvores caídas (n) distribuido por classes de diámetro, tipologia florestal (várzea e floresta de terra firme – FTF) e total, amostradas na área da Resex Auatí-Paraná, AM.

Esse desbalanceamento nos dados pode aumentar a variância, ocasionando problemas no ajuste de equações de volume para classes de diâmetro e tipologias. Normalmente árvores de pequenos diâmetros apresentam pouca variação em volume, sendo maior em grandes árvores, o que leva uma diminuição da homogeneidade dos dados. Cunia (1964) demonstrou que a variância do volume possui uma relação crescente com o diâmetro. Silva e Carvalho (1984) recomendam a coleta de um número balanceado de indivíduos nas classes de diâmetro para melhorar as estimativas do volume de madeira pelos modelos.

4.1.2 Identificação botânica de árvores caídas

Entre as árvores caídas cubadas foram identificadas 53 espécies, distribuídas em 42 gêneros e 21 famílias botânica. Do total de indivíduos amostrados de árvores caídas (n=206) foram identificadas 95 árvores, ficando o restante indeterminado (Anexo 1). As três espécies: tauari (n= 12), anoerá (n= 9), e castanha-sucupira (n= 8) apresentaram o maior número de indivíduos entre as espécies identificadas. Higuchi *et al*. (1985) no projeto "Manejo Ecológico e Exploração da Floresta Tropical Úmida" sobre a presença de árvores caídas e/ou mortas em pé, estas aparecem

com um percentual de 12,5% da freqüência total, sendo as espécies mais freqüentes: tachi-vermelho (*Sclerolobium sp*), matamatá (*Eschweilera sp*), abiurana (*Micropholis mensalis* (Baehni) Aubr.) e piãozinho (*Micrandropsis scleroxylon* W. Rodr.).

A identificação botânica das árvores caídas é difícil pela ausência, na maioria das vezes, de materiais reprodutivos (flores e frutos) e vegetativo (folhas), sendo por isso também dispendiosa e cara, pois exige a coleta e análise de material anatômico do tronco. Porém vale ressaltar a importância da mesma, dando suporte para geração de equações de volume para espécies específicas, e permitindo a valoração e uso adequado dessa madeira caída dentro de projetos de manejo com as comunidades.

Baima *et al*. (2001) colocam a importância de aumentar o esforço na geração de modelos volumétricos para espécies madereiras de potencial econômico, sendo poucos os trabalhos que desenvolveram equações para espécies ou grupos de espécies. Entre esses trabalhos, por exemplo: Higuchi e Ramm (1985) geraram equações de volume com casca para as três famílias mais abundantes em florestas de terra firme na região de Manaus, AM, sendo a equação de *Schumacher-Hall* a mais ajustada. Silva e Carvalho (1984) desenvolveram uma equação volumétrica para a espécie *Vochysia máxima*, em florestas secundárias no Planalto Tapajós-Belterra, PA, devido a sua importância madeireira e abundância na região. Para um levantamento completo das espécies e regiões que possuem equações de volumes geradas, consultar o trabalho de Baima *et al*. (2001).

4.2 Modelos ajustados

4.2.1 Modelos gerais

Todas as equações foram altamente significativas com altos valores de F e $p < 0,01$ (anexo 2), altos coeficientes de determinação (R^2_{aj}) e baixas estimativas de erros (S_{yx}). Baima *et al*. (2001) mostraram que a precisão obtida para equações de volume desenvolvidas para regiões da Amazônia e diversas espécies variam entre 4% e 21%. Os valores obtidos no presente estudo estão dentro desta faixa, só que melhor ajustados com erros 9,6% mais baixos que o limite superior proposto por estes autores (tabela 8).

Entre os modelos gerais, as equações de dupla entrada, modelos do n° 7 a 18 foram mais precisas que as equações de única entrada. Os modelos de simples entrada, n° de 1 a 6 apresentaram indicadores inferiores aos de dupla entrada, mas aceitáveis, explicando de 77 a 95% da variação dos dados e com erros padrões da estimativas, menores de 11,5% (tabela 8).

Baima *et al*. (2001) atribuiram 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.

Tabela 8. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx}%) para os modelos volumétricos gerais, na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

Modelos	a	b	C	R^2_{aj}	S_{yx}	S_{yx}%
1. V= a + b DAP	-2,552732	0,111708		0,77	0,11	11,43
2. V= a + b DAP ²	-0,003792*	0,000885		0,84	0,09	9,82
3. V= a DAP ^{b}	0,001382	1,903898		0,85	0,09	9,72
4. V= a (DAP ²) ^{b}	0,001382	0,951948		0,85	0,09	9,72
5. ln V= a + b ln DAP	-8,108404	2,260256		0,95	0,11	11,5
6. ln V= a + b ln DAP^2	-8,108404	1,130128		0,95	0,11	11,5
7. V= a + b (DAP ^{2} HC)	0,315523	0,475805		0,91	0,06	6,46
8. V= a + b(DAP ^{2} HT)	0,156964	0,311412		0,90	0,08	8,1
9. V= a + b DAP + c HC	-3,451229	0,102330	0,100417	0,78	0,10	10,96
10. V= a + b DAP + c HT	-2,793417	0,109228	0,015354*	0,77	0,11	11,42
11. V= a DAP ^{b} HC ^{c}	0,000135	1,656946	1,220941	0,94	0,05	5,18
12. V= a DAP ^{b} HT ^{c}	0,000013	1,847124	1,462713	0,93	0,06	5,96
13. V= a (DAP ^{2} HC) ^{b}	0,767629	0,862938		0,93	0,05	5,76
14. V= a (DAP ^{2} HT) ^{b}	0,401555	0,934036		0,90	0,07	7,98
15. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HC)	-0,453670	0,952863		0,98	0,06	6,38
16. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HT)	-0,989521	0,951756		0,96	0,08	8,04
17. ln V= a + b ln DAP + c ln HC	-9,152903	1,948463	0,861403	0,98	0,06	6,86
18. ln V= a + b ln DAP + c ln HT	-9,316195	2,017438	0,676221	0,96	0,08	8,66

*coeficientes não significativos pelo test t ($p > 0,05$).

As equações de dupla entrada obtiveram melhores ajustes que as equações de simples entrada, com maiores R^2_{aj} variando de 0,77 a 0,98 e menores S_{yx} entre 5,18 a 11,42%, sendo para as equações de simples entrada observado menor R^2_{aj} variando de 0,77 a 0,95 e maiores S_{yx} entre

9,72 a 11,5%. O mesmo padrão foi observado por Rolim *et al.* (2006) utilizando 12 modelos volumétricos analisados na Flona do Tapirapé-Aquiri, PA, em que os modelos de simples entrada apresentaram R^2_{aj} variando entre 0,82 a 0,91, sendo estes, menores que os encontrados utilizando as equações de dupla entrada (0,98 a 0,99).

Entre os modelos de dupla entrada o modelo 11 que é a equação de *Schumacher-Hall*, na forma original, observou-se os melhores indicadores (tabela 8), e boa distribuição dos resíduos com leve tendência em superestimar o volume (figura 7), sendo superior aos modelos logarítmicos que normalmente são os melhores ajustados.

O modelo logarítmico de *Schumacher-Hall* para expressar o volume de madeira em função do diâmetro e altura tem sido apontado como o mais eficiente para descrever esta relação funcional, principalmente em florestas plantadas (Guimarães e Leite, 1996). Há muitos anos esta equação tem sido a mais empregada no setor florestal, em função de sua boa estimativa e ausência de têndencia na distribuição dos resíduos. Os modelos logarítmicos têm sido indicados para estimar o volume de madeira de florestas tropicais (Silva *et al*., 1984; Higuchi e Ramm, 1985; Rolim *et al*., 2006), mas observa-se em outros estudos realizados em sítios florestais na região amazônica bom ajuste de equações não lineares exponenciais (Fernandes *et al*., 1983; Silva 2007), como também encontrado neste estudo. O uso de modelos ponderados pela função logarítmica exige cuidados no viés de transformação desta equação, discrepância logarítmica, ao se transformar o volume obtido na forma (lnV) para volume aritimético (V). Normalmente corrigido pelo índice de Furnival, que retorna através da função anti-logarítmica, uma média geométrica do volume, diferente da média aritmética (Silva, 2007).

A equação exponencial de dupla entrada (equação 13) com o volume em função da variável combinada de *Spurr*, obteve-se bons indicadores (tabela 8). De acordo com Silva *et al.* (1984) a combinação das duas variáveis (DAP^2 H), na forma do quadrado do diâmetro multiplicado pela altura, comercial ou total, é altamente correlacionada com o volume. Mas, a análise gráfica dos resíduos mostra uma tendência em super estimar o volume de pequenas árvores (figura 7).

Entre as equações de simples entrada, os modelos 3 e 4, equações exponencial com o volume em função do DAP e do DAP^2 respectivamente, obtiveram os menores erros de estimativas (tabela 6). Porém, a distribuição gráfica dos resíduos foi tendenciosa (figura 7), superestimando o volume das árvores de menor diâmetro (DAP < 40 cm). A avaliação gráfica da distribuição dos resíduos é indespensável na análise da escolha do melhor modelo, como

apresentado por Machado *et al*. (2002), mesmo que os critérios de ajustes ($R^2_{aj;}$ S_{yx}%) sejam satisfatórios. Deve-se ter cuidado no uso destas equações (3 e 4) na estimativa do volume para árvores de menores diâmetros. O modelo 2, a equação de *Kopezky-Gehrhardt* foi bem ajustada (R^2_{aj} = 0,84) e precisa (S_{yx} = 9,82%). Porém, com tendência na distribuição dos resíduos em superestimar o volume para árvores com DAP < 20 cm exigindo precaução no seu uso para árvores neste intervalo de diâmetro (figura 5). E também, apresentou o *coeficiente a* "constante" não significativo, o que pode ser problemas de multicolinearidade como observado por Oliveira *et al*. (2005) no ajuste do modelo de *Spurr (1952)* para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas gerais.

Como opção a estas equações (2, 3 e 4) pode-se utilizar o modelo de *Husch* a equação 5, e a equação 6 que, no conjunto dos indicadores, foram os melhores modelos de simples entrada, com valores de erros pouco superiores (1,78%) aos modelos supracitados, mas apresentam altos coeficientes de determinação e boa distribuição dos resíduos (figura 6). Consequentemente, pela simplicidade operacional da equação 5 recomenda-se o seu uso. Rolim *et a.l* (2006) também apresentam como opção o uso da equação de *Husch*, frente ao modelo de dupla entrada (*Shumacher-Hall*), que melhor se ajustou na área de seu estudo, na Serra dos Carajás, PA.

A distribuição dos resíduos para os modelos lineares foi tendenciosa para as árvores de pequeno porte (DAP < 40 cm), com alguns modelos subestimando ou superestimando o volume de madeira, exceto para o modelo de *Kopezky-Gehrhardt* ($V=a+b*DAP^2$) que apresentou menor tendência na distribuição de resíduos (Figura 5). De acordo com Silva *et al.* (1984) o quadrado do diâmetro é altamente correlacionado com o volume, o que justifica esta maior aleatoriedade na distribuição dos resíduos. A distribuição não aleatória dos resíduos nas equações lineares é esperada, conforme Rolim *et al*. (2006) observaram para os quatros modelos de simples entrada testados por estes autores, pois estes modelos assumem que árvores de mesmo diâmetro têm a mesma altura, fato que não é verdadeiro para florestas nativas.

A distribuição de resíduos das equações não lineares logarítmicas, modelos de simples e dupla entrada, foram boas com baixo viés na estimativa do volume ao longo da variação diamétrica, destacando a equação de *Schumacher-Hall* tanto para a altura comercial como total (figura 6). Segundo Silva *et al*. (1984) o melhor ajuste das equações logarítmicas aos dados pressupõe a falta de homogeneidade de variâncias, fato em geral observado no ajuste de equações para florestas tropicais.

