



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e
fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de
florestas nativas do estado de Rondônia**

RODRIGO MONTEZANO CARDOSO

Orientador
HUGO BARBOSA AMORIM

Seropédica - RJ
Fevereiro - 2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e
fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de
florestas nativas do estado de Rondônia**

RODRIGO MONTEZANO CARDOSO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Orientador
HUGO BARBOSA AMORIM

Seropédica - RJ
Fevereiro - 2008

**Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e
fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de
florestas nativas do estado de Rondônia**

RODRIGO MONTEZANO CARDOSO

Aprovada, em ____/____/____ de fevereiro de 2008.

Banca Examinadora:

Prof. Hugo Barbosa Amorim – UFRRJ
(Orientador)

Prof. Tokitika Morokawa – UFRRJ

Prof. José de Arimatea e Silva – UFRRJ

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida mãe Rita de Cássia, ao meu irmão Thiago e ao meu pai pelo apoio nessa jornada, e principalmente a DEUS que me guia mesmo quando fecho os olhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade cedida de evoluir quanto espírito nessa passagem pela Terra e pelo milagre da vida.

A minha querida família, principalmente a minha querida mãe Rita de Cássia que se dedica tanto em me ver feliz, ao meu irmão Thiago que tanto amo e ao meu pai por ter me dado subsídios para completar essa fase de minha vida.

Ao mestre Arimatéa o diplomata de nossa escola, por me embasar politicamente e me inspirar como engenheiro florestal.

Ao mestre Toki, o engenheiro florestal mais completo que conheci, pelos conhecimentos cedidos e por me mostrar como ainda engatinho na engenharia florestal.

Ao mestre Hugo, por me apresentar, ensinar, cobrar e dar oportunidade de trabalhar com aquilo que mais amo em minha profissão o inventário florestal. Também por me orientar nesse trabalho de conclusão de curso e pela convivência nesses dias.

Ao mestre Niro Higuchi por me apresentar a Amazônia e fortalecimento dos meus conhecimentos em estatística.

A galera do alojamento Fernandão, Tocantins, Nasser, Mano, Sidnei, Guto, Diegão, Punk, Marquinhos, Fernadinho, Ireno, Kelinho, Hiram, a galera da montanha e muitos outros que estão no meu coração.

As amigas Julia, Ste, Isabela e Gabi pelo carinho e amizade.

Ao amigo Pedrão pela irmandade, alegria, paciência e principalmente pelas aventuras vividas juntos.

Ao amigo Daniel Cavalcanti pela camaradagem, irmandade, conhecimento sobre florestas compartilhados e construídos juntamente e principalmente por ter acreditado

A Juliana Schalch e ao quarto 103 do F4, pela energia positiva e por me fazer buscar a luz.

Ao alojamento feminino em geral, sem ele a rural não teria graça.

Aos amigos de infância de Vila Velha, Dudu, Coelhoão, Diego e Léo Nóia.

E finalmente a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por me oferecer a oportunidade de formar engenheiro florestal e viver uma das fases inesquecíveis da vida.

RESUMO

Medidas precisas de volume de madeira são ferramentas importantes no planejamento do uso do recurso florestal. O presente estudo comparou o clássico método de estimar volume pelo fator de forma ordinário em diferentes procedimentos, com as estimativas efetuadas com o modelo volumétrico de Schumacher & Hall. Os resultados mostraram a supremacia do modelo volumétrico sobre o fator de forma para a amplitude total dos dados, diferentes amplitudes diamétricas e para espécies mais frequentes.

Palavras-chave: volumetria, fator de forma, floresta nativa.

ABSTRACT

Necessary measures of volume of wood healthy important tools in the planning of the use of the forest resource. The present study compared the classic method of esteeming volume for the ordinary form factor in different procedures, with the estimates made with Schumacher's & Hall volumetric model. The results showed the supremacy of the volumetric model about the form factor for the total width of the data, different widths diametrics and for more frequent species.

Word-key: volume, form factor, native forest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. MATERIAL E MÉTODOS	2
3.1 Considerações iniciais	2
3.2 Aplicação do modelo de Schumacher & Hall para o cálculo do volume de árvores	3
3.3 Aplicação de índices (fatores de forma) para o cálculo do volume	3
3.4 Características da amostra a ser utilizada	3
3.5 Relações fundamentais entre as variáveis da amostra, mensuradas no campo	3
3.6 Seleção das espécies para o teste com as equações e fatores de forma	4
3.7 Comparação entre as diferentes estimativas de volume para as espécies selecionadas	5
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	5
4.1 Relações dendrométricas fundamentais das árvores componentes da amostra.	5
4.2 Determinação dos coeficientes e estatísticas para as diferentes formas de aplicação da equação de Schumacher & Hall	7
4.2.1 Equação geral	7
4.2.2 Amplitude diamétrica de 15 a 45cm	8
4.2.3 Árvores com Dap > 45 cm	9
4.3 Obtenção dos Fatores de Forma	9
4.3.1 Fator de Forma médio	9
4.3.2 Fator de forma por amplitude diamétrica	9
4.3.3 Fator de forma por classe de diâmetro 10 cm	10
4.3.4 Fator de forma por espécie	11
4.4 Comparação entre as diferentes alternativas utilizadas para a estimativa do volume real	12
4.4.1 Comparação das estimativas das espécies com diâmetro superior a 45 cm	13
4.4.2 Comparação das estimativas das espécies com diâmetro inferior a 45 cm	16
4.4.3 Resumo	17
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	18
6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1: Relação entre o dap e a altura comercial das árvores	5
Gráfico 2: Relação da Altura comercial média por classe de diâmetro.	6
Gráfico 3. Relação entre o Dap e o volume total das árvores da amostra.	6
Gráfico 4: Relação entre a altura total e o volume.	7
Gráfico 5: Relacionamento das variáveis altura comercial média com fator de forma por classe diamétrica.	10
Gráfico 6: Mostra o comportamento das diversas opções de estimativas	12
Gráfico 7: Mostra o comportamento das diversas opções de estimativas para 54 árvores selecionadas	12

