



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – ICA
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

LAIS VIEIRA CARVALHO

**MODELAGEM DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA EM PÉ E
EXTRAÍDA DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA COM BAMBU NO
SUL ESTADO DO AMAZONAS**

BELÉM

2018

LAIS VIEIRA CARVALHO

**MODELAGEM DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA EM PÉ E
EXTRAÍDA DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA COM BAMBU NO
SUL ESTADO DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Ciências Florestas: área de concentração Manejo de ecossistemas florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva

BELÉM

2018

Carvalho, Lais Vieira

Modelagem do volume comercial de madeira em pé e extraída de uma floresta ombrófila aberta com bambu no sul estado do Amazonas / Lais Vieira Carvalho. – Belém, 2018.

55 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais - Área de concentração: Manejo de Ecossistemas Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.

Orientador: Dr. José Natalino Macedo Silva.

1. Manejo florestal 2. Floresta Ombrófila Aberta - Método de Smalian 3. Floresta Ombrófila Aberta – Estado do Amazonas I. Silva, José Natalino Macedo, (orient.) II. Título

CDD – 634.92

Bibliotecária-Documentalista: Letícia Lima de Sousa – CRB2/1549

LAIS VIEIRA CARVALHO

**MODELAGEM DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA EM PÉ E
EXTRAÍDA DE UMA FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA COM BAMBU NO
SUL ESTADO DO AMAZONAS**

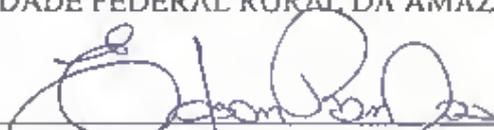
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Ciências Florestas: área de concentração Manejo de ecossistemas florestais, para qualificação do estudo.
Orientador: Prof. Dr. José Natalino Macedo Silva

Aprovado em 27 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Dr. José Natalino Macedo Silva – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Edson Marcos Leal Soares Ramos – 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA



Dra. Rosângela de Jesus Sousa – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Rodrigo Geron Mendes Nascimento – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

À Deus, por me conceder tudo que tenho hoje.
À minha família, meus maiores incentivadores.
Ao prof. Fernando Jardim, pelo primeiro voto de confiança (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

A UFRA e todo o corpo docente, cujos ensinamentos me moldaram como profissional.

Ao prof. José Natalino Macedo Silva pela orientação, ensino, e confiança depositada.

À profa. Rosângela de Jesus Sousa e ao prof. Waldenei pelo apoio sempre prestado.

Agradeço de coração.

Ao prof. Edson Marcos Leal Soares Ramos e ao Parente (que não aceita ser chamado de professor), pela ajuda e assistência.

A Agrocortex, pelo apoio logístico e incentivo de suma importância na produção deste trabalho.

Aos meus amigos, conquistados por força do destino, durante a graduação, que continuam comigo durante a vida, me mostrando como é importante continuar lutando. Obrigada Penélope, Sâmila, Kênia, Marilene e Jefte. Também é graças a vocês que eu cheguei ao fim de mais essa etapa.

“O cara, para ser produtivo, precisa estar feliz.”
Conversas avulsas de um dia de trabalho
QUEIROZ, 2017

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fazenda Seringal Novo Macapá, local de instalação do Projeto de Pesquisa.	19
Figura 2 – Marcação do CAP na árvore antes do tronco ser arrastado para o pátio de estocagem.	20
Figura 3 – Ilustração da medição de toras com sapopema.	20
Figura 4 – Exemplo de seccionamento de um tronco de uma árvore amostra após sua derruba.	21
Figura 5 - Ilustração da medição de uma tora pelo método de Smalian e para as coletas de romaneio.	21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Correlação de Volume x DAP para as árvores amostra.	24
Gráfico 2 - Correlação de Volume x H para as árvores amostra.	24
Gráfico 3 – Correlação de Volume x D^2H para as árvores amostra.	25
Gráfico 4 - Correlação entre as variáveis Volume das toras amostra e diâmetro da base.	26
Gráfico 5 - Correlação entre as variáveis Volume das toras amostra e seu comprimento (L).	26
Gráfico 6 – Correlação entre a variável Volume das toras amostra e a variável combinada Db^2L	27
Gráfico 7 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 9.	40
Gráfico 8 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 10 40	40
Gráfico 9 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 11. 40	40
Gráfico 10 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 12..... 40	40
Gráfico 11 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 13..... 40	40
Gráfico 12 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 14..... 40	40
Gráfico 13 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 15..... 41	41
Gráfico 14 - Dispersão dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 16..... 44	44