As equações não lineares exponenciais apresentaram má distribuição dos erros, com tendência de as equações de simples entrada em superestimar o volume das árvores de menores diâmetros (DAP < 40 cm). As equações de dupla entrada foram melhor na distribuição dos resíduos, em especial a equação de *Schumcher e Hall* na forma original ($V=a*DAP^b*HC^c$) que obteve uma boa distribuição dos erros, confirmando sua melhor performance neste estudo (figura 7).

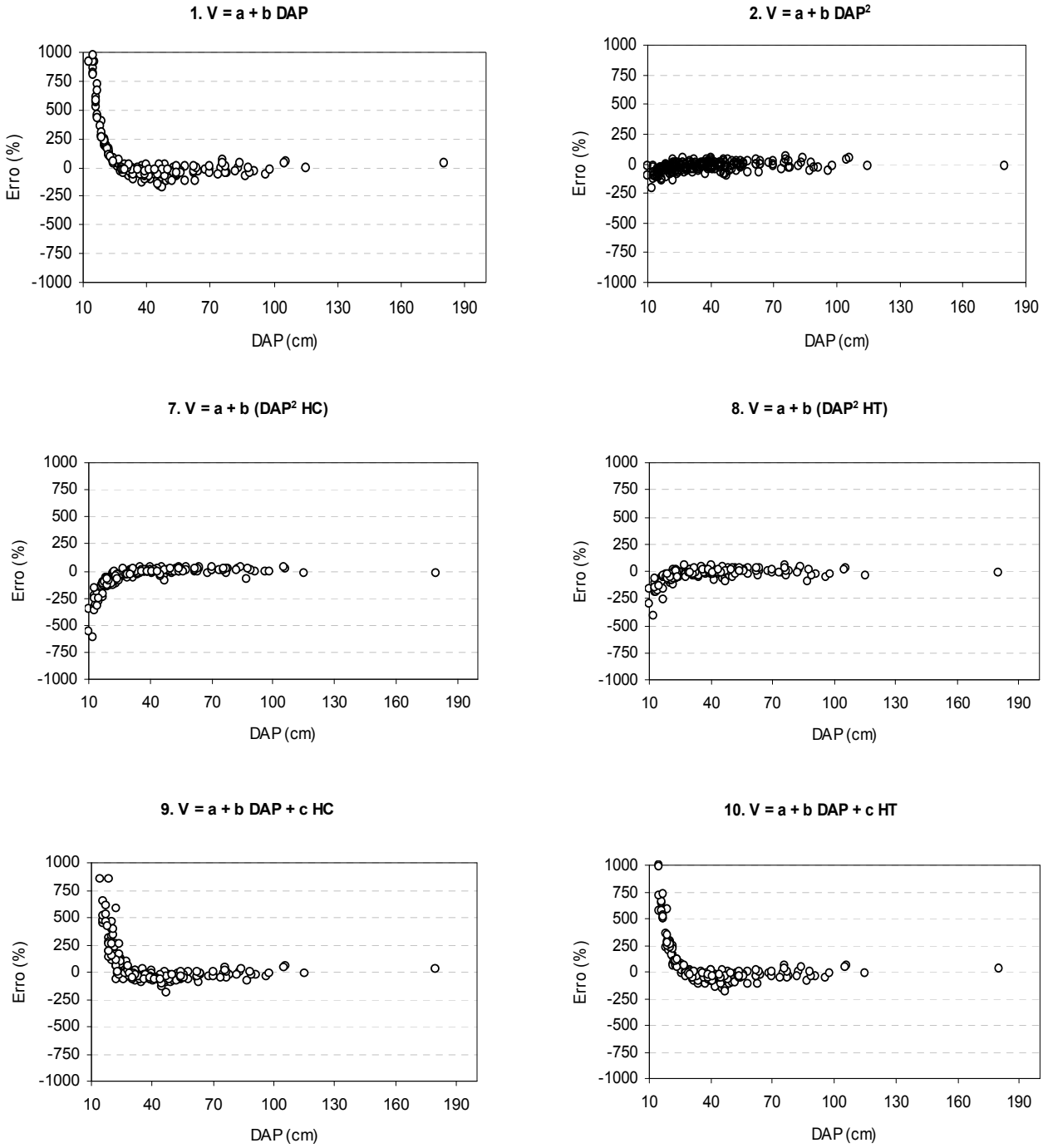

Figura 5. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares

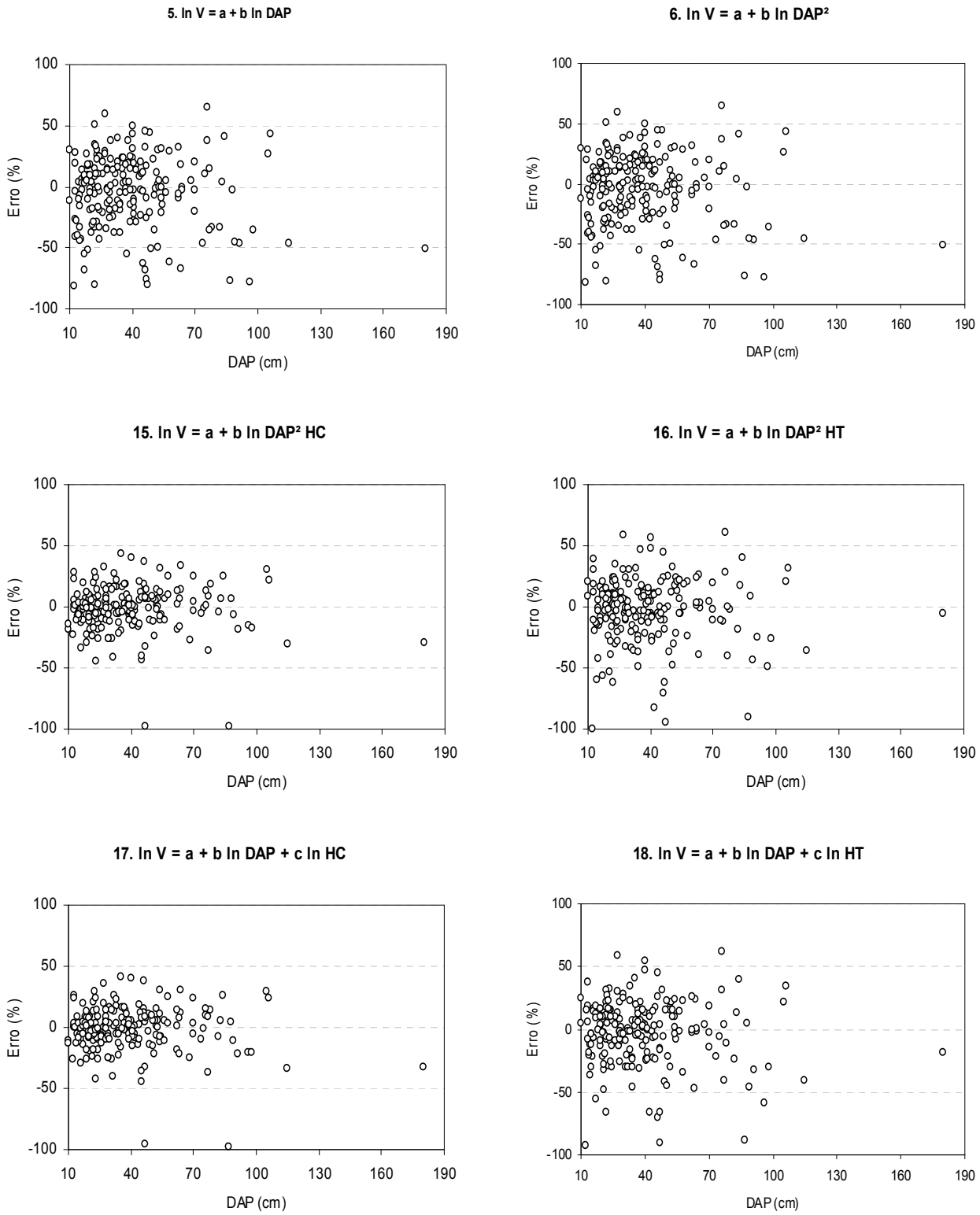

Figura 6. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas.

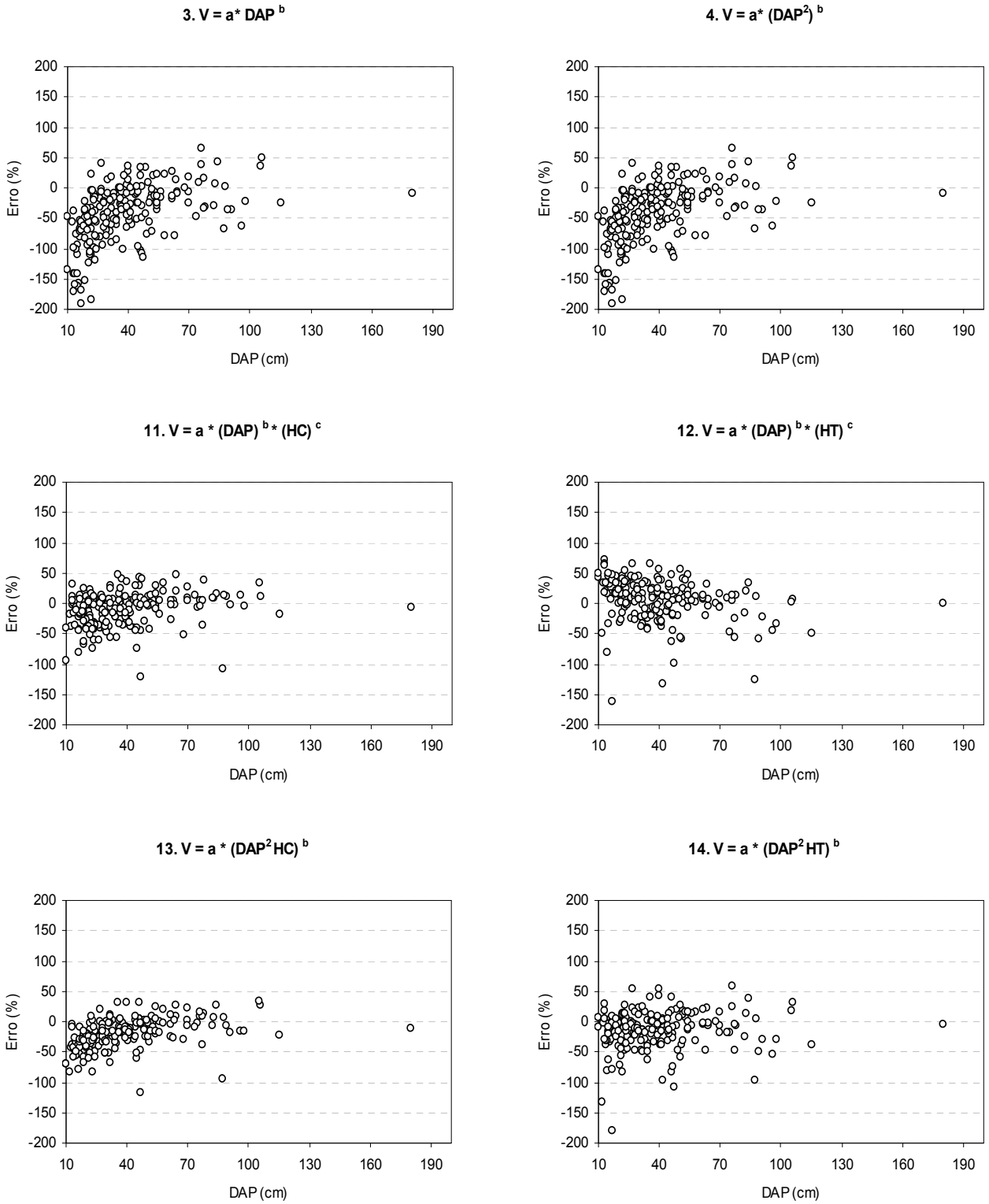

Figura 7. Gráfico de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações não lineares exponenciais.