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Espécies selecionadas com diâmetro de 15 - 45 cm.	4
Tabela 2: Espécies selecionadas com mais de 45 cm de diâmetro.	4
Tabela 3: Estatísticas relevantes do modelo geral.	8
Tabela 4: Estatísticas relevantes da Equação de amplitude 15 - 45 cm	8
Tabela 5: Estatísticas relevantes da Equação de amplitude > 45 cm	9
Tabela 6: Fator de forma por classe de diâmetro com amplitude de 10 cm.	10
Tabela 7: Fator de forma para as cinco espécies mais freqüentes para a amplitude diamétrica de 15 - 45 cm.	11
Tabela 8: Fator de forma para as cinco espécies mais freqüentes para as árvores com Dap > 45 cm.	11
Tabela 9: Soma de quadrado dos resíduos referente ao gráfico 6	11
Tabela 10: Soma de quadrados de resíduos referente ao gráfico 7	13
Tabela 11: Estimativas da espécie Castanheira	13
Tabela 12: Estimativas da espécie Cumaru cetim	14
Tabela 13: Estimativas da espécie Jequitiba	14
Tabela 14: Estimativas da espécie Cedrorana	15
Tabela 15: Estimativas da espécie Tauari vermelho	15
Tabela 16: Estimativas da espécie Breu vermelho	16
Tabela 17: Estimativas da espécie Murici azedo	16
Tabela 18: Estimativas da espécie Abiu amarelo	17
Tabela 19: Estimativas da espécie Abiu amarelo_2	17
Tabela 20: Estimativas da espécie Mata-matá branco	17
Tabela 21: Resumo da soma dos quadrados dos resíduos referentes as espécies	18

1. INTRODUÇÃO

Nos inventários florestais, um dos principais objetivos é a obtenção de estimativas de volume, sendo para isso muito utilizadas as equações de volume, comercial ou total, que têm geralmente a seguinte forma funcional: $Y = f(d,h)$, sendo Y o volume (v), d , o DAP e h , a altura total da árvore.

Nos inventários florestais, os modelos que têm sido mais utilizados para estimar os volumes das árvores para diferentes condições edafo-climáticas e espécies florestais são o logarítmico de Schumacher e Hall e o da variável combinada de Spurr, principalmente pela precisão e ajustamento obtidos e pela facilidade de utilização (Ferreira, Melo e Kajira, 1977; Paula Neto et al., 1983; Campos, Trevizol Júnior e Paula Neto, 1985; Silva et al., 1994), citado por (COUTO, *et al.*, 1999).

Trabalhando com árvores de pequeno diâmetro (15 a 45 cm de DAP), SILVA et. al. (1984) escolheu como melhor modelo, o de Kopecky-Gehrhardt, $V = b_0 + b_1 D^2$.

SOUZA *et. al.* (1991), trabalhando espécies individuais, na Reserva Florestal de Linhares, verificou que o melhor modelo difere de espécie para espécie.

Considerando esses resultados, foram selecionados os seguintes modelos para serem aplicados aos dados:

modelo 1 : $V = b_0 + b_1 D^2$

modelo 2 : $V = b_0 + b_1 D^2 H$

modelo 3 : $V = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 D H^2$

modelo 4 : $V = b_0 \cdot D^{b_1}$

modelo 5 : $V = b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$

modelo 6 : $V = b_0 \cdot (D^2 \cdot H)^{b_1}$

Os modelos 4,5 e 6 foram linearizados com o emprego de logaritmos.

Segundo CAMPOS e LEITE (2000), identificada a forma do tronco, não é difícil calcular seu volume. No entanto, não é simples identificar com precisão a forma geométrica de um tronco, pois diversas delas podem ocorrer ao longo deste, dificultando o cálculo do volume. Uma alternativa para cálculo deste é o emprego do fator de forma (f), definido pela razão entre o volume total (ou comercial) do fuste (V_{fuste}) e o volume de um cilindro de altura igual da árvore (H) e com diâmetro igual ao DAP ($V_{cilin.}$), isto é:

$$F = V_{fuste} / V_{cilin.}$$

O motivo de se considerar a altura do cilindro igual à altura da árvore é a garantia da consistência de resultados, uma vez que essa altura é facilmente mensurável com a árvore em pé.

Dependendo de o volume considerado no cálculo ser total ou comercial, é feita uma distinção entre os fatores de forma para volume total e comercial (CAMPOS e LEITE, 2002).

Como o fator de forma é proporção entre volumes, constata-se que troncos com um mesmo fator de forma não tem, necessariamente, uma mesma forma, ou ainda, troncos que possuem a mesma forma não tem, necessariamente, fatores de forma iguais (CAMPOS e LEITE, 2002).

O Fator de Forma é uma alternativa na obtenção de volume, usada no meio florestal.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo comparar estimativas volumétricas efetuadas com modelo de Schumacher & Hall com outras efetuadas com o emprego do fator de forma ordinário em árvores de florestas nativas no estado de Rondônia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Considerações iniciais

Inicialmente, o presente trabalho iria examinar a acurácia das equações de volume determinadas pelo Inventário Florestal do Zoneamento Econômico do Estado de Rondônia, realizado em 1997.

Essa pretensão inicial teve de ser abandonada, pois não foi possível identificar no conjunto de dados utilizado pelo referido inventário, quais os dados discrepantes que foram descartados na determinação das equações de volume utilizadas no Zoneamento de Rondônia referido acima.

Testes preliminares indicaram que a comparação das equações de Rondônia com outras determinadas com o conjunto de dados sem a retirada dos dados discrepantes apresentou tendências advindas dessa diferença entre os conjuntos de dados considerados, ou seja, os dados discrepantes interferem significativamente nos resultados obtidos.

Por esse motivo, optou-se por examinar a acurácia de modelos determinados com o conjunto total de dados (sem a retirada dos dados discrepantes), pela aplicação do modelo de Schumacher & Hall, de formas diferenciadas, principalmente quanto à amplitude diamétrica a ser considerada e os resultados obtidos com a utilização do fator de forma ordinário.

3.2 Aplicação do modelo de Schumacher & Hall para o cálculo do volume de árvores

O modelo de Schumacher & Hall é um dos modelos mais utilizados para o estudo e cálculo do volume de árvores de povoamentos naturais e plantados. Expressa pela equação $V = b_0 \cdot D^{b1} \cdot H^{b2}$, têm apresentado ótimos resultados quando comparados

com outros modelos que também utilizam o diâmetro e a altura como variáveis, em sua composição.

No presente trabalho, ele será aplicado de diferentes maneiras, a saber:

- 1) Equação de volume para a amplitude diamétrica de 15 a 45cm;
- 2) Equação de volume para as árvores com Dap > 45 cm;
- 3) Equação geral de volume para a amplitude total dos diâmetros.