Gráfico 15 - Dispersão dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 19.....	44
Gráfico 16 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 1.....	49
Gráfico 17 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 2.....	49
Gráfico 18 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 3.....	49
Gráfico 19 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 4.....	49
Gráfico 20 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 5.....	50
Gráfico 21 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 6.....	50
Gráfico 22 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 7.....	50
Gráfico 23 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 8.....	50
Gráfico 24 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 9.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESES	15
3	OBJETIVOS	16
	3.1 Objetivos específicos	16
4	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
	4.1 Equação de volume para árvores em pé	16
	4.2 Equação de volume para toras	17
	4.3 Ajuste de equações	17
5	MATERIAL E METODOS	18
	5.1 Caracterização da área de estudo	18
	5.2 Coleta dos dados de volume real	19
	5.3 Descrição do banco de dados	21
	5.3.1 Árvores amostra	23
	5.3.2 Toras amostra	25
	5.4 Modelos utilizados	28
	5.5 Crítérios para seleção do melhor modelo	29
	5.5.1 Verificação dos pressupostos da análise de regressão	31
	5.6 Validação do modelo	32
	5.7 Comparações de estimativas	32
6	RESULTADOS	34
	6.1 Equação para árvores	34
	6.1.1 Ajuste de Modelos lineares simples	34
	6.1.2 Ajuste de Modelos lineares múltiplos	35
	6.1.3 Ajuste de Modelos não lineares	41
	6.2 Equações para toras	47
7	CONCLUSÕES	51
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

RESUMO

Nas estimativas dos volumes de árvores em pé nos inventários na Amazônia é comum estimar a altura dos indivíduos de forma ocular, e, portanto, com acurácia questionável. E a estimativa do volume de toras é feita por um método pré-estabelecido na legislação florestal. Este estudo buscou indicar uma alternativa para o uso da Equação que estima

volume cilíndrico, aplicando o fator de forma 0,7 para corrigir a conicidade, também chamada de equação de Heinsdijk, no caso das árvores em pé, e da Equação que utiliza a média de áreas seccionais para estimar o volume de toras, comparando os métodos de estimativa de volume de madeira comumente usados na Amazônia brasileira a fim de encontrar o método com menor erro. Além disso, o estudo propõe uma Equação de regressão para a estimativa do volume de madeira para a área de manejo onde o estudo foi realizado. Foram medidas 406 árvores amostra, e 396 toras, de espécies comerciais em uma Floresta Ombrófila Aberta no estado do Acre, para o ajuste de equações de simples e de dupla entrada. Os volumes estimados com as melhores equações foram comparados aos volumes estimados pela equação do volume cilíndrico corrigidos pelo fator de forma. Observou-se que a equação que utiliza apenas o DAP é mais vantajosa pela otimização do tempo e, conseqüentemente, dos custos do inventário florestal e, por isso, é o método mais recomendado para o uso na unidade de manejo alvo do estudo. Se a altura pode ser medida com maior acuracidade, então deve-se usar a equação linear de dupla entrada.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão. Método de Smalian. Vertex.

ABSTRACT

In the estimates of standing tree volumes in the Amazonian inventories, it is common to estimate the height of the individuals in an ocular way, and therefore, with questionable accuracy. And the log volume estimate is made by a pre-established method in the forestry legislation. This study aimed to indicate an alternative for the use of the equation that estimates cylindrical volume, applying the form factor 0.7 to correct the conicity, also called the Heinsdijk equation, in the case of standing trees, and the Equation that uses the mean of sectional areas to estimate the volume of logs, comparing the methods of estimating the volume of wood commonly used in the Brazilian Amazon in order to find the method with the lowest error. In addition, the study proposes a regression equation for estimating the volume of wood for the management area where the study was conducted. 406 sample trees, and 396 logs, of commercial species were measured in an Open Ombrophylous Forest in the state of Acre, for the adjustment of simple and double input equations. The estimated volumes with the best equations were compared to the volumes estimated by the equation of the cylindrical volume corrected by the form factor. It was observed that the equation using only DAP is more advantageous for the optimization of time and, consequently, the costs of the forest inventory and, therefore, it is the most recommended method for use in the target management unit of the study. If the height can be measured with greater accuracy, then the linear dual-input equation must be used.

KEYWORDS: Regression. Smalian Method. Vertex.

1 INTRODUÇÃO

A quantificação de matéria-prima em florestas naturais é feita em dois momentos: antes da exploração, quando se necessita saber e informar o potencial econômico da área de manejo, e durante a exploração, quando é necessário informar a quantidade de matéria-prima que foi retirada da área de manejo (IFT, 2014). No caso de madeiras deve-se efetuar a cubagem rigorosa dos troncos, para subsidiar o ajuste das equações de volume e, conseqüentemente, tornar possível a estimativa do estoque florestal; e o romaneio que informa aos órgãos fiscalizadores, além da origem das árvores exploradas, o volume de toras.

A estimativa dos volumes individuais das árvores por meio de equações de volume ajustadas por regressão é requerida em todo plano de manejo florestal, a partir do segundo ano de execução do plano para florestas naturais situadas na Amazônia brasileira, auxiliando a quantificação de madeira. Mas isso, como obrigação, é relativamente recente. A partir de 2002, com a publicação da Instrução Normativa nº 30 (BRASIL, 2002), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA começou a exigir que, a partir do 2º Plano Operacional Anual (POA), o cálculo do volume de árvores em pé, apenas seria válido mediante a utilização de equação de volume desenvolvida especificamente na área do PMFS. Esta exigência foi ratificada em 2009, pelo Ministério do Meio Ambiente, pela Resolução nº406 do CONAMA (BRASIL, 2009), que tornou obrigatória em toda a região Amazônica o uso de equação de volume nos inventários relacionados a plano de manejo.