A escolha do modelo volumétrico a ser utilizado no empreendimento florestal ainda exige ponderações de custos e facilidade operacional em cada situação. Segundo Baima *et al.* (2001), a utilização de equações de simples entrada, *V=f(DAP)*, 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, considerando o DAP e a altura, são mais indicada 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).

Cabe ainda 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 75 a 95% da variação dos dados e apresentam erros abaixo de 11,5%, podendo ser usados gerando boas estimativas para sítios de florestas com características similares. Entretanto, quando aplicados em regiões afastadas do sítio de origem, devem ser dado preferência ao uso de modelos de dupla entrada, V=*f*(DAP, H).

4.2.2 Modelos por classes de diâmetro

4.2.2.1 Classe de diâmetro (10 $\leq$ DAP < 50 cm)

Entre os modelos ajustados para as árvores na classe de menor diâmetro (10 $\leq$ DAP < 50 cm) as equações de dupla entrada foram superiores aos modelos de única entrada, com altos valores de R^2_{aj} variando entre 0,72 a 0,97 e baixas estimativas de erros entre 4,18 e 12,14% (tabela 9).

Entre os modelos de dupla entrada a equação 15, um modelo logarítmico com a variável combinada de *Spurr* apresentou indicadores sastisfatórios (R^2_{aj} = 0,97, S_{xy} = 4,18%) e distribuição uniforme dos resíduos (figura 9), com o melhor ajuste entre os 18 modelos testados para esta classe de diâmetro (tabela 9).

Entre as equações de simples entrada (n° 5 e 6) foram melhor ajustadas ao conjunto de dados (tabela 9), explicando 92% da variação do volume, com baixo valor de erro padrão da estimativa (6,46%) e boa distribuição dos resíduos (figura 9).

Tabela 9. Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) para os modelos volumétricos na classe de diâmetro ($10 \leq DAP < 50$), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

Modelos	a	b	C	R^2_{aj}	S_{yx}	S_{yx} (%)
1. V= a + b DAP	-0,752388	0,052408		0,75	0,32	7,63
2. V= a + b DAP ²	-0,066439*	0,000876		0,77	0,31	7,39
3. V= a DAP ^{b}	0,000490	2,142647		0,74	0,49	11,84
4. V= a (DAP ²) ^{b}	0,000490	1,071323		0,74	0,49	11,84
5. ln V= a + b ln DAP	-8,359681	2,338995		0,92	0,88	6,46
6. ln V= a + b ln DAP^2	-8,359681	1,169497		0,92	0,31	6,46
7. V= a + b (DAP ^{2} HC)	0,041715*	0,025392		0,90	0,20	4,84
8. V= a + b(DAP ^{2} HT)	0,049969*	0,000033		0,82	0,27	6,55
9. V= a + b DAP + c HC	-1,160456	0,042371	0,059737	0,83	0,26	6,22
10. V= a + b DAP + c HT	-1,027022	0,044683	0,024327	0,77	0,30	7,30
11. V= a DAP ^{b} HC ^{c}	0,000119	1,887291	0,909788	0,78	0,45	10,90
12. V= a DAP ^{b} HT ^{c}	0,000086	1,867712	0,870741	0,74	0,49	11,80
13. V= a (DAP ^{2} HC) ^{b}	0,000122	0,931892		0,78	0,46	10,92
14. V= a (DAP ^{2} HT) ^{b}	0,000082	0,918629		0,72	0,51	12,14
15. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HC)	-9,262190	0,956303		0,97	0,92	4,18
16. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HT)	-9,640435	0,938493		0,93	0,88	5,68
17. ln V= a + b ln DAP + c ln HC	-9,211973	1,987464	0,833247	0,97	0,92	4,21
18. ln V= a + b ln DAP + c ln HT	-9,287499	2,049566	0,629919	0,93	0,87	5,76

*coeficientes não significativos pelo test t (*p > 0,05*).

As equações ajustadas nesta classe diamétrica foram superiores aos modelos gerais (tabela 8), quando comparado os indicadores de qualidade, com menores coeficientes de determinação e maiores erros de estimativas. A determinação de modelos volumétricos para estimar a quantidade de madeira de uma floresta pode ser feita de acordo com diversas classificações, como: tipologias (várzea e floresta de ferra firme), espécies presentes, classes de diâmetro e qualidade do fuste (Akindele e LeMay, 2006), que às vezes são mais precisas que equações mais gerais para toda a

vegetação. Silva e Araujo (1984), na Floresta Nacional do Tapajós, PA, ajustaram uma equação de volume para árvores de pequeno diâmetro, variando entre 15 e 45 cm, com objetivo de conhecer melhor o crescimento das árvores intermediárias que constituirão as futuras colheitas. Entre os quatros modelos testados, estes autores selecionaram a equação de Kopezky-Gehrhardt em função do seu bom ajuste e simplicidade, por só depender do DAP como variável independente. Higuchi *et al*. (1998) ajustaram equações para biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia brasileira. Estes autores observaram que as equações para estimar a biomassa de árvores individuais em uma parcela fixa, distintamente para árvores com $5 \leq DAP < 20$ cm e com $DAP \geq 20$ cm, são mais consistentes do que o uso de uma única equação para estimar, genericamente, todas as árvores com $DAP \geq 5$ cm.

A distribuição dos resíduos nas equações lineares apresentou tendências em subestimar o volume para as árvores de menor diâmetro (DAP < 20 cm), modelos n° 1, 9 e 10, sendo para o modelo 7 observado a tendência em superestimar o volume com o aumento do diâmetro (figura 8). A equação n° 2 e 8, de simples e dupla entrada respectivamente, demonstraram a melhor distribuição dos resíduos entre as equações lineares (figura 8).

Na distribuição dos erros nas equações logarítmicas observa-se um bom ajuste de todos os modelos, absorvendo a heterogeneidade do conjunto de dados ao longo da variação diamétrica (figura 9). Isto mostra a superioridade destes modelos nesta classe diamétrica para a determinação dos volumes individuais das árvores com boa precisão e ajuste, altos valores de coeficiente de determinação e baixa estimativa de erros.

As equações não lineares exponenciais apresentaram tendência em superestimar o volume para as árvores nos limites extremos, nas classes diamétricas com árvores de menor e maior diâmetro (figura 10).

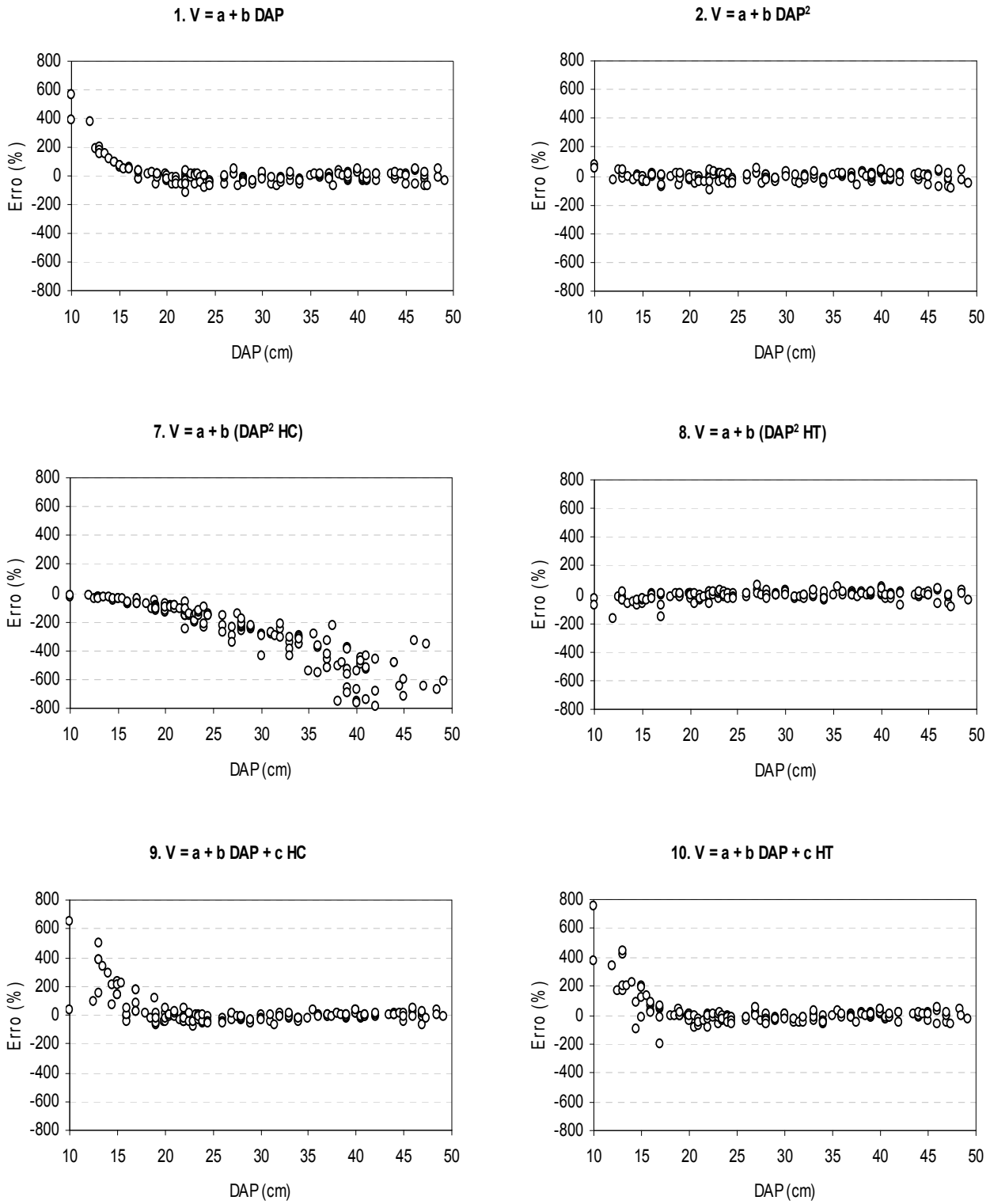

Figura 8. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares na classe diamétrica (10 < DAP ≤ 50 cm).