3.3 Aplicação de índices (fatores de forma) para o calculo do volume

O índice utilizado para o calculo do volume para comparação com os resultados do modelo de Schumacher & Hall foi o fator de forma ordinário, obtido pela seguinte relação:

$$FF = \text{Volume cilíndrico comercial} / \text{volume comercial real da árvore.}$$

Esse fator de forma foi também determinado para o total dos dados e os valores médios para as amplitudes diamétricas considerada na aplicação do modelo de Schumacher & Hall.

3.4 Características da amostra a ser utilizada

O conjunto de dados utilizado no processamento compõem-se de 548 árvores, coletadas em 10 localidades diferentes, abrangendo todo o estado de Rondônia. As árvores entre 15 e 45 cm de diâmetro totalizam 212, abrangendo 40 famílias botânicas e 140 espécies e para aquelas com diâmetro acima de 45 cm foram mensuradas 336, distribuídas entre 35 famílias e 135 espécies.

3.5 Relações fundamentais entre as variáveis da amostra, mensuradas no campo

São apresentadas as relações fundamentais entre as variáveis mensuradas no campo para que se possa ter idéia do comportamento das mesmas e vislumbrar possíveis influências que as mesmas tiveram nos resultados alcançados.

As relações de maior interesse são: Dap x Hc, Dap x Vcc, Hc x Vcc e Hc média por classe de Dap.

3.6 Seleção das espécies para o teste com as equações e fatores de forma

A partir das freqüências das árvores cubadas que compuseram a amostra, foram selecionadas 5 espécies com maior freqüência para os intervalos de 15 a 45 cm de Dap, e 5 espécies de maior freqüência acima de 45 cm. Essas árvores compõem os conjuntos

a serem utilizados para testar os modelos e índices aplicados na estimativa dos volumes.

Tabela 1: Espécies selecionadas com diâmetro de 15 - 45 cm

Nome Vulgar	Nome Científico	Família	Frequência
Breu vermelho	<i>Protium apiculatum</i>	BURSERACEAE	7
Murici azedo	<i>Croton matourensis</i>	EUPHORBIACEAE	7
Abiu amarelo	<i>Neoxythece cladantha</i>	SAPOTACEAE	5
Abiu amarelo_2	<i>Neoxythece elegans</i>	SAPOTACEAE	5
Mata-matá branco	<i>Eschweilera cariaceae</i>	LECYTHIDACEAE	4

Tabela 2: Espécies selecionadas com mais de 45 cm de diâmetro

Nome Vulgar	Nome Científico	Família	Frequência
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i>	LECYTHIDACEAE	13
Cumaru cetim	<i>Apuleia leiocarpa</i>	CAESALPINIACEAE	9
Jequitibá	<i>Cariniana decandra</i>	LECYTHIDACEAE	12
Tauari vermelho	<i>Couratari macrosperma</i>	LECYTHIDACEAE	16
Cedrorana	<i>Cedrelinga catanaeformis</i>	MIMOSACEAE	17

3.6 Comparação entre o comportamento das diversas opções para a estimativa do volume para o total dos dados

A estimativa do volume real das árvores será efetuada das seguintes formas:

- 1) Equação de volume para a amplitude diamétrica de 15 a 45cm;
- 2) Equação de volume para as árvores com Dap > 45 cm;
- 3) Equação geral de volume para a amplitude total dos diâmetros;
- 4) Fator de forma geral para todas as espécies e amplitude diamétrica;
- 5) Fator de forma médio por amplitude de diâmetro (15 a 45 cm e > 45cm).

Para comparação entre esses procedimentos, foram gerados dois conjuntos de dados: o primeiro formado pelas classes de diâmetro e a média aritmética das alturas por classe. O segundo conjunto foi formado com a retirada sistemática de cada décima árvore do conjunto formado por todas as árvores, em ordem crescente de diâmetro, num total de 54 árvores, para além de trabalharmos com valores médios das variáveis também trabalhar com valores reais de árvores. A precisão das estimativas será avaliada pelo valor da soma dos quadrados dos resíduos, quanto menor a soma mais precisa é a estimativa, sendo que o resíduo é a diferença do volume real pelo volume estimado, e eleva-se o resíduo ao quadrado para obter valores positivos em todo conjunto do resíduo e assim poder comparar.

3.7 Comparação entre as diferentes estimativas de volume para as espécies selecionadas

O volume real das 5 espécies mais frequentes de cada amplitude diamétrica, foi comparado com o volume estimado a partir dos seguintes procedimentos: aplicação do fator de forma médio geral e por espécie, estimativa a partir da equação geral e da equação por amplitude diamétrica de 15 – 45cm e > 45 cm. A precisão das estimativas foi avaliada pelo valor da soma dos quadrados dos resíduos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relações dendrométricas fundamentais das árvores componentes da amostra

O gráfico 1 mostra a relação entre os diâmetros e as alturas comerciais das árvores da amostra, evidenciando a pobre relação entre essas variáveis, que pode ser expressa pelo valor do coeficiente de correlação igual a 0,4788.

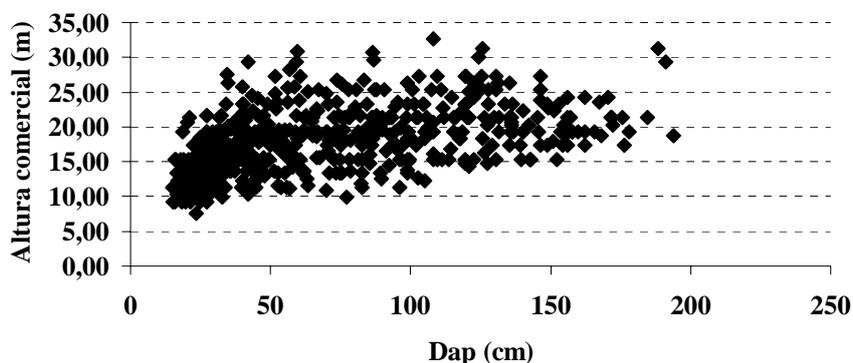


Gráfico 1: Relação entre o dap e a altura comercial das árvores

O gráfico 2 apresenta a relação do diâmetro representativo de cada classe diamétrica e a média aritmética das alturas dessas mesmas classes. Verifica-se que, em termos médios a altura comercial das arvores a partir da classe 50 – 70 cm fica em torno de 20 metros. Essa informação pode ter utilidade para o planejamento da colheita florestal destinada a serrarias.