Por outro lado, os estudos com ajustes de equações de volume para áreas de exploração florestal de modo geral são mais antigos. As primeiras tabelas de volume publicadas no Brasil foram feitas por Andrade (1961) e Heinsdijk (1965) para espécies do gênero *Eucalyptus*.

A cubagem de um povoamento florestal deve ser compatível com a população a ser mensurada, dessa forma, a amostra deve abranger toda a variação diamétrica da área e a forma das árvores devem ser consideradas (BATISTA et al., 2014). No caso de manejo de florestas naturais, isso significa também abranger todas as espécies a serem exploradas.

As equações de volume são ferramentas amplamente utilizadas nas estimativas e prognoses da produção madeireira, e consistem em modelos de regressão ajustados a partir de variáveis dendrométricas coletadas em campo que buscam quantificar o volume, com baixa possibilidade de erro (COUTO; BASTOS, 1987).

Para equações de volume, é comum a utilização do diâmetro a 1,30m do solo (DAP), como variável independente, devido à facilidade de coleta em campo, por apresentar maior correlação com o volume real, como é observado na literatura (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

Outra variável amplamente utilizada é a altura comercial ou comprimento do fuste, porém a dificuldade de medir a altura em árvores em pé, devido a estrutura da floresta, a limitação de instrumentos, já é esperado que um erro de estimativa esteja ligado a esse valor, fazendo com que o ideal seja chegar a uma equação de volume de simples entrada com precisão aceitável (SOARES et al., 2011; DA SILVA et al., 2012).

As equações de volume para árvores devem apresentar estimativas com erros dentro dos padrões aceitáveis pelos gestores governamentais e sem que a forma da árvore interfira de forma significativa no resultado final, e para florestas naturais esses erros são menores que 15% (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014). No entanto, o erro intrínseco a essa estimativa na atividade de romaneio não tem sido quantificado e isso resulta em falha na fiscalização do volume de madeira que realmente sai da área de manejo.

Este trabalho buscou identificar e informar às instituições fiscalizadoras responsáveis qual seria o melhor método a ser adotado para estimar o volume e contribuir de forma mais eficiente para o manejo florestal e o comércio de madeira.

2 HIPÓTESES

- a) Para árvores em pé, as equações não lineares apresentam melhores modelos ajustados do que os modelos lineares.
- b) Modelos de simples-entrada, para árvores em pé, podem ser usadas com melhor precisão em relação aos volumes obtidos nos inventários florestais com a altura estimada visualmente.

- c) Modelos para volume ajustados especificamente para quantificar os volumes de toras extraídas da floresta apresentam maior precisão quando comparadas ao método convencional estabelecido na legislação.

3 OBJETIVOS

Identificar os melhores modelos para estimar o volume de árvores em pé e de madeira extraída, em uma floresta ombrófila aberta no sul do estado do Amazonas.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Ajustar modelos de regressão linear e não-lineares para estimar o volume de árvores em pé.
- b) Ajustar modelos de regressão linear para estimar volume de toras extraídas da floresta.
- c) Comparar as estimativas dos volumes obtidos a partir dos modelos ajustados com aqueles obtidos por métodos convencionais.

4 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

4.1 EQUAÇÃO DE VOLUME PARA ÁRVORES EM PÉ

Atualmente, a volumetria das árvores é um requisito importante para o manejo florestal sustentável regulamentada em nível nacional pela Resolução do CONAMA 406 de 2009 e pela Instrução Normativa Nº 5 de 2006 (BRASIL, 2006. b), do Ministério do Meio Ambiente – MMA, que define os procedimentos técnicos a serem tomados na elaboração de qualquer Plano de Manejo Florestal (PMFS).

É comum o ajuste de modelos lineares ou de modelos não-lineares, pelo método dos mínimos quadrados para florestas naturais da região norte do Brasil, sendo que os modelos não-lineares apresentam os melhores ajustes. Isso pode ser observado na literatura (RIBEIRO et al., 2014, p.7; SILVA, SANTANA, 2011, p. 5; THAINES et al., 2010, p.6), na qual a precisão e a distribuição dos resíduos apresentaram melhores resultados em relação às equações lineares.

Quando não é possível encontrar uma equação linear adequada para a amplitude dos valores encontrados, essa relação pode ser um polinômio ou uma função não-linear

(HOFFMANN, 2016), porém esse caminho é pouco utilizado devido a uma série de fatores, entre eles, a dificuldade para chegar a um ajuste (BRAGA, 2005).

Existem equações matemáticas para estimar o volume em florestas naturais e plantadas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014), e devido a heterogeneidade de espécies na floresta e de idade entre os indivíduos estudados, é necessário que se faça ajuste de equações específicas para cada sítio (BARROS; SILVA JR, 2009) melhorando a precisão das estimativas de volume de madeira a ser explorada de forma a reduzir custos e aumentar a produtividade na área manejada.