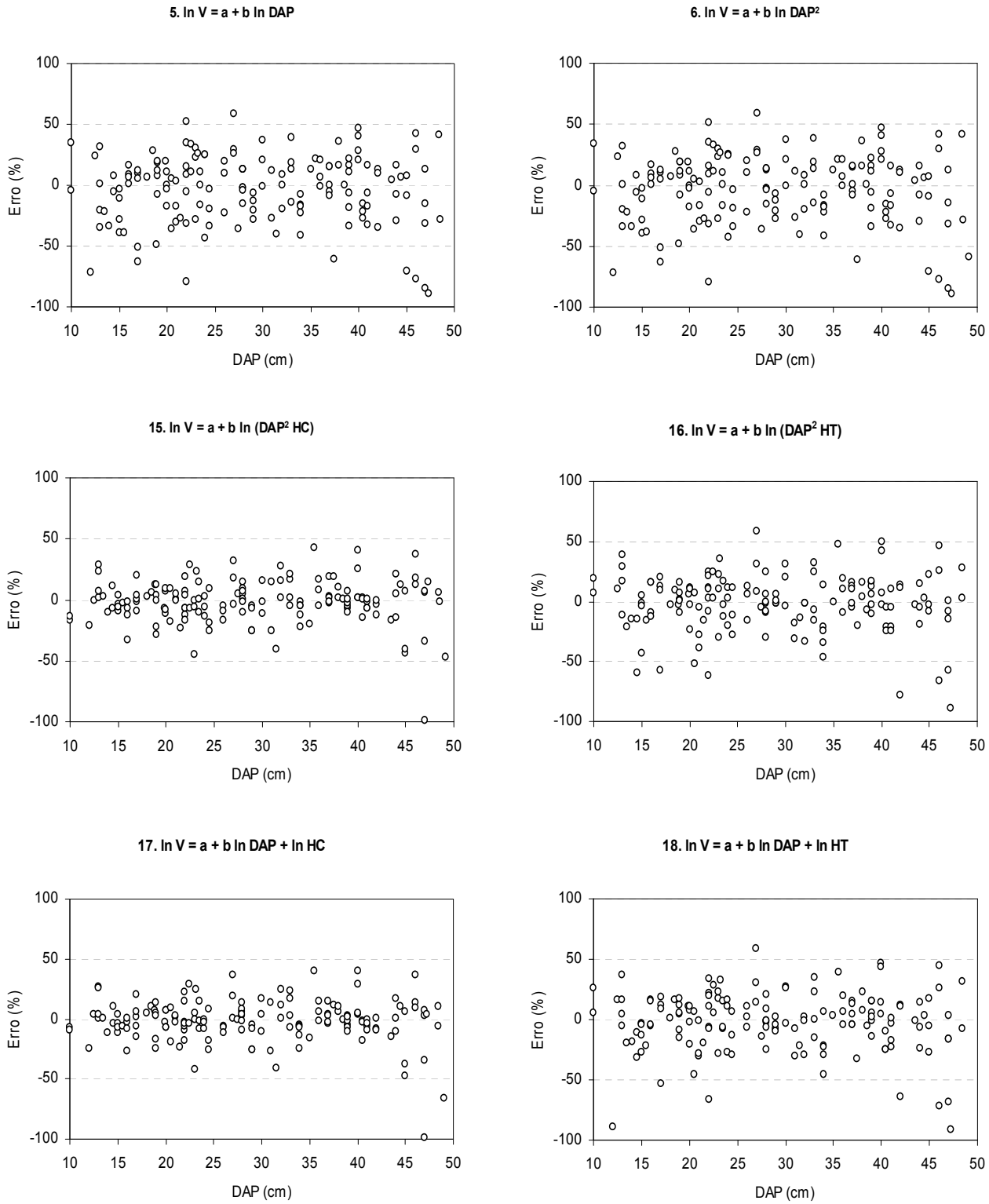

Figura 9. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (10 < DAP $\leq$ 50 cm).

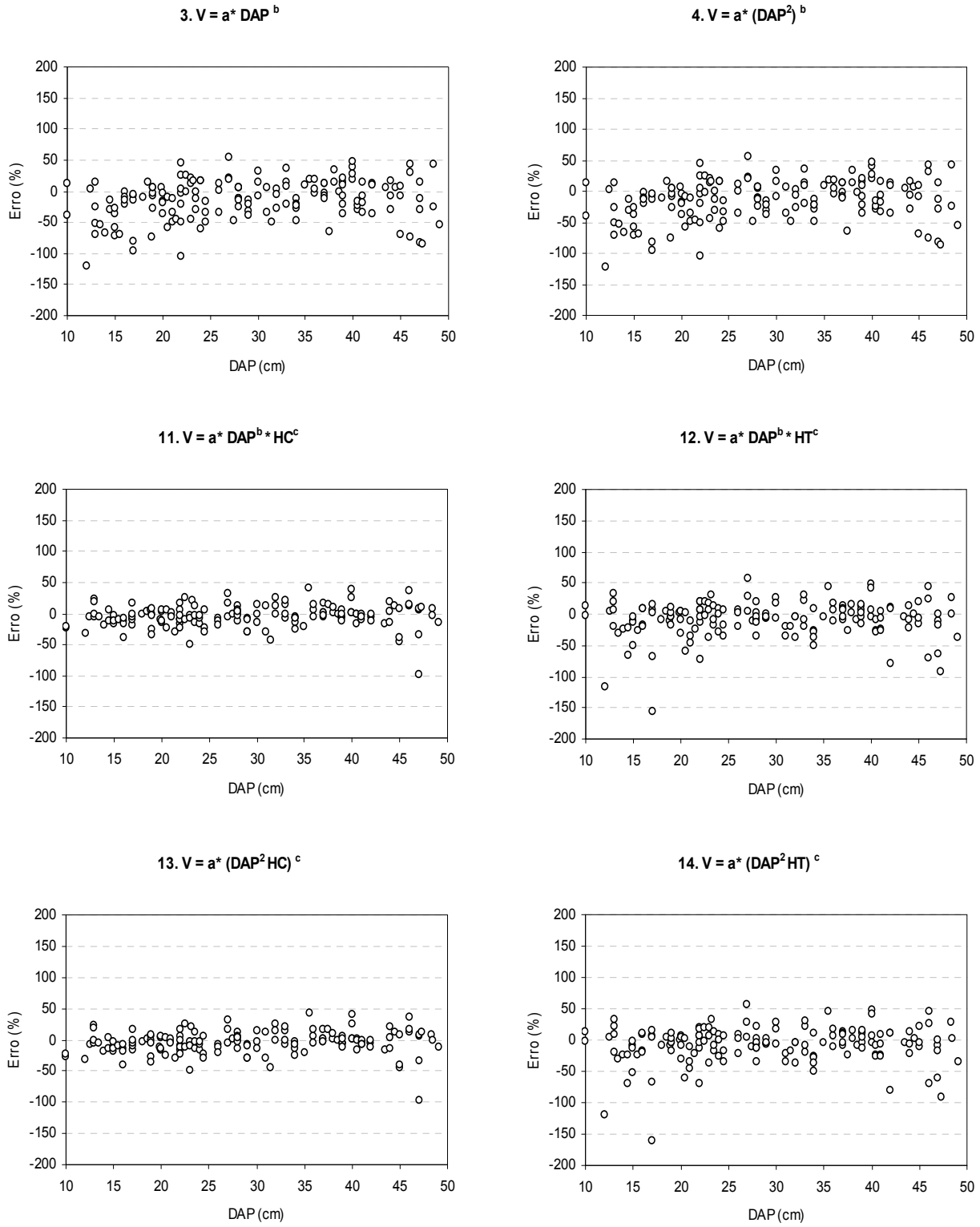

Figura 10. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações não lineares exponenciais na classe diamétrica (10 < DAP $\leq$ 50 cm).

4.2.2.2 Classe de diâmetro (DAP ≥ 50 cm)

Para a classe de diâmetro com DAP ≥ 50 cm os modelos de dupla entrada foram mais precisos e melhor ajustados (tabela 10), explicando entre 79 a 92% da variação volumétrica e com erros de estimativas entre 7,10 a 11,49%. Os modelos de única entrada, entretanto, mostraram-se inferiores explicando abaixo de 75% da variação do volume e com maiores erros de estimativa, situados entre 13,62 a 14,47%.

As equações ajustadas nesta classe diamétrica foram inferiores aos modelos gerais (tabela 8), quando comparado os indicadores de qualidade, com menores coeficientes de determinação e maiores erros de estimativas. O uso destas equações não é alternativa frente aos modelos gerais, sendo preferível usar as equações genéricas.

Tabela 10. Coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %) para os modelos volumétricos na classe de diâmetro (DAP ≥ 50 cm), na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

Modelos	**a**	**b**	**C**	R^2_{aj}	S_{yx}	S_{yx} (%)
1. V= a + b DAP	-6,957933	0,171508		0,70	2,55	13,62
2. V= a + b DAP ²	0,584016*	0,000838		0,69	2,62	14,04
3. V= a DAP ^{b}	0,002388	1,793211		0,70	2,58	13,83
4. V= a (DAP ²) ^{b}	0,002388	0,896605		0,70	2,58	13,83
5. ln V= a + b ln DAP	-7,332476	2,070594		0,75	3,02	14,47
6. ln V= a + b ln DAP^2	-7,332476	1,035297		0,75	2,70	14,47
7. V= a + b (DAP ^{2} HC)	1,047682	0,000046		0,85	1,83	9,78
8. V= a + b(DAP ^{2} HT)	0,485453*	0,000030		0,83	1,93	10,34
9. V= a + b DAP + c HC	-12,137360	0,145385	0,456010	0,86	1,75	9,38
10. V= a + b DAP + c HT	-12,082742	0,146784	0,257720	0,79	2,15	11,49
11. V= a DAP ^{b} HC ^{c}	0,000118	1,528654	1,481330	0,92	1,33	7,10
12. V= a DAP ^{b} HT ^{c}	0,000003	1,846745	1,872270	0,89	1,56	8,35
13. V= a (DAP ^{2} HC) ^{b}	0,000395	0,836965		0,87	1,70	9,07
14. V= a (DAP ^{2} HT) ^{b}	0,000086	0,923565		0,84	1,92	10,26
15. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HC)	-8,774340	0,913678		0,90	5,30	9,45
16. ln V= a + b ln (DAP ^{2} HT)	-9,017017	0,890759		0,84	4,56	10,60
17. ln V= a + b ln DAP + c ln HC	-8,755253	1,736211	1,049167	0,90	5,22	8,55
18. ln V= a + b ln DAP + c ln HT	-9,186480	1,660064	1,100063	0,85	4,42	10,41

*coeficientes não significativos pelo test t (*p > 0,05*).

A equação melhor ajustada aos dados foi a onze, modelo de *Schumacher-Hall* original (tabela 10), que explicou 92% da variação do volume e apresentou valor de erro baixo (S_{yx} = 7,10%) e boa distribuição dos resíduos (figura 13). A equação n° 17, entre as de dupla entrada, modelo de *Schumacher-Hall* logaritmizado, teve a estimativa de erro 1,45% superior ao modelo onze, e menor explicação da variância (R^2_{aj} = 0,90), com boa distribuição dos resíduos (figura 12), podendo ser usada para as estimativas volumétricas com precisão.

Entre as equações de simples entrada, o melhor ajuste foi da equação linear nº 1 (tabela 10), porém com leve tendência na distribuição dos erros (figura 11) e com estimativa de erros superiores ao limite de 10% requerido em inventários florestais nos planos de manejo.