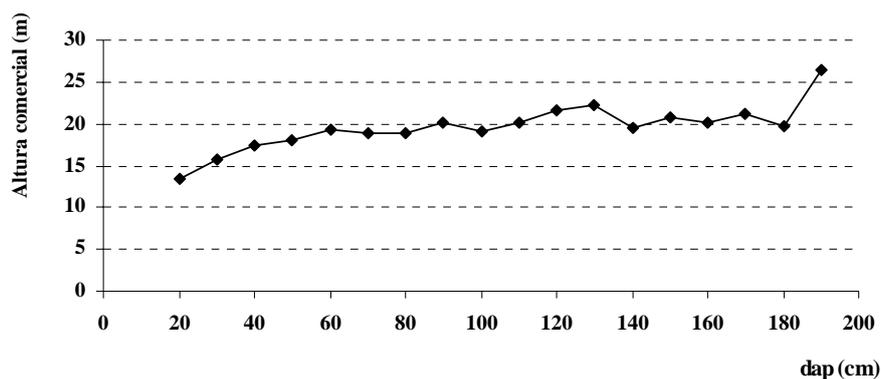


Gráfico 2: Relação da Altura comercial média por classe de diâmetro.

O gráfico 3 mostra a relação existente entre o Dap e o volume total das árvores, que apresenta também o comportamento esperado, ou seja, a existência de uma boa relação entre essas variáveis.

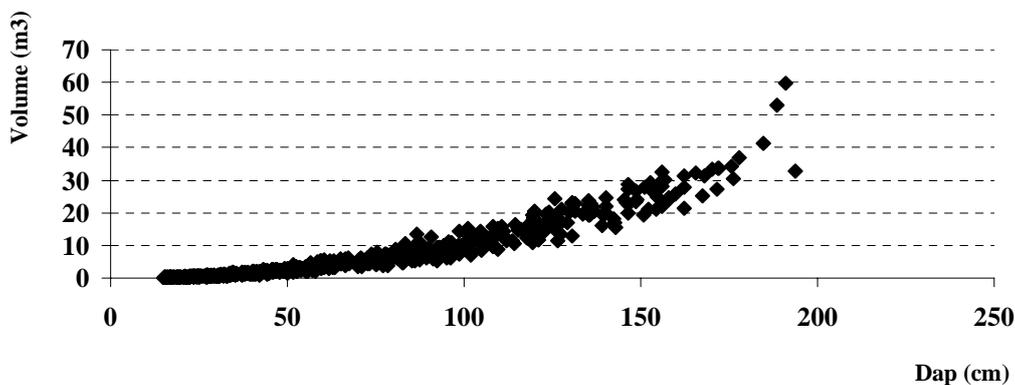


Gráfico 3. Relação entre o Dap e o volume total das árvores da amostra.

O Gráfico 4 mostra o comportamento do volume em relação a altura comercial das árvores, verificando-se a ausência de correlação entre essas variáveis, seguramente causada pela grande diversidade de espécies presente no conjunto de dados. Esse comportamento coloca em dúvida a eficácia da altura comercial como variável desejável para estar presente nos modelos.

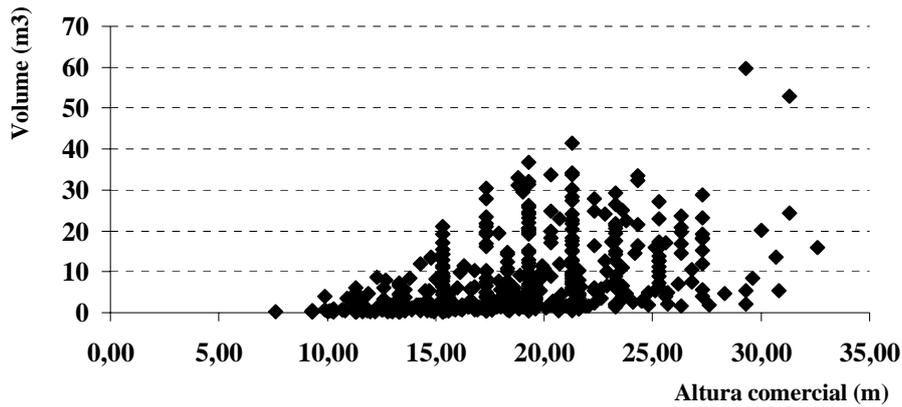


Gráfico 4: Relação entre a altura comercial e o volume.

4.2 Determinação dos coeficientes e estatísticas para as diferentes formas de aplicação da equação de Schumacher & Hall

Modelo original	$V = b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$
Modelo linearizado	$\text{LN}(V) = b_0 + b_1 \cdot \text{LN}(D) + b_2 \cdot \text{LN}(D)$
Modelo genérico	$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \xi$
Identificação das variáveis LN(H)	$Y = \text{LN}(V) \quad X_1 = \text{LN}(D) \quad X_2 =$

4.2.1 Equação geral

Os coeficientes e estatísticas da equação geral (abrangendo todas as 548 árvores) são apresentados a seguir.

Tabela 3: Estatísticas relevantes da equação geral.

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,996325101			
R-Quadrado	0,992663707			
R-quadrado ajustado	0,992636784			
Erro padrão	0,122880608			
Observações	548			

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	2	1113,496	556,748	36871,598
Resíduo	545	8,229306	0,0151	
Total	547	1121,725		

	<i>Erro</i>			
	<i>Coefficientes</i>	<i>padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
B0	-9,01175678	0,058024	-155,31	0
B1	1,999341503	0,009568	208,9536	0
B2	0,720775559	0,02418	29,80857	1,52E-116

4.2.2 Amplitude diamétrica de 15 a 45cm

Os coeficientes e estatísticas da equação da amplitude diamétrica de 15-45 são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4: Estatísticas relevantes da Equação de amplitude 15 - 45 cm

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo	0,988427			
R-Quadrado	0,976987			
R-quadrado ajustado	0,976767			
Erro padrão	0,111984			
Observações	212			

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	2	111,2694	55,63471	4436,401
Resíduo	209	2,620965	0,012541	
Total	211	113,8904		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Bo	-9,18785	0,099104	-92,7094	9,6E-172
B1	2,063518	0,029475	70,00942	4,7E-147
B2	0,707707	0,036628	19,3213	2,15E-48

4.2.3 Árvores com Dap > 45 cm

Os coeficientes e estatísticas da equação da amplitude diamétrica > 45 são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 5: Estatísticas relevantes da Equação de amplitude > 45 cm

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo		0,987708695		
R-Quadrado		0,975568467		
R-quadrado ajustado		0,975421731		
Erro padrão		0,130047859		
Observações		336		

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	2	224,8835	112,4417742	6648,463
Resíduo	333	5,631844	0,016912446	
Total	335	230,5154		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
B0	-8,937096294	0,113216	-78,93876873	1,2E-217
B1	1,990750197	0,019027	104,6278782	8,4E-257
B2	0,708007393	0,033037	21,43089807	1,21E-64

4.3 Obtenção dos Fatores de Forma

4.3.1 Fator de Forma médio

A partir das 548 árvores cubadas e conseqüente obtenção do volume real, foi calculado o volume do cilindro de todo conjunto de dados.