4.2 EQUAÇÃO DE VOLUME PARA TORAS

O romaneio é uma atividade da exploração florestal que tem por objetivo informar à instituição fiscalizadora responsável o volume da madeira, a espécie, a qualidade comercial de fuste e classe de diâmetro da madeira, aonde esse volume deve ser obtido pelo método matemático (BRASIL, 2010. c.).

O método matemático adotado consiste no cálculo do volume a partir da média das áreas das extremidades da toras multiplicada pelo comprimento da tora, como o volume geométrico de um cilindro (OLIVEIRA; GARCIA, 2014). Porém, o fuste de uma árvore apresenta 4 formas (HUSCH et al., 1993) e a generalização na quantificação do volumes pode resultar em erros na estimativa de volume real (STERNADT, 2001).

Em estudos de mensuração florestal é comum o uso de modelos de regressão para estimar volume de árvores (CARDOSO et al., 2015; TONINI; BORGES, 2015; COLPINI et al., 2009) e modelos de equações de afilamento para florestas plantadas de Pinus e Eucalipto (CHICHORRO et al., 2003), além de predições sobre idade, altura, entre outros usos.

4.3 AJUSTE DE EQUAÇÕES

O ajuste de equações por meio de regressão é feito com valores reais obtidos em campo, a partir dos quais serão estimados os parâmetros (COUTO; BASTOS, 1987) que permitirão obter um valor aproximado da variável de interesse.

Para florestas naturais, o volume individual das árvores é a principal variável de interesse e o meio mais preciso para obtê-lo é com o emprego de um xilômetro. Esse

determina o volume pelo princípio físico de deslocamento de água (FERREIRA et al., 2008, p.2), porém não é um método funcional devido ao equipamento necessário que para muitas empresas podem vir a ser um empecilho.

Os principais métodos de cubagem rigorosa, e os mais difundidos foi o método analítico, principalmente, com o uso das fórmulas de Smalian, Huber e Newton, e todos partem do princípio de que a cubagem rigorosa pode ser realizada a partir da medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco a distâncias fixas que dependem da forma do tronco (OLIVEIRA, GARCIA; 2014).

A escolha da melhor equação geralmente é feita com indicadores de ajuste sendo que os mais utilizados no meio florestal são teste F, coeficiente de determinação, coeficiente de variação, erro padrão e desvio médio porcentual dos resíduos (BARROS; SILVA JUNIOR, 2009; SILVA; SANTANA, 2014; THAINES et al.,2010;).

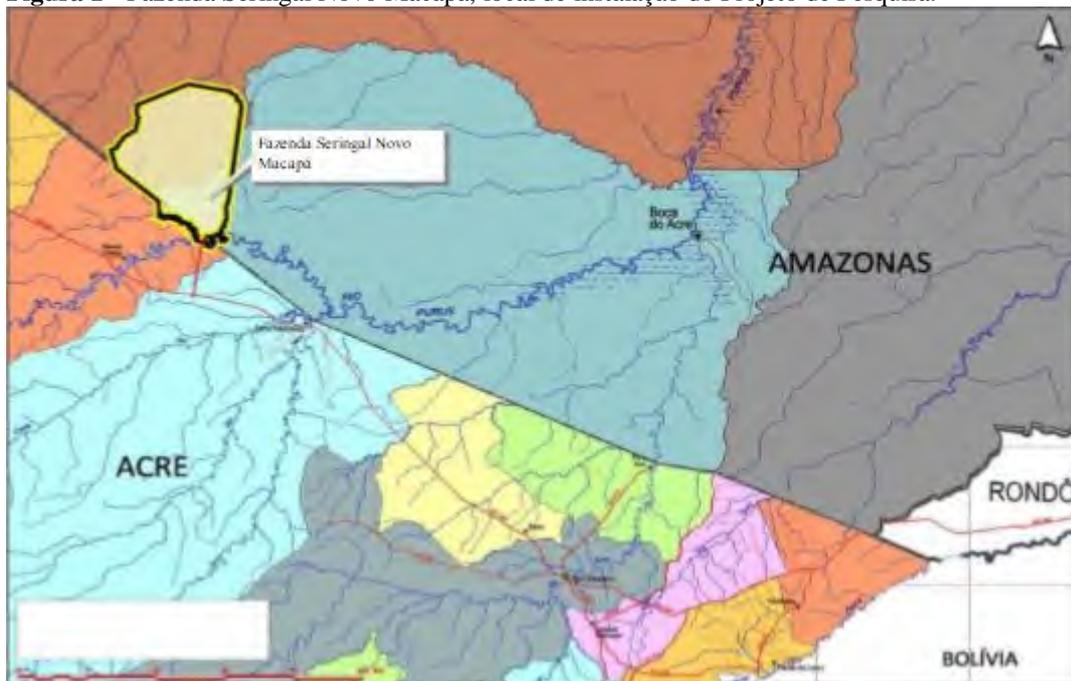
Para que as equações de regressão ajustada sejam válidas é necessário que atendam às condicionantes da regressão, ou seja, que apresentem homoscedasticidade, normalidade e independência dos resíduos (CALLEGARI-JACQUES, 2007).