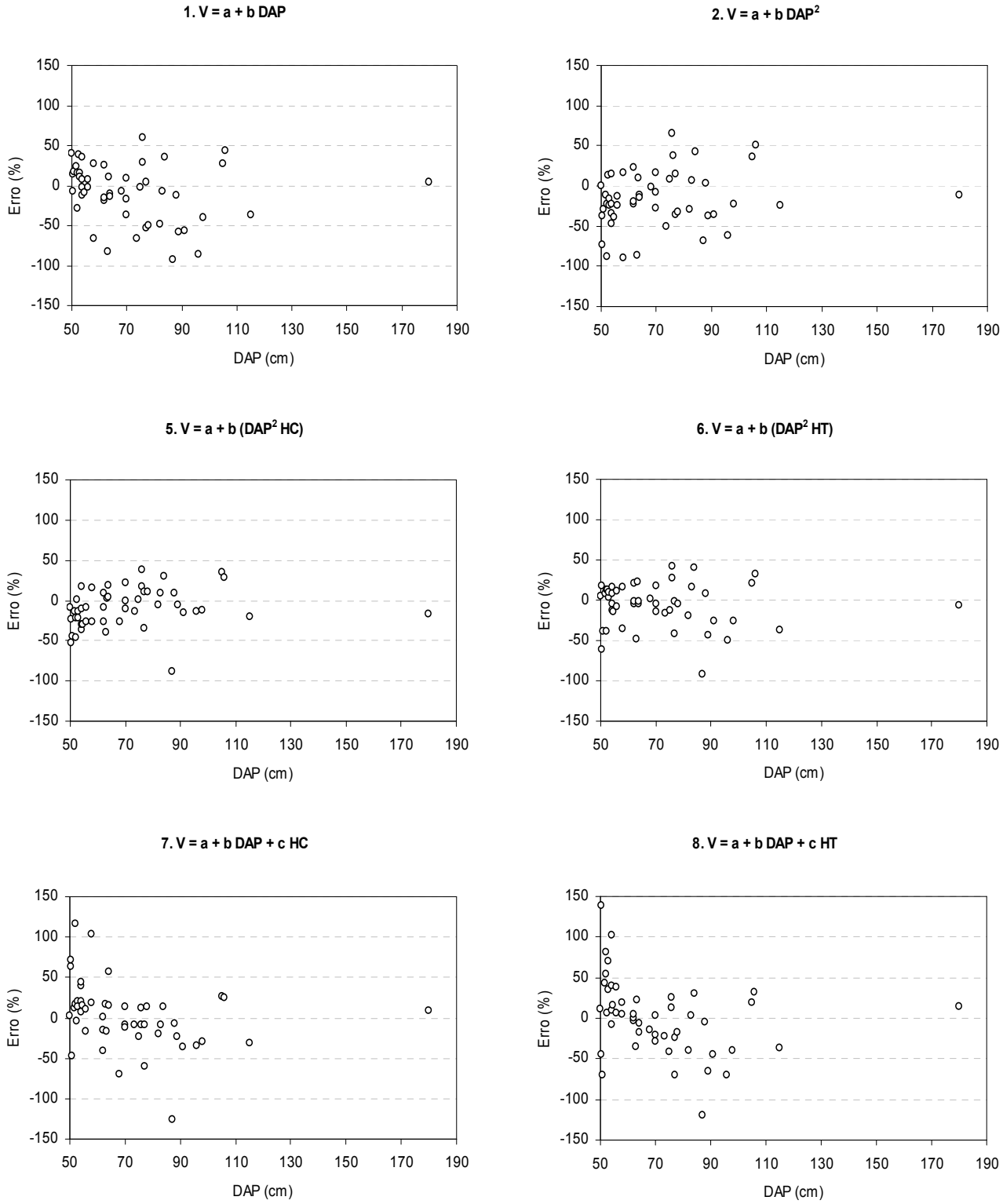

Figura 11. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações lineares na classe diamétrica (DAP $\geq$ 50 cm).

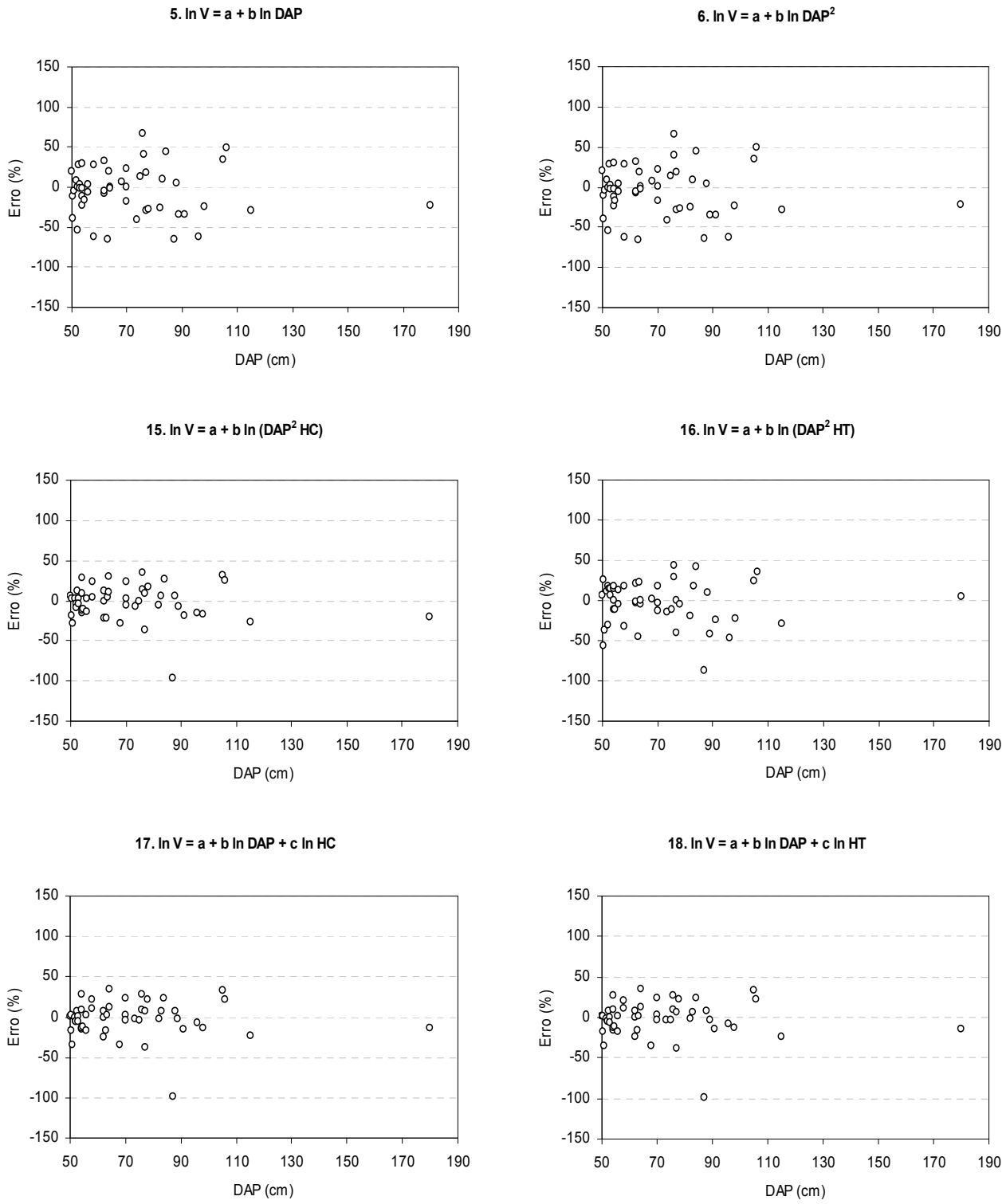

Figura 12. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (DAP $\geq$ 50 cm).

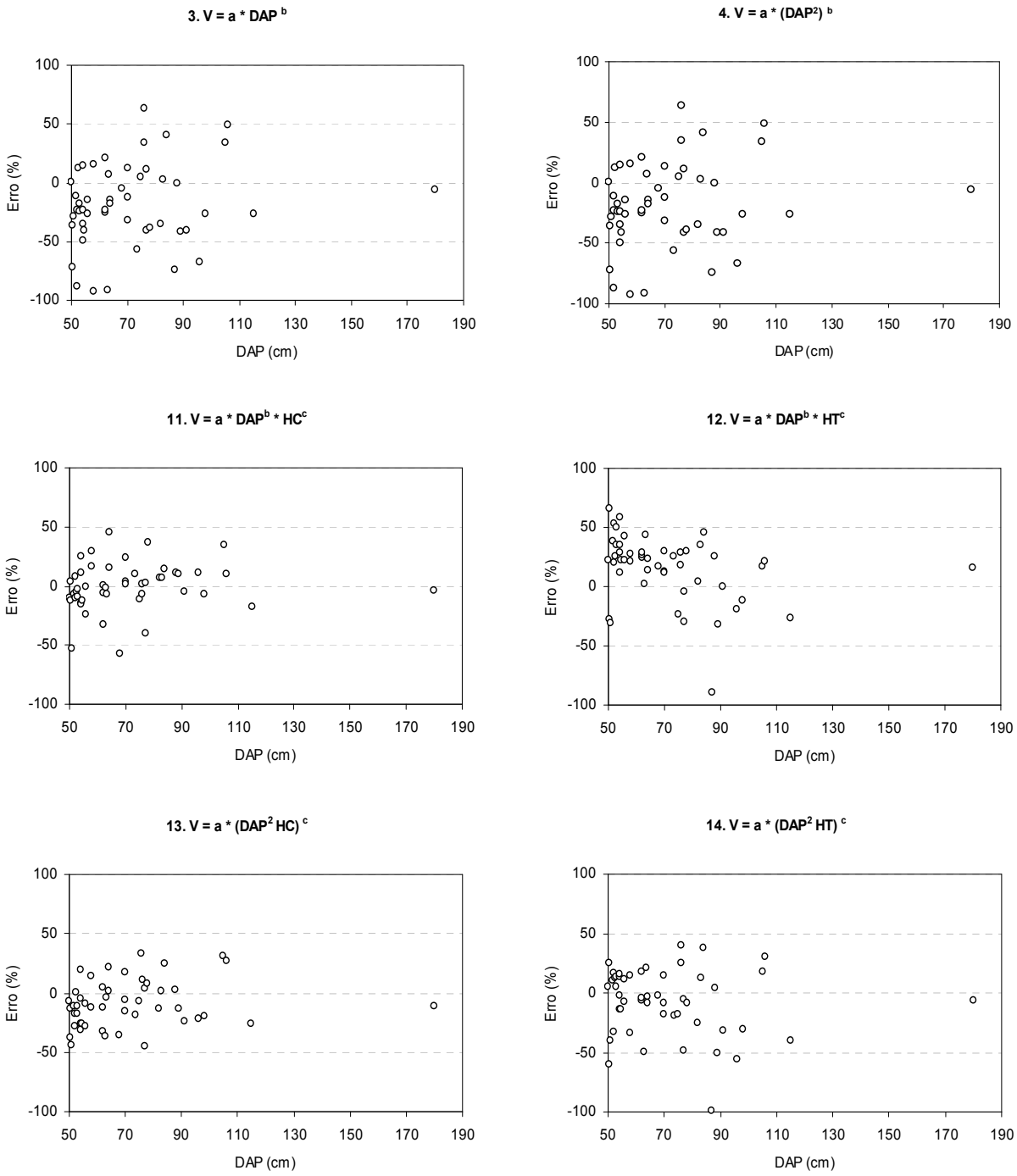

Figura 13. Gráficos de distribuição dos resíduos, em percentagem e em ordem crescente de DAP, para as equações logarítmicas na classe diamétrica (DAP $\geq$ 50 cm).

4.2.3 Modelos ajustado por espécies madeireiras

Observa-se na tabela 11 o comportamento das variáveis dendrométricas para as três espécies (anexo 1) que obtiveram um maior número de indivíduos na amostragem das árvores caídas: anoerá (n= 9), tauari (n= 12) e castanha-sucupira (n= 7) identificadas no conjunto de 206 árvores caídas que foram rigorosamente cubadas na área da Resex Auatí-Paraná.

Tabela 11. Análise descritiva: média (x), desvio padrão (s), coeficiênte de variação (CV em %) e valores extremos para o conjunto de árvores-amostras por espécie, na Resex de Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

Variáveis	x	s	CV%	mínimo	máximo
			Tauari		
DAP (cm)	34,92	17,41	49,85	13,00	68,00
Altura comercial (m)	11,14	3,96	35,54	5,50	21,20
Altura total (m)	18,61	6,03	32,42	8,30	27,60
Volume (m^3)	1,09	1,21	110,49	0,07	4,38
			Anoerá		
DAP (cm)	58,50	27,45	46,92	15,00	98,00
Altura comercial (m)	14,64	3,77	25,76	8,00	21,60
Altura total (m)	23,86	6,02	25,25	13,50	32,00
Volume (m^3)	3,75	3,59	95,66	0,12	11,43
			castanha-sucupira		
DAP (cm)	34,79	24,21	69,60	17,00	88,00
Altura comercial (m)	13,19	3,64	27,64	9,60	20,20
Altura total (m)	22,20	4,85	21,83	15,00	30,00
Volume (m^3)	1,51	2,54	168,65	0,19	7,26

A equação de volume comercial com casca ajustada para cada uma das três epécies, por meio dos procedimentos estatísticos do método "jackknife" é apresentada na tabela 12.