A partir da razão volume real dividido pelo volume do cilindro foi calculado o fator de forma de todas as 548 árvores e encontrada a média dessa variável que é igual a 0,7033. Fator de forma também encontrado na literatura por (HEINSDIJK, D. *et al.*, 1963) e usado no PROJETO RADAM.

4.3.2 Fator de forma por amplitude diamétrica

Foram separadas as 548 árvores cubadas em amplitudes diamétricas distintas: uma para os diâmetros entre 15 a 45 cm e outra acima de 45 cm de diâmetro e calculados os respectivos fatores de forma:

Classe até 45 cm de diâmetro: 0,7347
 Classe superior a 45 cm de diâmetro: 0,6781

4.3.3 Fator de forma por classe de diâmetro 10 cm

Tabela 6: Fator de forma por classe de diâmetro com amplitude de 10 cm

Centro da classe diamétrica (cm)	Media aritmética das alturas comerciais (m)	Fator de forma
20	13,40	0,80
30	15,66	0,72
40	17,39	0,71
50	18,11	0,66
60	19,32	0,70
70	18,80	0,72
80	18,83	0,68
90	20,21	0,65
100	19,01	0,66
110	20,16	0,63
120	21,66	0,64
130	22,29	0,62
140	19,58	0,67
150	20,83	0,66
160	20,18	0,67
170	21,27	0,64
180	19,80	0,70
190	26,46	0,64

O gráfico 5 mostra tendência de diminuição do fator de forma com o aumento da altura média, mostrando que o fuste apresenta maior conicidade em árvores de maior altura.

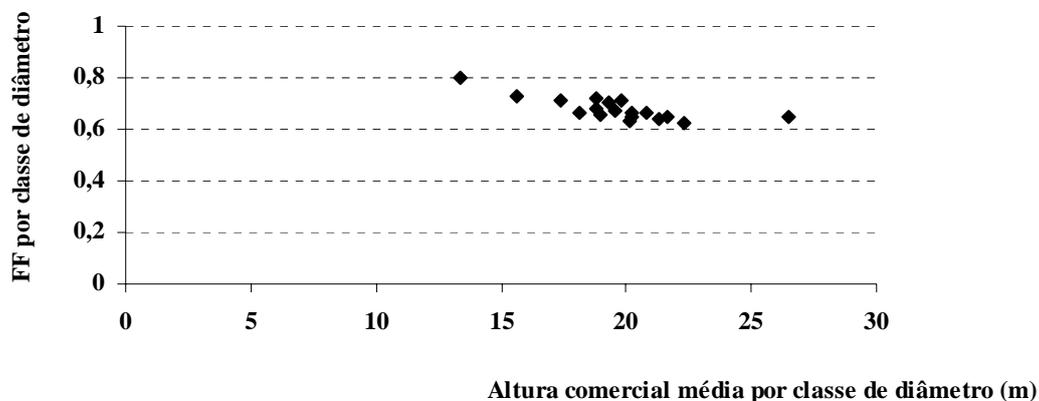


Gráfico 5: Relacionamento das variáveis altura comercial média com fator de forma por classe diamétrica.

4.3.4 Fator de forma por espécie

A Tabela 7 apresenta os fatores de forma das espécies mais frequentes para a amplitude diamétrica de 15 a 45 cm, acompanhados das respectivas médias aritméticas das alturas comerciais por espécie. É possível distinguir na própria tabela, a tendência de diminuição do fator de forma das árvores com o aumento da altura, mostrando que o aumento da altura tem a tendência de tornar o fuste mais cônico.

Tabela 7: Fator de forma para as cinco espécies mais frequentes para a amplitude diamétrica de 15 - 45 cm

Nome Vulgar	FF por espécie	Média aritmética das alturas comerciais (m)
Murici azedo	0,6752	15,6
Abiu amarelo_2	0,7185	16,6
Abiu amarelo	0,7506	14,1
Mata-matá branco	0,7664	13,9
Breu vermelho	0,8328	12,2

A Tabela 8 apresenta os fatores de forma das espécies mais frequentes para a amplitude diamétrica superior a 45 cm, acompanhados das respectivas médias aritméticas das alturas comerciais por espécie. Não é possível perceber relação entre essas variáveis.

Tabela 8: Fator de forma para as cinco espécies mais frequentes para as árvores com Dap > 45 cm

Nome Vulgar	FF por espécie	Média aritmética das alturas comerciais (m)
Castanheira	0,5940	26,8307
Cedrorana	0,6370	19,3529
Cumaru cetim	0,6514	20,8083
Tauari vermelho	0,6837	24,5937
Jequitiba	0,6993	19,0222

4.4 Comparação entre as diferentes alternativas utilizadas para a estimativa do volume real

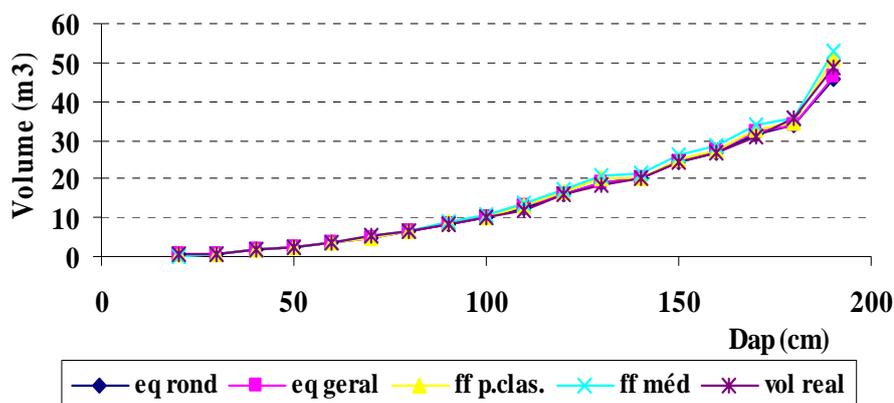


Gráfico 6: Mostra o comportamento das diversas opções de estimativas

O gráfico 6 mostra que o comportamento da estimativa de volume da Equação geral é a que mais se aproxima do volume real, e a estimativa de volume pelo fator de forma médio é o que mais se distancia do volume real, como mostram os valores da tabela 9.