5 MATERIAL E METODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Área de Manejo Florestal (AMF), pertencente à empresa AGROCORTEX, localizada no sul do estado do Amazonas, fazendo limite com o estado do Acre à margem esquerda do rio Purus, a 30 km da cidade de Manuel Urbano-AC, nos limites estabelecidos entre as coordenadas geográficas: Latitude: 8°10'S a 8°45'S e Longitude: 68°52'W a 69°22'W.

Figura 1 - Fazenda Seringal Novo Macapá, local de instalação do Projeto de Pesquisa.



Fonte: (BARROS et al., 2011).

A vegetação é classificada como floresta ombrófila aberta de bambu, referida regionalmente como tabocal. Localmente verificou-se uma pequena proporção (manchas) de áreas conhecidas como restingas.

De acordo com as informações obtidas no Plano de manejo da empresa Agro cortex, o solo da área é classificado como Argissolo-Vermelho-Amarelo, segundo o mapa pedológico, elaborado pelo projeto RADAMBRASIL (1976), conhecido regionalmente como Tabatinga. Estes solos argilosos e profundos dificultam a movimentação de máquinas e equipamentos no período chuvoso e o relevo é classificado como ondulado e com declividade em direção à rede de drenagem.

5.2 COLETA DOS DADOS DE VOLUME REAL

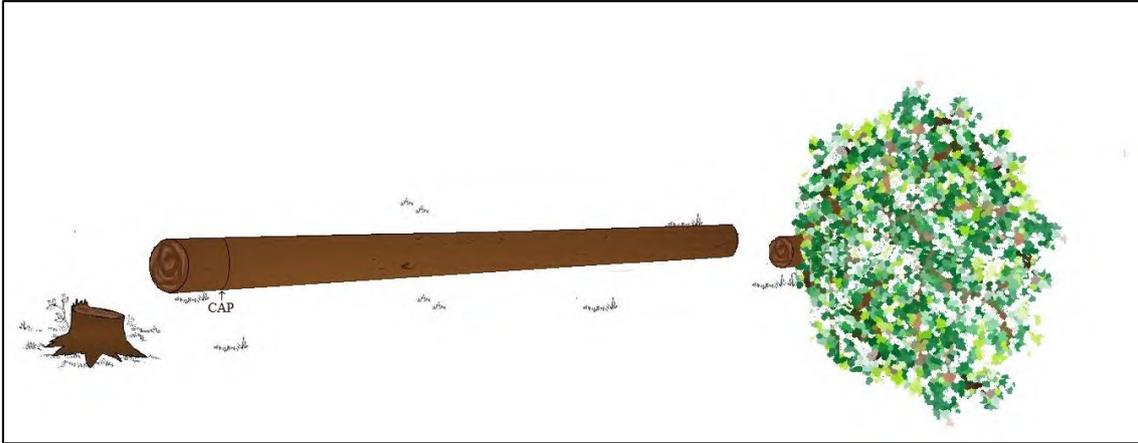
As medições das árvores amostra foram feitas no pátio de estocagem durante a atividade de romaneio, contando com ajuda de uma carregadeira.

Duas situações foram consideradas:

- a) Árvores sem sapopemas

Neste caso, o ponto de medição da circunferência era marcada a 1,30m do solo, CAP (circunferência à altura do peito) e o tronco chegava ao pátio com a marcação conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Marcação do CAP na árvore antes do tronco ser arrastado para o pátio de estocagem.



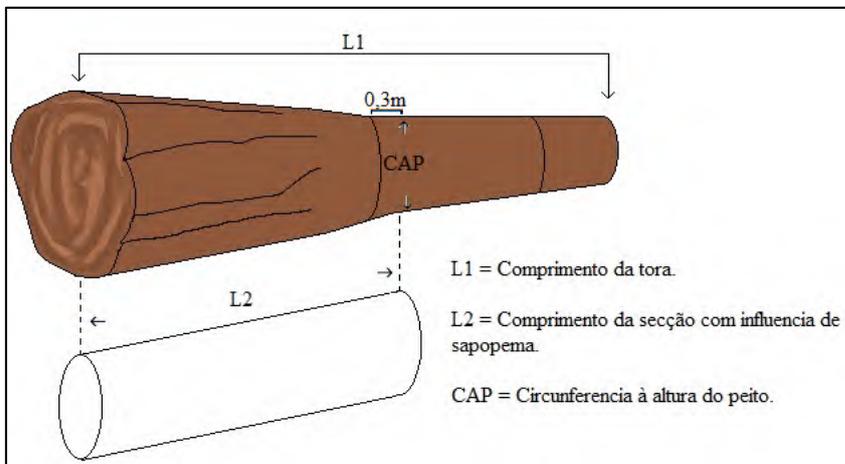
Fonte: Lais Carvalho

b) Árvores com sapopemas

A circunferência foi medida a 0,3m acima da influência das sapopemas conforme ilustrado na Figura 3.

Pelo fato da empresa cortar o excesso de sapopemas e aproveitar a primeira tora, o CAP da tora foi projetado para a base para efeito do cálculo do volume. Também neste caso o método de Smalian foi utilizado como de praxe.