Tabela 12. Equações de volume para espécies madereiras com: número de indivíduos (n), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da média (S_{yx}), erro padrão da estimativa (S_{yx} em %).

Nome comum	Nome científico	Equação	n	R^2_{aj}	S_{xy}	S_{xy} %
castanha-sucupira	*Curupira tefeensis*	$V = {}_{-0,005651} * DAP^{2,964004}$	7	0,94	0,06	8,61
tauari	*Cariniana sp.*	$V = {}_{-0,000527} * DAP^{3.465764}$	12	0,96	0,06	11,54
anoerá	*Beilschmiedia brasiliensis*	$V = {}_{0,001725} * DAP^{1,574355}$	9	0,72	0,66	35,46

Para a espécie castanha-sucupira foi obtido alto coeficiente de determinação (0,94) e erro de estimativa de volume baixo (8,61%), mostrando-se bem ajustado e confiável o modelo gerado com o uso dos procedimentos do método "jackknife". Com relação a espécie tauari observou alto coeficiente de determinação, porém erros de estimativas superiores aos 10% exígidos para um

bom ajuste, mas pode-se considerar a equação aceitável para a espécie. Já o anoerá apresentou coeficiente de determinação baixo e maior erro na estimativa do volume (tabela 10). O mau desempenho da equação para a espécie anoerá deve-se a heterogeneidade na distribuição dos DAP no conjunto de dados desta espécie, com poucas árvores de pequeno diâmetro, e também pela amplitude dos diâmetros e volume real (tabela 9). Scolforo *et al*. (2004) ajustando equações de volume para árvores de candeia (*Eremanthus erythropappus*) em Minas Gerais, observaram que os valores altos de erro médio são devido à variabilidade das árvores-amostra, o que é comum em vegetação nativa.

Higuchi (1992) relata que o uso desta técnica para conjunto pequeno de dados, no desenvolviemto de equações locais e para espécies individuais é promissora, proporcionando estimativas confiáveis e com um custo inferior. Este mesmo autor comparou o ajuste de equações de volume geradas com um conjunto de 10 árvores submetido ao "jackknife" contra as equações geradas por um conjutno de 327 árvores não submetidas ao método, e observou que o uso de 10 árvores produziu um erro de apenas 5% a mais do que quando se utilizaram o conjunto maior (n=327).

De acordo com Akindele e LeMay (2006) não é viável ajustar equações individuais para todas as espécies. Estes autores ajustaram equações para 77 espécies comerciais madeireira da floresta tropical da Nigéria, considerando as espécies bem amostradas àquelas com $n \geq 30$ que tiveram equações ajustadas individualmente (33 espécies). Espécies com baixa amostragem $n < 30$ foram agrupadas por técnica de análise de cluster seguido por análise discriminante, ajustando equações de volume para os grupos formados (44 espécies).

Baima *et al*. (2001) fizeram uma síntese das equações volumétricas disponíveis por tipologia e espécie para a região amazônica e mostraram a necessidade de aumentar o esforço na geração de equações de volume por espécies de interesse comercial. As três espécies deste estudo possuem potencial econômico de uso no mercado madeireiro e não constam na lista de equações destes autores. São, portanto, um acréscimo no esforço de ambranger um maior número de espécies de importância econômica com equações de volume.

4.3 Análise de desempenho

Os resultados da estatística do desempenho dos modelos desenvolvidos em outros sítios da região da Amazônia Central e aplicados no banco de dados da Resex são apresentados na tabela 13.

Tabela 13. Valores dos índices estatísticos de desempenho dos modelos avaliados, sendo: erro médio ($\bar{e}$) uma medida de tendência; variância média (s^2) uma medida de precisão; raiz quadrada do quadrado médio ($\sqrt{QM}$) demonstra a exatidão das predições e desvio (D%) afastamento do valor observado.

	Índices estatísticos			
Autores	$\bar{e}$	S^2	$\sqrt{QM}$	**D%**
1) Higuchi *et al*. (1997)	- 0,40261	0,01164	0,41624	-21,85
2) Higuchi e Ramn (1985)	- 75,199	9,66714	75,2633	-4081,17
3) Fernandes *et al*. (1983)	- 41041,89	27069805,36	41370,36	-122,75

Os modelos desenvolvidos por Higuchi e Ramn (1985) e Fernandes *et al.* (1983) para sítios de florestas na região da Amazônia Central apresentaram problemas nas estimativas dos volumes individuais para as árvores frente ao novo banco de dados, com um forte viés em superestimar os volumes e com baixa precisão, comprovados pelos altos índices de variância dos erros (tabela 13).

O modelo de *Husch* (equação 1), com o volume em função da variável lnDAP ajustado no trabalho de Higuchi *et al.* (1997) teve o melhor desempenho, apresentando baixa tendência nas estimativas do volume individual e variância dos erros (tabela 13). Este modelo poderia ser considerado bom se não fosse o afastamento do volume médio estimado em -21,85% do volume médio real. Sendo por isso recomendado o uso da equação local melhor ajustada entre os modelos gerais.

Os resultados encontrados foram inesperados, pois em função dos modelos de dupla entrada de *Schumacher-Hall* na forma logarítmica e original (equações 2 e 3, respectivamente) apresentarem o volume em função do DAP e altura, esperava-se melhores ajustes destes modelos que a equação de simples entrada de *Husch* (modelo 1). A variável altura em modelos que são aplicados longe de seus sítios de origem é importante na caracterização do sítio, e possibilita um melhor ajuste dos modelos (Leite e Andrade, 2003).

De acordo com Baima *et al* (2001), com os atuais recursos da computação, as equações de volume são fáceis de serem desenvolvidas e deveria ser prática corriqueira em florestas manejadas. O desempenho das equações generalizadas de outras regiões e aplicadas neste estudo também indica que é preferível o desenvolvimento de equações locais, do que o uso de modelos mais gerais, o que deveria ser imperativo para cada área de manejo florestal.

4.4 Equação única "comparação de paralelismo e coincidência das estimativas de volume"

O teste de qui-quadrado (χ^2) aplicado para comparar as estimativas de dois modelos: *i)* no caso das equaçõe ajustadas a equação 5 o modelo de Husch (*ln V= a + b ln DAP*), *ii)* e entre os modelos da análise de desempenho, o modelo 1 desenvolvido por Higuchi *et al*. (1997).

As estimativas de volume pelos dois modelos mostrou não haver diferença significativa para a probabilidade de 0,01. O valor de χ^2 calculado foi igual a 20,30 menor que o tabelado de 255,02 desta forma, pode-se afirmar que as curvas não diferem estatisticamente a essa probabilidade.

A tendência das estimativas de volume pelas duas equações pode ser observada na figura 14, sendo possível verificar a quase-total sobreposição das duas curvas de volume estimados com o a curva de volume real.

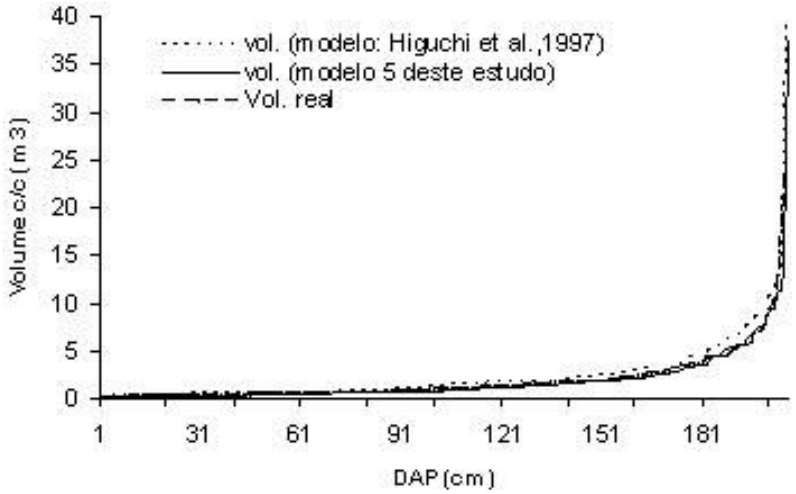

Figura 14. Curvas do volume estimados pelas equações: da análise de desempenho (vol. modelo: Higuchi *et al*., 1997), equações ajustadas (vol. modelo 5 deste estudo) e volume real obtido na cubagem para a Resex.

4.5 Recomendações para cubagem de árvores caídas

A queda de ávores, em florestas nativas, pode ser provocada por ação natural, sendo as causas mais comuns: a idade, o estado fitossanitário, o estresse hídrico e os ventos (Teixeira *et al*., 2007). Recentemente, o evento chamado de Blowdown de baixa ocorrência mas de grandes proporções de danos a floresta tem provocado a queda de muitas árvores (Chambers *et al*., 2007, Leduc, 2007). Guimarães (2007) quantificou a queda de árvores em áreas de florestas em que ocorreram Blowdown na Amazônia Central, encontrando uma media de 226 árvores caídas por hectare.

Os fatores que levam à queda de árvores tornam altamente aleatória e indefinida a distribuição e quantidade de árvores caídas. Por outro lado, a queda de árvores também pode ser provocada por ações antrópicas em intervenções dentro da floresta, o que torna possível quantificar e encontrá-las facilmente. Amaral *et al.* (1998) mostram que a derrubada de uma árvore na floresta nativa danifica de 14 a 27 árvores. Porém, Higuchi *et al*. (1997) estudando a dinâmica de floresta manejada na região da Amazônia Central, observaram que para cada árvore comercial explorada são mortas e/ou danificadas outras 7 árvores com DAP > 10 cm. Essas árvores caídas seja naturalmente ou por efeito do manejo florestal constituem uma alternativa viável como conjunto de árvores-amostra para o ajuste de equações de volume em florestas tropicais.

A preocupação com o uso de árvores caídas como conjunto de dados para a geração de equações de volume para o manejo florestal das árvores em pé da floresta é válida, dentro do questionamento da representatividade e qualidade da amostra. Portanto, devem-se cumprir procedimentos mínimos que garantam a melhor obtenção do conjunto de árvores-amostra que seja confiável e representativa da floresta. Para evitar erros não amostrais, deve-se evitar: *i)* fazer a cubagem rigorosa de árvores caídas com decomposição aparente e/ou camadas de líquens e musgos espessas; *ii)* árvores que no evento da queda racharam ou quebraram, permanecendo uma parte do tronco em pé; *iii)* árvores que não permitam a obtenção das variáveis dendrométricas da mensuração (DAP, diâmetros ao longo do fuste, altura comercial e altura total); *iv)* o uso de fitas diamétricas ou fitas métricas para medição dos diâmetros ou circunferência ao longo do tronco pela dificuldade de passar por debaixo do tronco caído, dando preferência para o uso de suta.

Também é necesario, durante o processo de cubagem, buscar a obtenção do maior número de árvores caídas de maiores dimensões, uma vez que estas podem ser mal representadas no conjunto das árvores inventariadas. O evento de mortalidade de árvore é estocástico (Rossi, 2007), porém Higuchi *et al*. (2004), estudando a dinâmica de florestas tropicais por meio do monitoramento de parcelas permanentes na região central da Amazônia observaram maior mortalidade para árvores de pequeno porte, com diâmetro médio de 27 cm para as árvores mortas no período de 1986 a 2000. A distribuição diamétrica observada para as árvores caídas neste estudo se assemelha a distribuição de diâmetro da floresta em pé (padrão J-invertido característico de florestas nativas (Machado e Figueiredo Filho, 2003)), com um maior número de indivíduos nas menores classes diamétricas, com exceção para primeira classe que apresentou menor número de indivíduos que a classe seguinte. A baixa freqüência de árvores com maior DAP na distribuição diamétrica de florestas tropicias é uma tendência normal, sendo o conjunto de dados obtidos pela cubagem de árvores caídas representativo da distribuição diamétrica da floresta em pé.