Tabela 9: Soma de quadrado dos resíduos referente ao gráfico 6

Soma de quadrado dos resíduos			
Equação Amplitude Diamétrica	Equação Geral	FF amplitude de classe	FF médio
12,6876	9,701978	15,89911	42,74276

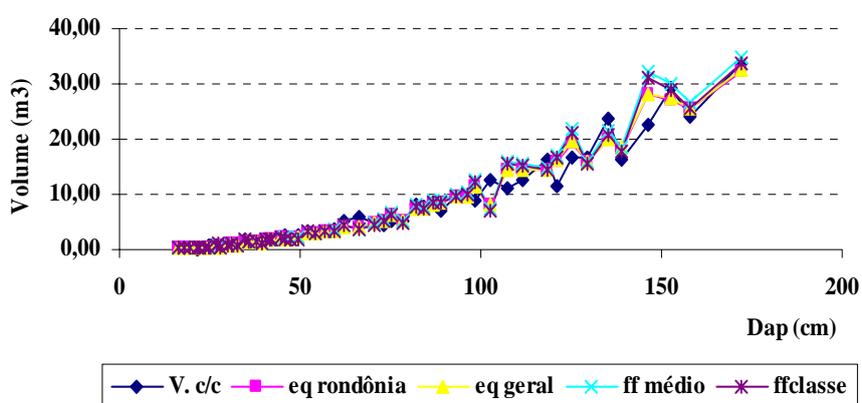


Gráfico 7: Mostra o comportamento das diversas opções de estimativas para 54 árvores selecionadas

O gráfico 7 mostra que o comportamento da estimativa de volume da Equação por amplitude diâmetrica é a que mais se aproxima do volume real, e a estimativa de fator de forma por amplitude de classe é o que mais se distancia do volume real, como mostram os dados da tabela 10.

Tabela 10: Soma de quadrados de resíduos referente ao gráfico 7

Soma de quadrado dos resíduos			
Equação por Amplitude de diâmetro	Equação Geral	FF amplitude de classe	FF médio
137,7366	142,0994	263,6573	216,4207

4.4.1 Comparação das estimativas das espécies com diâmetro superior a 45 cm

As tabelas a seguir tem o seguinte propósito comparar o volume real com as estimativas de volume geradas pelo fator de forma médio e por espécie e também com as estimativas de volume geradas pela equação geral e por amplitude de diâmetro, e suas respectivas soma de quadrados de resíduos de acordo com as espécies escolhidas por frequência que estão na amplitude diâmetrica superior a 45 cm.

A tabela 11 mostra que as estimativas de volume pelo fator de forma por espécie, apresenta a menor soma de quadrados dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie castanheira.

Tabela 11: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Castanheira

Volume real	Castanheira				<i>Bertholletia excelsa</i>			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
6,4236	5,6167	6,6504	6,1902	6,2006	0,6512	0,0514	0,0545	0,0498
6,9173	6,9564	8,2368	7,2555	7,2859	0,0015	1,7410	0,1144	0,1358
11,9984	13,4634	15,9414	13,8349	13,9372	2,1464	15,5475	3,3729	3,7590
15,1440	15,2710	18,0817	15,6832	15,8077	0,0161	8,6298	0,2907	0,4405
16,3196	14,8867	17,6267	15,8105	15,9186	2,0530	1,7085	0,2591	0,1608
14,4073	16,9561	20,0768	18,0188	18,1514	6,4964	32,1443	13,0430	14,0188
16,7632	18,4275	21,8191	19,1123	19,2735	2,7697	25,5615	5,5182	6,3013
20,0994	21,5694	25,5393	21,5250	21,7454	2,1610	29,5927	2,0322	2,7093
18,0102	20,0329	23,7200	20,5478	20,7351	4,0913	32,6014	6,4395	7,4250
24,3350	23,0848	27,3336	22,7510	22,9989	1,5629	8,9918	2,5091	1,7851
20,8341	21,1027	24,9867	21,8733	22,0706	0,0721	17,2438	1,0798	1,5287
28,7416	27,3065	32,3323	27,9683	28,2608	2,0594	12,8935	0,5979	0,2311
59,7633	49,8607	59,0376	49,9029	50,5856	98,0618	0,5266	97,2284	84,2306
Total					122,1429	187,2337	132,5398	122,7758

A tabela 12 mostra que a estimativa de volume pela equação por amplitude diamétrica, apresentara a menor soma de quadrados dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie cumaru cetim.

Tabela 12: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Cumaru cetim

Volume real	Cumaru cetim				<i>Apuleia leiocarpa</i>			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
32,0776	34,6351	28,1724	32,1648	32,0776	22,1422	52,7515	22,9705	25,7092
13,3172	14,3790	12,4345	14,4793	13,3172	3,2122	8,1455	8,7283	8,9484
11,2239	12,1187	10,4041	12,1074	11,2239	0,6728	2,9415	2,9027	2,9890
10,3305	11,1542	9,3861	10,8774	10,3305	0,0444	1,0697	0,5737	0,6147
9,7389	10,5154	8,7389	10,1016	9,7389	0,0101	0,4567	0,0687	0,0834
33,6436	36,3259	29,5495	33,7276	33,6436	0,2507	4,7595	0,1736	0,0141
18,1560	19,6036	16,3046	18,7780	18,1560	1,1393	0,1445	0,1984	0,1193
11,5654	12,4875	10,3801	11,9865	11,5654	1,4437	0,0781	0,6090	0,5474
27,0526	29,2094	24,3061	27,9277	27,0526	25,5500	8,3976	17,4686	15,8608
		Total			54,4654	78,7446	53,6936	54,8862

A tabela 13 mostra que a estimativa de volume pela equação geral apresenta a menor soma de quadrados dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Jequitibá.