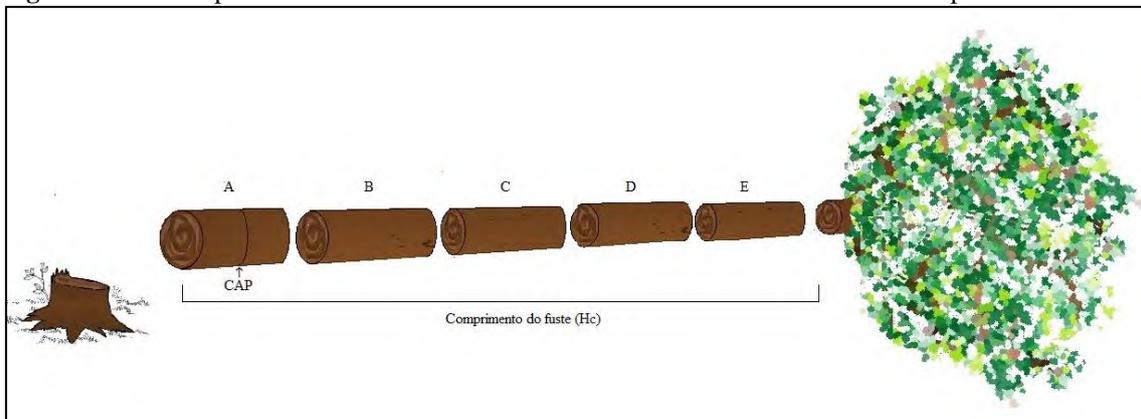
Figura 3 – Ilustração da medição de toras com sapopema.



Fonte: Lais Carvalho

Cada árvore amostra foi seccionada em diversas toras como pode ser verificado na Figura 4. As toras que chegaram ao pátio foram identificadas com o número da árvore dado no censo florestal acrescido das letras A, B, C, e assim sucessivamente conforme o comprimento do tronco. Essa é uma exigência do sistema de cadeia de custódia. Com isso, permitiu a reconstituição dos troncos arrastados ao pátio.

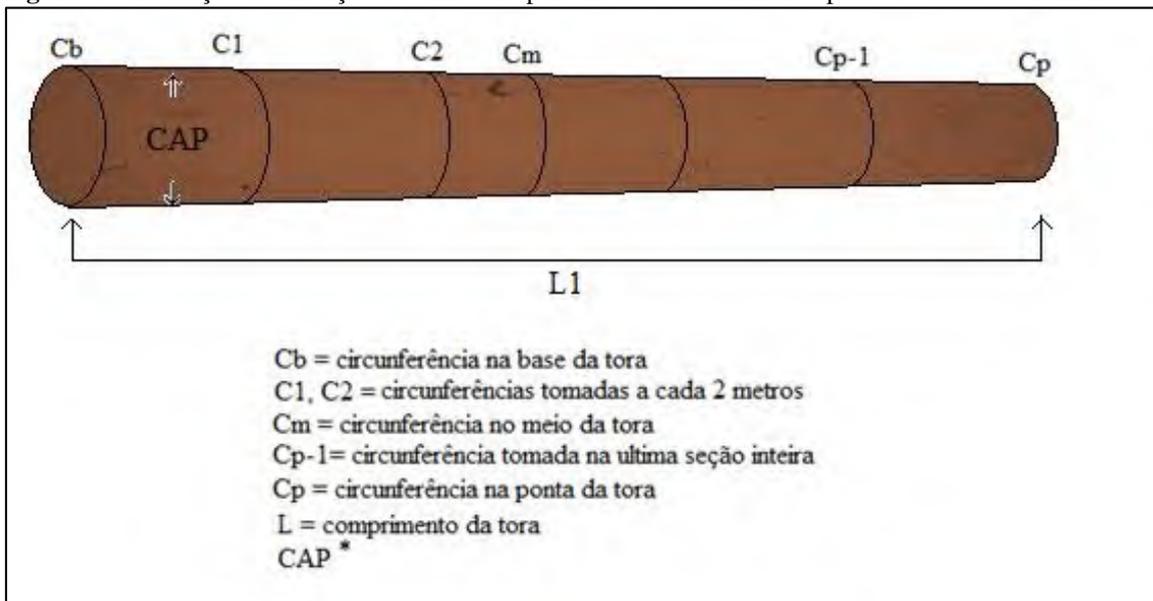
Figura 4 – Exemplo de seccionamento de um tronco de uma árvore amostra após sua derruba.



Fonte: Lais Carvalho

As medições foram realizadas seguindo o método de Smalian, com seções de dois metros. Além disso, tomaram-se medições também para as circunferências na base, no meio e na ponta de cada tora para efeito do ajuste das equações de volume (Figura 5).

Figura 5 - Ilustração da medição de uma tora pelo método de Smalian e para as coletas de romaneio.



Fonte: Lais Carvalho

5.3 DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Na amostragem obtida na área de manejo foram identificadas 35 espécies relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista de espécies exploradas na área de manejo Seringal Macapá.