A obtenção de um maior número de árvores caídas por classe diamétrica, para uma boa representatividade deve ser planejada para buscar um número mínimo de árvores cubadas dentro de cada classe diamêtrica, sendo esse número recomendado de pelo menos 30. Este cuidado possibilitará a geração de equações de volume por classe de diâmetro mais confiáveis e ajustadas.

O tamanho da amostragem (n) vai influênciar na precisão e confiabilidade das estimativas das variáveis de interesse da população. As variáveis de interesse, por exemplo na área do manejo florestal, como: DAP, altura (total e comercial), volume (fuste, copa e total), biomassa, entre outras, precisam ser amostradas de forma a cumprir determinados princípios da estatística de inferência. Uma forma de garantir um principio básico que é a normalidade dos dados já é contemplado com um $n \geq 30$, postulado pelo teorema do limite central (Higuchi *et al.*, 2008). Isso significa que para amostras aleatórias de qualquer distribuição com $n \geq 30$ permite a obtenção de uma média amostral com distribuição aproximadamente mornal e esta aproximação melhora conforme se aumenta o número de amostras. Higuchi *et al.* (2008) recomenda que tanto em trabalhos de pesquisas ou de inventários florestais, o ideal é utilizar uma amostragem com, pelo menos, 30 unidades amostrais. O que permite a obtenção de estimadores confiáveis e incertezas consistentes.

No projeto Bom Manejo desenvolvido pela Embrapa-CPATU, Silva e colaboradores (s/d) estabeleceram diretrizes para a medição de árvores-amostra para a geração de equações de volume. Estes autores, também recomendam a cubagem de 30 árvores por classe de diâmetro.

4.6 Aos tomadores de decisão

A diminuição das reservas de madeira dura tropical, principalmente, de países como Malásia e Indonésia, cria um cenário importante à potencialidade ou "ameaça" do manejo florestal no Brasil (Higuchi, 2007). Haja vista que o Brasil pode ser o novo foco para o abastecimento de madeira dura tropical no mercado internacional nas próximas décadas, em função de sua extensa área florestal remanescente (Clement e Higuchi, 2006). Também, pela atual política de gestão de florestas públicas (Lei 11.284 de 2006) que está disponibilizando grandes áreas de floresta para a concessão florestal levando a um aumento na oferta de madeira (Higuchi, 2007).

Na maioria dos planos de manejo florestal do Estado do Amazonas, o volume de madeira ainda é estimado usando-se equações não apropriadas (Higuchi & Ramm, 1985). Em alguns casos, o volume é estimado usando a fórmula do cilindro que é corrigido com um fator de forma (ff) comum para toda a região amazônica, arbitrada em 0,7 desde os primeiros inventários florestais realizados pela FAO, nos anos 50.

De maneira geral, os trabalhos realizados na Amazônia utilizam equações desenvolvidas na FLONA de Tapajós - Pará ou na área da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST) do INPA em Manaus. Nos dois casos as equações são robustas e precisas e poderiam ser usadas em outras regiões desde que, além do DAP, a altura da árvore fosse também incluída no modelo. No entanto, a altura não é uma variável fácil de ser medida no campo, sua obtenção demanda tempo e um alto custo, sendo por estas razões, estimadas visualmente sem precisão.

Com as exigências contidas no Decreto nº 5.975 de 30/11/2006, que substituiu o Decreto 2.788/1998 (manejo florestal na Amazônia) e a Instrução Normativa n° 05 de 11/12/2006 (instruções para elaboração do plano de manejo), o inventário florestal e, conseqüentemente, a estimativa do volume de madeira, deixaram de ser meras informações burocráticas. Da mesma forma, os planos de corte raso na Amazônia são obrigados apresentar as estimativas de volume de madeira, independentemente do tamanho da área. O volume estimado, tanto para o estudo de

viabilidade técnica econômica quanto para o plano de exploração florestal, tem que estar à altura dos investimentos necessários para implementar o manejo florestal sustentável e à altura do papel da floresta no funcionamento dos ecossistemas. Atualmente, as empresas florestais têm dificuldades para atender as exigências contidas na legislação, principalmente, pela falta de um inventário florestal confiável.

Dessa forma, a modelagem de equações de volume locais como ferramenta para planos de manejos pode ser facilitada, em relação a custos e tempo de operação, por meio da cubagem de árvores recém-caídas. Este conjunto de dados permite o ajuste de equações precisas e consistentes.

Com o levantamento das árvores caídas ainda é possível planejar o aproveitamento desta madeira. Hoje na Amazônia existem, aproximadamente, um milhão de hectares de florestas nativas sendo exploradas sob alguma forma de manejo florestal para a produção madeireira (Teixeira *et al*., 2007). E surge neste momento como boa opção o aproveitamento da madeira caída na floresta, para que durante o período de planejamento da exploração das árvores em pé, as árvores caídas sejam uma alternativa em curto prazo para o manejo dos recursos florestais. E ao manejar esse recurso, a população envolvida diretamente neste oficio aprenda a manejar a floresta e adquire uma cultura florestal (Higuchi, 2007).

5. Conclusão

Entre os modelos gerais ajustados, a equação de dupla entrada de *Schumacher-Hall* original ($V= a* DAP^{b}*HC^{c}$) obteve o melhor ajuste. Entretanto, a equação de simples entrada de *Husch* ($lnV= a+b*lnDAP$) teve indicadores de precisão satisfatórios e boa distribuição de resíduos, o que recomenda seu uso no plano de manejo da Resex Auatí-Paraná.

Recomenda-se o uso da equação de simples entrada pela facilidade de coleta da variável DAP e eliminação dos erros de medição de altura em florestas tropicais, sendo estes de uso local nos sítios de origem dos dados. Já para áreas na região de florestas similares às que deram origem aos modelos, recomenda-se o uso de equações de dupla entrada de *Schumacher-Hall* original.

Para avaliar o estoque e crescimento das árvores de pequeno diâmetro da floresta "remanescente", podem-se usar as equações ajustadas para a classe de diâmetro $10 \leq DAP < 50$ cm, sendo a equação de simples entrada de *Husch* ($lnV= a+b*lnDAP$) indicada.

As equações ajustadas para as espécies tauari e castanha-sucupira são consistentes e precisas, comprovando a viabilidade do método "jackknife" para gerar equações a partir de um conjunto reduzido de dados.

A cubagem rigorosa de árvores recém-caídas com o objetivo de gerar equações de volume para árvores da floresta tropical é viável e produz equações bem ajustadas e confiáveis.

A geração de modelos volumétricos deve ser obrigatória para cada área sujeita à planos de manejo, uma vez que o avanço de métodos e tecnologias tornou o ajuste de equações em um procedimento simples e relativamente barato.

6. Referência Bibliográfica

Akindele, S.O.; LeMay, V.M. 2006. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest área of Nigéria. *Forest Ecology and Management*, 226: 41-48.

Amaral, P.; Veríssimo, A.; Barreto, P.; Vidal, E. 1998. Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia. Belém: Imazon, 130p.

Avery, T.E., Burkhart, H.E., 2002. *Forest Measurements*, 5th ed. McGraw-Hill Higher Education, New York, USA, p. 456.

Baima, A. M.V.; Silva, S. M. S.; 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 silvicultural tropical (Embrapa/DFID).* Vol. 2. Embrapa Amazônia Oriental, Belém. p. 367-392.

Bates, D. M.; Watts, D. G. 1988. Nonlinear regression analysis and its applications. New York: John Wiley. 365p.

Chambers, J.Q.; Asner, G.P.; Morton, D.C.; Anderson, L.O.; Saatchi, S.S.; Espírito-Santo, F.D.B.; Palace, M.; Souza Jr, C. 2007. Regional ecosystem structure and funtion: ecological insights from remote sensing of tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, vol.22,n.8, 414-423 pp.

Clement, C.R.; Higuchi, N. 2006. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. *Ciência e Cultura*, 58(3): 44-49.

Cunia, T. 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. Forest Science, Washington, v.10, p. 180-191.

Draper, N. e Smith, H. 1966. *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., EUA. 407 p.

Embrapa-cpatu. Silva, J.N.M.; Peres, N.; Barros, P. C. de. Sem data (s/d). *Diretrizes para medições de árvores amostras para determinação de equações de volume*. (http://bommanejo.cpatu.embrapa.br/arquivos/8.2-Diretrizes_medicoes_arvores.pdf.). Acesso: 10/02/2008.

Fernandes, N.P.; Jardin, F.C.S.; Higuchi, N. 1983. Tabelas de volume para a floresta de terra firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. *Acta Amazonica*, 13(3-4): 537-545.

Finger, C. 1992. *Fundamentos de biometria florestal*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria / CEPEF / FATEC. 269p.Furnival, G.M. 1961. An index comparing equations used in constructing volume tables. *Forestry Science,* v.7, n.4, p.337-341.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science, 7(4):337-341.

Guimarães, D.P.; Leite, H.G. 1996. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para eucalyptus grandis. *Scientia Forestalis*, 50: 37-42.

Guimarães, G.P. 2007. *Distúrbios decorrentes de Blowdown em uma área de floresta na Amazônia Central*. Dissertação (Mestrado) em Ciências de Florestas Tropicais, INPA/UFAM, Brasil. pp. 35.

Heinsdijk, D. e Bastos, A. M. 1963. Inventários florestais na Amazônia. Rio de Janeiro. (Serviço Florestal. Boletim 6), p. 100.

Higuchi, N.; Santos, J.; Jardin, F.C.S. 1982. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica*, 12(1): 91-103.

Higuchi, N. e Ramm, C.W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). *Commonwealth Forestry Review*, 64(1): 33-41.

Higuchi, N.; Jardin, F.C.S.; Santos, J.; Barbosa, A.P.; Wood, T.W.W. 1985. Inventário florestal comercial. *Acta Amazonica*, 15 (3-4): 327-369.

Higuchi, N. 1992. Usando o método "jackknife" para estimar volume de madeira da Floresta Amazônica. Atas da 24ª Reunião Regional da Associação Brasileira de Estatística e 12ª Semana do Estatístico. Manaus, Amazonas. p. 42-56.

Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Freitas, J.V. de; Vieira, G.; Cöic, A.; Minette, L.J. 1997. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-Firme Manejada Experimentalmente. In: *Relatório Final do Projeto Bionte. Biomassa e Nutrientes Florestais – MCT/INPA*. Manaus. p. 89-131.

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 Amazonica*, 28 (2): 153-166.

Higuchi, N.; Chambers, J.; Santos, J. dos; Ribeiro, J.R.; Pinto, M.C.A.; Silva, P.R. da; Rocha, M.R. de; Tribuzy, S.E. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, 34(3): 295 – 304.

Higuchi, N. 2007. Manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira. *Opiniões*, (mar-mai 07). p.44.

Higuchi, N.; Santos, Lima, A.J.N. 2008. Biometria Florestal. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. CPST/LMF. Manaus (AM) – Brasil.147p.

Husch, B.; Miller, C.I.; Beer, T.W. 1982. *Forest mensuration*. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, p. 402.

Ibama, 2007. Instituto brasilerio do meio ambiente e recursos naturais não renováveis. Reserva Extrativista Auatí-Paraná, caracterização geral. (http://www.ibama.gov.br/siucweb/listaUcCategoria.php?abrev=RESEX) Acesso: 25/10/2007.

Leite, H.G. & Andrade, V.C.L. 2003. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.301-310.

Leduc, R. 2007. *Caracterização e mapeamento da vegetação e uso do solo da Reserva Extrativista do Baixo-Juruá/AM.* Dissertação (Mestrado) em Ciências de Florestas Tropicais, INPA/UFAM, Brasil. pp. 105.