Tabela 13: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Jequitibá

Jequitibá					<i>Cariniana decandra</i>			
Volume real	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
19,4775	25,7194	23,0045	20,8593	21,0184	38,9614	12,4399	1,9093	2,3743
7,109722	8,8042	7,8749	7,5751	7,5857	2,8714	0,5855	0,2166	0,2266
15,95233	19,1728	17,1490	15,2067	15,3141	10,3714	1,4319	0,5559	0,4073
17,30985	20,3274	18,1816	16,5450	16,6532	9,1054	0,7600	0,5849	0,4312
6,913509	7,9812	7,1387	6,9759	6,9796	1,1399	0,0507	0,0039	0,0044
7,109178	8,0660	7,2145	6,7488	6,7613	0,9154	0,0111	0,1299	0,1210
14,21295	15,7817	14,1158	12,8284	12,8992	2,4610	0,0094	1,9169	1,7260
5,967409	6,5004	5,8142	5,6008	5,6013	0,2841	0,0235	0,1344	0,1340
14,74035	15,8264	14,1558	13,5800	13,6333	1,1794	0,3417	1,3463	1,2255
5,796749	6,1774	5,5253	5,0877	5,0938	0,1449	0,0737	0,5028	0,4941
27,81496	28,1574	25,1852	24,8662	25,0024	0,1173	6,9157	8,6954	7,9104
3,705067	3,7051	3,3140	3,3028	3,2921	0,0000	0,1530	0,1618	0,1705
		Total			67,5516	22,7961	16,1582	15,2253

A tabela 14 mostra que a estimativa de volume pela equação por amplitude diamétrica apresenta a menor soma de quadrados dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Cedrorana.

Tabela 14: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Cedrorana

Cedrorana					<i>Couratari macrosperma</i>			
Volume real	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
25,1347	33,1017	36,546	32,9459	33,2669	63,4723	130,2209	61,0146	66,1319
2,03771	2,34736	2,59163	2,5731	2,56243	0,0959	0,3068	0,2867	0,2753
22,5031	25,5305	28,1871	25,3793	25,5998	9,1648	32,3077	8,2721	9,5891
18,2320	20,5626	22,7023	21,4183	21,5552	5,4317	19,9835	10,1522	11,0437
32,9382	35,3475	39,0257	37,5455	37,8489	5,8048	37,0576	21,2267	24,1153
19,4110	20,388	22,5096	22,0193	22,1356	0,9546	9,6013	6,8028	7,4234
4,81574	4,98810	5,50715	5,3629	5,36050	0,0297	0,4781	0,2994	0,2968
11,9446	12,1309	13,3932	12,5958	12,6497	0,0347	2,0986	0,4240	0,4972
10,9757	10,9073	12,0423	12,3592	12,3747	0,0047	1,1377	1,9139	1,9571
24,8191	24,3072	26,8365	25,2991	25,4792	0,2621	4,0699	0,2304	0,4356
17,0187	16,4658	18,1792	17,1686	17,2619	0,3057	1,3467	0,0225	0,0591
21,8221	21,0574	23,2486	22,9626	23,0805	0,5849	2,0347	1,3006	1,5834
9,69268	9,21546	10,1744	9,7039	9,73032	0,2277	0,2321	0,0001	0,0014
4,25200	4,00527	4,42205	4,2974	4,29179	0,0609	0,0289	0,0021	0,0016
41,3391	36,3247	40,1046	37,2190	37,5639	25,1446	1,5242	16,9760	14,2524
21,0264	17,7220	19,5661	20,0359	20,1029	10,9192	2,1325	0,9812	0,8529
31,4392	25,4486	28,0967	26,8687	27,0537	35,8871	11,1720	20,8895	19,2326
		Total			158,3854	255,7333	150,7947	157,7490

A tabela 15 mostra que a estimativa de volume pela equação geral apresenta a menor soma de quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Tauari vermelho.

Tabela 15: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Tauari vermelho

Volume real	Tauari vermelho				<i>Cedrelinga catanaeformis</i>			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
4,6123	4,30990	4,75838	4,3198	4,32413	0,0915	0,0213	0,0856	0,0830
15,9010	19,1048	21,0928	17,3732	17,5490	10,2646	26,9553	2,1674	2,7161
13,4966	11,5144	12,7126	10,6780	10,7571	3,9290	0,6147	7,9445	7,5044
15,0967	11,9447	13,1877	11,9887	12,0513	9,9347	3,6442	9,6595	9,2743
33,6946	30,1201	33,2544	31,3182	31,5702	12,7766	0,1938	5,6473	4,5132
10,1713	9,77024	10,7869	9,5858	9,63423	0,1608	0,3790	0,3428	0,2884
16,7315	19,8094	21,8707	19,3720	19,5291	9,4737	26,4120	6,9721	7,8267
20,5366	16,7882	18,5352	16,8235	16,9361	14,0500	4,0055	13,7867	12,9632
7,4489	7,31269	8,0736	7,0663	7,09666	0,0186	0,3902	0,1464	0,1241
23,1409	23,2646	25,6855	22,2424	22,4527	0,0153	6,4754	0,8073	0,4735
21,8477	19,6880	21,7367	20,2299	20,3637	4,6642	0,0123	2,6172	2,2020
26,5122	25,7606	28,4412	25,7637	25,9838	0,5649	3,7211	0,5603	0,2791
32,3781	29,5777	32,6555	29,2075	29,4851	7,8420	0,0770	10,0526	8,3694
27,2351	27,1395	29,9636	26,5016	26,7527	0,0091	7,4451	0,5380	0,2326
36,8651	30,5736	33,7551	32,2524	32,5000	39,5817	9,6719	21,2771	19,0535
30,2178	26,2446	28,9755	26,9312	27,1428	15,7865	1,5432	10,8022	9,4556
		Total			129,1632	91,5621	93,4069	85,3592

4.4.2 Comparação das estimativas das espécies com diâmetro inferior a 45 cm

As tabelas a seguir tem o propósito de comparar o volume real com as estimativas de volume geradas pelo fator de forma médio e por espécie e também com as estimativas de volume geradas pela equação geral e por amplitude de diâmetro, e suas respectivas soma de quadrados de resíduos de acordo com as espécies escolhidas por frequência que estão na amplitude diamétrica de 15 a 45 cm.

A tabela 16 mostra que a estimativa de volume pela equação por amplitude de diâmetro apresenta a menor soma de quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Breu Vermelho.

Tabela 16: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Breu vermelho

Volume real	Breu vermelho				<i>Protium apiculatum</i>			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
1,6185	1,9080	1,6113	1,6454	1,6010	0,0839	0,0001	0,0007	0,0003
0,2517	0,2696	0,2276	0,2499	0,2549	0,0003	0,0006	0,0000	0,0000
0,7122	0,7050	0,5954	0,6576	0,6509	0,0001	0,0136	0,0030	0,0038
0,5290	0,5235	0,4421	0,5144	0,5092	0,0000	0,0075	0,0002	0,0004
1,5199	1,4889	1,2574	1,4683	1,4071	0,0010	0,0689	0,0027	0,0127
0,7136	0,6617	0,5588	0,6336	0,6255	0,0027	0,0239	0,0064	0,0078
0,6333	0,5765	0,4869	0,5445	0,5410	0,0032	0,0214	0,0079	0,0085
		Total			0,0911	0,1361	0,0209	0,0334

A tabela 17 mostra que a estimativa do volume pelo fator de forma por espécie apresenta a menor soma de quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Murici azedo.