NOME VULGAR	ESPÉCIE
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.
Mogno	<i>Swietenia macrophylla</i> King.
Garapeira	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.
Pinho do norte	<i>Hura crepitans</i> L.
Jatobá	<i>Hymenaea altissima</i> Ducke
Matamata	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori
Piquiá	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll.Arg.
Curupixa	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre
Oiticica	<i>Couepia</i> sp.
Abiurana	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> subsp. <i>balata</i> (Ducke) T.D.Penn
Branquilha	<i>Sebastiania</i> sp.
Cerejeira	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm.
Marfim azeitona	<i>Aspidosperma</i> sp.
Cedro rosa	<i>Cedrela</i> sp
Cabreuva	<i>Myrocarpus</i> sp.
Figueira	NI
Potumaju	<i>Centrolobium</i> sp.
Mulateiro	<i>Calycophyllum spruceanum</i> Benth.
Sucupira	<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) J.F.Macbr.
Paraju	<i>Manilkara</i> sp.
Amarelão	NI
Itaubão	<i>Ocotea rubra</i> Mez
Abiu	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.
Amapá doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke
Freijó	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken
Tauari	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. ex O.Berg) Miers
Maparajuba	<i>Chromolucuma rubriflora</i> Ducke
Mututi	<i>Etaballia guianensis</i> Benth.
Sucupira	<i>Bowdichia</i> sp
Catuaba	<i>Anemopaegma arvensis</i> (Vell.) Stelfeld ex de Souza
Caucho	<i>Castilla ulei</i> Warb.
Canela	<i>Aiouea saligna</i> Meisn.
Xixá	<i>Sterculia pilosa</i> Ducke
Maracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke
Peroba mica	<i>Aspidosperma</i> sp

5.3.1 ÁRVORES AMOSTRA

As circunferências de cada árvore amostra foram convertidas para diâmetro para efeito de ajuste das equações.

As medições foram planejadas de forma a se obter uma distribuição aproximadamente uniforme das árvores amostra, com pelo menos 30 árvores por classe diamétrica (Tabela 2). Mediram-se no total 406 árvores entre as espécies colhidas pela empresa.

Tabela 2 – Distribuição de frequência das arvores amostra por classe de diâmetro.

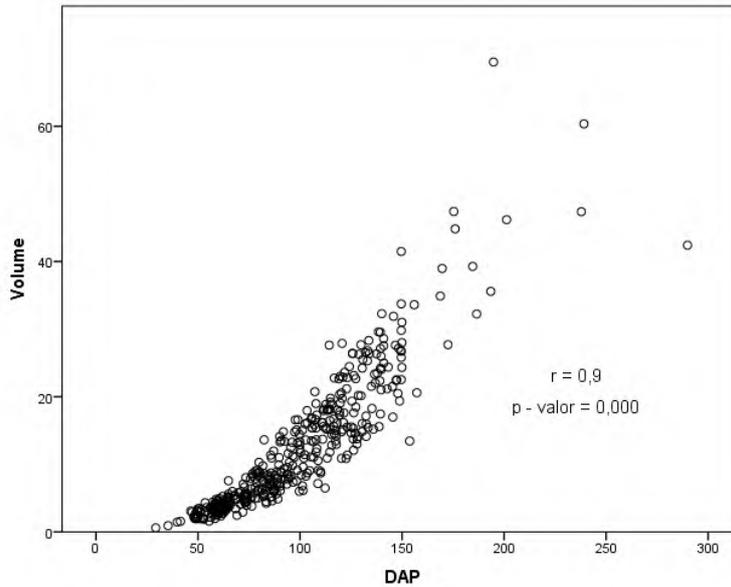
Classe de DAP	Limites da classe(cm)		Frequência Absoluta
1	<50		18
2	50	60	37
3	60	70	45
4	70	80	39
5	80	90	44
6	90	100	39
7	100	110	35
8	110	120	42
9	120	130	36
10	130	140	30
11	> 140		41
TOTAL			406

As 406 árvores medidas apresentaram DAP entre 29cm e 289,9cm.

As árvores tinham em média 18m de altura comercial, sendo o menor valor 8m e o maior valor 32m.

Observando-se o gráfico de dispersão do DAP em relação ao Volume, as variáveis pareceram ter uma relação curvilínea. Ainda assim considerou-se válido testar os modelos lineares já que a correlação linear entre as variáveis foi alta (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Correlação de Volume x DAP para as árvores amostra.



A variável altura parece não apresentar boa correlação com a variável volume como ilustra o Gráfico 2, mas os resultados de ajuste para estimativas de volume costumam ser melhores quando H é usada combinada ao DAP nos modelos. Este fato é demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 2 - Correlação de Volume x H para as árvores amostra.