Machado, S.A.; Mello, J.M. de; Barros, D.A.de. 2000. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do paraná, na região sul do brasil. *Cerne*, v.6, n.2, p. 055-066.

Machado, S. A.; Conceição, M. B.; Figueiredo, D. J. 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa. *Ciências Exatas e Naturais,* Curitiba, 4(2): 185-196.

Machado, S. do A.; Figueiredo Filho, A. 2003. Dendrometria. Curitiba. 309pp.

Mello, J.M.; Batista, J.L.F. 2002. Seleção de modelos volumétricos: técnicas de validação. *In: Seleção de modelos volumétricos: técnicas de validação.* 2002, Rio Claro. Seleção de modelos volumétricos: técnicas de validação - Program e Resumos. p. 66-66.

Neter, J. e Wasserman, W. 1974. *Applied Linear Statistical Models: Regression, Analysis of Variance and Experimental Designs*. Richard D. Irwin, Inc., EUA. 842 p.

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

Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. *Mensura forestal*. Costa Rica: IICA, 586 p. (série investigação e educação em desenvolvimento sustentado).

Radambrasil. Programa de Integração Nacional. Levantamentos de Recursos Naturais.1978. V. 14 (Alto Solimões) – RADAM (projeto) DNPM, Ministério de Minas e Energia. Brasil. 626p.

Ranzani, G. 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. Acta Amazônica, 10 (1):7-41.

Rolim, S.G.; Couto, H.T.Z. do; Jesus, R.M.de; França, J.T. 2006. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazonica*, 36(1): 107-114.

Rossi, L.M.B.; Köehler, H.S.; Sanqueta,C.R. 2007. Modelagem de mortalidade em florestas naturais. *Floresta*, Curitiba, PR, v.37, n.2, mai./ago.

Santana, O. A.; Encinas, J. I. 2004. Equações volumétricas para uma plantação de Eucalyptus urophylla destinada à produção de lenha. *In: Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal,* 3. Anais… Santa Maria: UFSM/PPGEF. p.107-111.

Santos, J. dos. 1996. *Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa 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.; Guimarães, G. 2004. Resultados preliminares do inventário florestal da Reserva Extrativista Auati Paraná – AM: Flash de suas potencialidades econômicas e ecológicas. Relatório técnico, FAPEAM/INPA/CPST. 101p.

Segov, 2007. Secretaria do governo do Estado do Amazonas. (http://200.242.43.143/portal/segov/ link Conheça os Municípios: Fonte Boa) Acesso: 28/01/2008

Segura, M. e Kanninen, M. Allometric Models for tree volume and total aboveground biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. *Biotropica*, 37(1): 2-8 2005.

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

Scolforo,J.R.S.; Pérez,J.F.M.; Mello,J.M.de.; Oliveira, A.D.de.; Camolesi, J.F.; Borges, L.F.R.; Acerbi Júnior, F.W. 2004. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (Eremanthus erythropappus (DC.) MacLeish). *Cerne*, Lavras, v.10 n. 1, 87-102.

Silva, J.C.G.L. da; Rosokawa, R.T. 1978. A ciência florestal e a humanidade. *Revista Floresta*, 15 (12): 26-49.

Silva, J. N. M.; Araújo S.M. 1984. Equações de Volume para árvores de pequeno diâmetro na floresta nacional do Tapajós. Boletim de pesquisa florestal. Nº 8/9: 16 –25.

Silva, J. N. M. & Carvalho, M. S. P. de. 1984. Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós, Belterra – Pará. Boletim de pesquisa florestal. Nº 8/9 jun/dez.

Silva, J. N. M.; Carvalho, M. S. P. de.; Lopes, J. do C.A.; Carvalho, M.S.P. de. 1984. Equações de volume para a floresta nacional do Tapajós. Boletim de Pesquisa Florestal. Colombo, n 8/9. p. 50-63, Jun/Dez.

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.

Sprupel, D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 64(1): 209-210.

Spurr, S. H. *Forest inventory*. New York: The Ronald Press, 1952. 476p.

Systat Software SPSS Inc. 2000. SYSTAT 10.0 for Windows.

Teixeira, L. M. ; Chambers, J. Q. ; Silva, A. R. E. ; Lima, A. J. N. ; Carneiro, V. M. C. ; Santos, J. ; Higuchi, N. 2007. Projeção da dinâmica da floresta natural de terra-firme, região de Manaus - AM, com o uso da cadeia de transição probabilística. *Acta Amazonica*, 37(): 377-384.

Tomas, C.; Andrade, C.M.; Schneider, P.R.; Finger, C.A.G. 2006. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16. n. 3, p. 319-327.

Weiss, N.; Hassett, M. 1982. *Introductory statistics*. Addison-Wesley Publishig Co., Reading, EUA. 651 p.

Yang, Y.C e Kung, F.H. 1983. Method for estimation bole volume. *Journal of Forestry*, 81(4): 224-227.

ANEXOS

Anexo 1. Lista botânica das espéies identificadas entre as árvores cubadas, N = número de indivíduos cubados por espécie.

Família	Nome científico	Nome comum	N
Apocynaceae	*Himatanthus attenuata (Benth) Woodson*	sucuuba	1
Bombacaceae	*Bombacopsis quinata Dugand*	cedro-doce	1
Burseraceae	*Protium puncticulatum Machr*	breu vermelho	1
Caesalpinaceae	*Dimorphandra sp.*	faveira	3
	Dipteryx odorata (Aubl.) Willd	cumaru	2
	Macrolobium accaciaefolium Benth.	arapari	1
	Tachigalia paniculata Aubl.	tachi	1
Celastraceae	*Goupia glabra Aubl.*	cupiuba	2
Chrysobalanaceae	*Licaria canela (Meissn) Kostern*	louro pirarucu	1
	Licania macrophylla Benth	macucu-terra	1
Clusiaceae	*Moronobea pulchra Ducke*	bacuri	4
	Symphonia globulifera L.	anani	1
Fabaceae	*Campsiandra laurifolia Benth.*	acapurana	1
	Diplotropis purpurea (Rich) Amsh.	sucupira terra firme	1
	Dipteryx magnifica Ducke	cumaru ferro	1
	Hymenolobium excelsum Ducke	angelim da mata	1
	Pterocarpus amazonicus Huber	mututi	1
Humiriaceae	*Endopleura uchi (Huber) Cuatr.*	uxi amarelo	1
	Vantanea micrantha Ducke	quebra-machado	1
Icacinaceae	*Discophora guianensis Miers*	mamaozinho	1
Lauraceae	*Aniba duckei Kosterm*	pau rosa	1
	Aniba sp.	louro	1
	Beilschmiedia brasiliensis Hosterm	anoerá	9
	Mezilaurus itauba Taub. Ex Mez	itaúba	3
	Ocotea cymbarum H. B. K.	louro-inhamui	1
	Ocotea myriantha Mez	louro abacate	1
	Ocotea neesiana (Miq) Kosterm	louro preto	1
Lecithydaceae	*Cariniana micrantha Ducke*	tauari-vermelho	1
	Cariniana sp.	tauari	12
	Lecythis lurida (Miers) S. A. Mori	jarana	1
	Lecythis paraensis Huber.	castanha sapucaia	1
	Lecythis usitata Miers. Var. paraensis R. Knuth.	castanha sapucaia	1
Mimosaceae	*Parkia multijuga Benth*	faveira	1
Moraceae	*Brosimum guianensis (Aubl) Huber*	amapá-folha-larga	1
	Brosimum parinarioides Ducke	amapa	1
	Clarisia racemosa R. et. P.	guariuba	1
Myristicaceae	*Iryanthera paraensis Huber*	ucuubarana	1
	Iryanthera ulei Warb.	ucuuba	1
	Virola surinamensis (Rol) Warb.	ucuuba	1
Olacaceae	*Curupira tefeensis Black*	castanha-sucupira	8
Rubiaceae	*Calycophyllum spruceanum Benth*	mulateiro	1
Sapotaceae	*Lucuma macrocarpa Hum.*	abiurana-cutitiriba	1
	Manilkara amazonica (Huber) Standley	maparajuba	1
	Micropholis sp	abiurana	2
	Micropholis venulosa (Mart. & Eichler) Pierre	abiurana	1
	Micropholis williamii Abr et Pellegr.	abiurana	1
	Pradrosia prealta Ducke	casca doce	1

Continuação Anexo 1.

Simaroubaceae	*Simaba cedron Planch*	pau paratudo	1
Sterculiaceae	*Sterculia roseiflora Ducke*	tacacazeiro	1
	Teobroma microcarpum Bern	cacau-rana	5
Vochysiaceae	*Qualea homosepala Ducke*	mandioqueira	1
	Qualea sp	mandioqueira	1
	Vochysia vismiaefolia Spruce ex. Warm	quaruba-vermelha	3
Indeterminada			111

Anexo 2. Análise de variância (ANOVA) dos modelos gerais ajustados para a Resex Auatí-Paraná, Fonte Boa (AM).

1) V= a + b DAP

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP	1	1384,469	1384.469	684,017	0,000
Resíduo	204	412.901	2,024		

2) V= a + b DAP ²

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^2	1	1521,543	1521,543	1125,319	0,000
Resíduo	204	275,828	1,352		

3) V= a DAP ^{b}

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP	1	2226,382	1113,191	840,144	0,000
Resíduo	204	270,386	1,325		

4) V= a (DAP ²) ^{b}

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^2	1	2226,382	1113,191	840,144	0,000
Resíduo	204	270,386	1,325		

5) ln V= a + b ln DAP

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Ln DAP	1	308,506	308,506	3650,119	0,000
Resíduo	204	17,242	0,085		

6) ln V= a + b ln DAP^2

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Ln DAP^2	1	308,506	308,506	3650,119	0,000
Resíduo	204	17,242	0,085		

7) V= a + b (DAP^2 HC)

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^2 HC	1	1634,647	1634,647	2049,294	0,000
Resíduo	204	162,723	0,798		

8. V= a + b(DAP^2 HT)

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^2 HT	1	1626,007	1626,007	1935,681	0,000
Resíduo	204	171,364	0,840		

9) V= a + b DAP + c HC

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP, HC	2	1408,786	704,393	367,981	0,000
Resíduo	203	388,585	1,914		

10) V= a + b DAP + c HT

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP, HT	2	1385,493	692,747	341,431	0,000
Resíduo	203	411,877	2,029		

11) $V= a\ DAP^{b}\ HC^{c}$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP, HC	3	2392,994	797,665	1560,988	0,000
Resíduo	203	103,773	0,511		

12) $V= a\ DAP^{b}\ HT^{c}$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP, HT	3	2367,412	789,137	1238,833	0,000
Resíduo	203	129,355	0,637		

13) $V= a\ (DAP^{2}\ HC)^{b}$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^{2} HC	2	2364,918	1182,459	1830,431	0,000
Resíduo	203	131,849	0,646		

14) $V= a\ (DAP^{2}\ HT)^{b}$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
DAP^{2} HT	2	2330,318	1165,159	1427,891	0,000
Resíduo	204	166,449	0,816		

15) $\ln V= a + b \ln (DAP^{2}\ HC)$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
$\ln (DAP^{2}\ HC)$	1	948,038	948,038	227,708	0,000
Resíduo	204	849,333	4,163		

16) $\ln V= a + b \ln (DAP^{2}\ HT)$

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
$\ln (DAP^{2}\ HT)$	1	906,363	906,363	2074,515	0,000
Resíduo	204	891,008	4,364		

17) ln V= a + b ln DAP + c ln HC

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Ln DAP, Ln HC	2	319,651	159,825	5321,584	0,000
Resíduo	203	6,097	0,030		

18) ln V= a + b ln DAP + c ln HT

Fontes de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Ln DAP, Ln HT	2	312,049	156,024	2312,115	0,000
Resíduo	203	13,699	0,067		