Tabela 17: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Murici azedo

Volume real	Murici azedo				Croton matourensis			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
1,0433	1,187212	1,236755	1,2057	1,192068	0,0207	0,0374	0,0264	0,0221
1,1892	1,276844	1,330128	1,5127	1,453673	0,0077	0,0199	0,1046	0,0700
0,7106	0,761274	0,793043	0,8665	0,851749	0,0026	0,0068	0,0243	0,0199
2,0282	2,019141	2,103401	1,9623	1,923314	0,0001	0,0057	0,0043	0,0110
0,5667	0,528508	0,550563	0,5906	0,588897	0,0015	0,0003	0,0006	0,0005
1,1927	1,112137	1,158548	1,1805	1,160763	0,0065	0,0012	0,0001	0,0010
0,4196	0,37891	0,394722	0,4419	0,441885	0,0017	0,0006	0,0005	0,0005
		Total			0,0406	0,0718	0,1609	0,1250

A tabela 18 mostra que a estimativa de volume pela equação geral apresenta a menor soma de quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Abiu amarelo.

Tabela 18: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Abiu amarelo

Volume real	Abiu amarelo				Neoxythece cladantha			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
0,1966	0,2148	0,2012	0,2082	0,2153	0,0003	0,0000	0,0001	0,0004
1,3845	1,4880	1,3943	1,4164	1,3855	0,0107	0,0001	0,0010	0,0000
1,0596	1,0378	0,9724	1,1250	1,0883	0,0005	0,0076	0,0043	0,0008
0,7118	0,6917	0,6481	0,6673	0,6666	0,0004	0,0040	0,0020	0,0020
0,5069	0,4588	0,4299	0,4571	0,4599	0,0023	0,0059	0,0025	0,0022
		Total			0,0142	0,0177	0,0099	0,0054

A tabela 19 mostra que a estimativa de volume pela equação geral apresenta a menor soma do quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Abiu amarelo_2.

Tabela 19: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Abiu amarelo_2

Volume real	Abiu amarelo_2				Neoxythece elegans			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
1,1139	1,2649	1,2382	1,1623	1,1565	0,0228	0,0154	0,0023	0,0018
0,2005	0,2187	0,2141	0,2117	0,2203	0,0003	0,0002	0,0001	0,0004
0,3804	0,3712	0,3634	0,3388	0,3504	0,0001	0,0003	0,0017	0,0009
0,1529	0,1489	0,1457	0,1573	0,1632	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
0,7973	0,6929	0,6783	0,6995	0,6977	0,0109	0,0142	0,0096	0,0099
		Total			0,0341	0,0301	0,0138	0,0131

A tabela 20 mostra que a estimativa de volume pela equação por amplitude diamétrica apresenta a menor soma do quadrado dos resíduos, apresentando menor tendenciosidade para espécie Mata-matá branco.

Tabela 20: Volume real, estimativas de volume e soma do resíduo ao quadrado da espécie Mata-matá branco

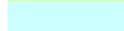
Volume real	Mata-matá branco				<i>Eschweilera cariaceae</i>			
	Fator de forma		Equação		Resíduo ao quadrado			
	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral	Espécie	Médio	Amp. Dia	Geral
1,7192	1,8985	1,7423	1,7198	1,6792	0,0321	0,0005	0,0000	0,0016
0,4214	0,4513	0,4142	0,4824	0,4785	0,0009	0,0001	0,0037	0,0033
0,9987	0,9461	0,8682	0,9399	0,9228	0,0028	0,0170	0,0035	0,0058
0,6824	0,6175	0,5667	0,6214	0,6167	0,0042	0,0134	0,0037	0,0043
		Total			0,0400	0,0310	0,0109	0,0149

4.4.3 Resumo

A Tabela 21, mostra o resumo da soma dos resíduos ao quadrado referente a cada procedimento de estimativa de volume, verificando-se que para as dez espécies, quatro tiveram suas melhores estimativas vinculadas à equações geral, quatro pelas estimativas geradas pela equação por amplitude de classe e apenas duas das estimativas foi obtida pelo emprego do fator de forma por espécie. No geral, o desempenho das duas equações foi similar.

Tabela 21: Resumo da soma dos quadrados dos resíduos referentes as espécies escolhidas

Espécie	PROCEDIMENTO			
	Fator de Forma		Equação	
	Espécie	Médio	Amplitude diam.	Geral
Breu vermelho	0,0911	0,1361	0,0209	0,0334
Murici azedo	0,0406	0,0718	0,1609	0,1250
Abiu amarelo	0,0142	0,0177	0,0099	0,0054
Abiu amarelo_2	0,0341	0,0301	0,0138	0,0131
Mata-matá branco	0,0400	0,0310	0,0109	0,0149
Castanheira	122,1429	187,2337	132,5398	122,7758
Cumaru cetim	54,4654	78,7446	53,6936	54,8862
Jequitibá	67,5516	22,7961	16,1582	15,2253
Tauari vermelho	129,1632	91,5621	93,4069	85,3592
Cedrorana	158,3854	255,7333	150,7947	157,7490

 Menor valor da soma de quadrados do resíduo
 Maior valor da soma de quadrado dos resíduos

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Trabalhar com equações ou fatores de forma para obter estimativas do volume das árvores requer uma atenção especial no que diz respeito a inventários florestais, pois, existe o risco de superestimativa ou subestimativa desse valor.

O modelo de Schumacher & Hall aplicado ao conjunto de árvores cujos dados foram coletados em Rondônia, apresentou bom desempenho para todas as diferentes amplitudes diamétricas nas quais foi aplicado.

O desempenho dos fatores de forma foi inferior ao das equações, mostrando que, havendo possibilidade de se fazer uma equação, essa é a melhor opção.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Couto, H.T.Z.do; Vettorazzo, S.C. 1999 Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda* **CERNE**, V.5, N.1, P.069-080.

Silva, J.N.M.; Araújo, S.M.A. 1984. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro na Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 8/9: 16-25.

Souza, A. Lopes; Jesus, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da mata atlântica ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Rev. Árvore**,15(3):257-273,1991.

Heinsdijk, D.; Bastos, A.M. 1963. Inventários florestais na Amazônia. **Boletim do Serviço Florestal**, 6: 1-100.