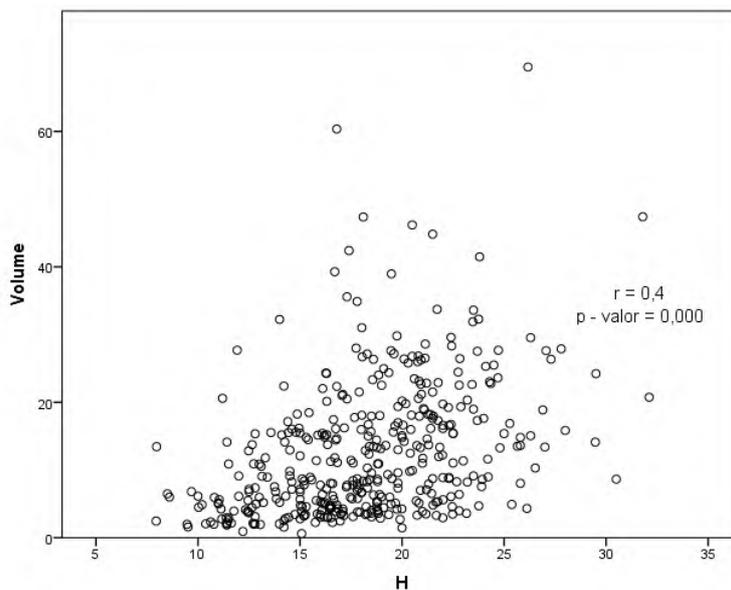
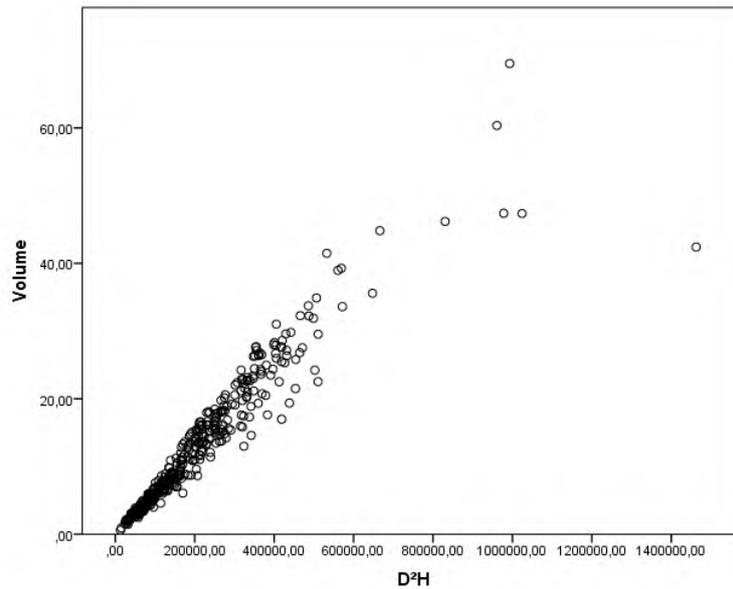


Gráfico 3 – Correlação de Volume x D²H para as árvores amostra.



5.3.2 TORAS AMOSTRA

Embora não se tenha tentado obter uma distribuição aproximadamente uniforme para o caso das toras, procurou-se coletar um número de toras amostra que pudesse cobrir a variação de diâmetros e ajustar uma equação com precisão aceitável. No total mediram-se 396 toras com diâmetro na base que variou de 29cm a 195cm, e sua distribuição de frequência é apresentada na Tabela 3.

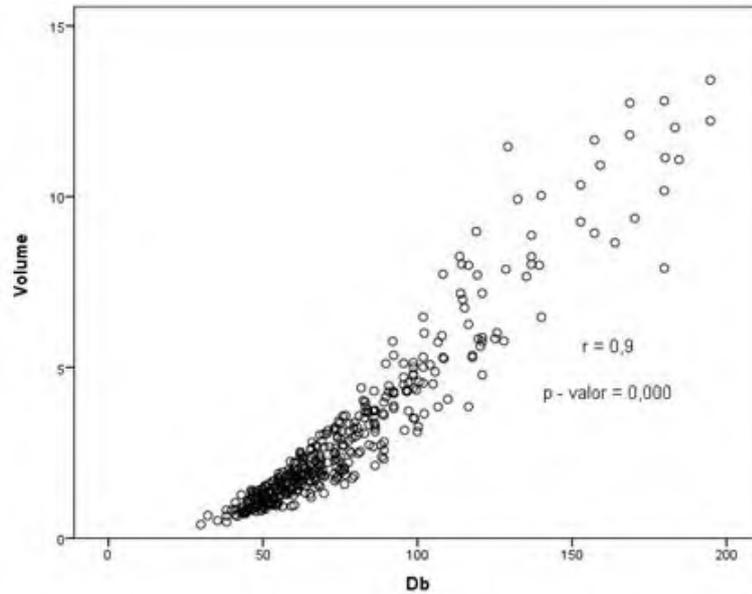
Tabela 3 – Distribuição de toras amostra por classe diamétrica tomando como referência o diâmetro na base das toras.

Classe de Db	Limites da classe(cm)		Frequência Absoluta
1	<40		15
2	40	50	79
3	50	60	87
4	60	70	59
5	70	80	46
6	80	90	30
7	90	100	28
8	100	110	12
9	110	120	11
10	120	130	7
11	130	140	5
12	> 140		17
TOTAL			396

As toras tinham em média 6,7m de comprimento (L), sendo o menor valor 3,15m e o maior valor 12m.

O Gráfico 4 revela uma relação linear positiva entre o Volume das toras e o Diâmetro na base.

Gráfico 4 - Correlação entre as variáveis Volume das toras amostra e diâmetro da base.



A variável comprimento não apresenta boa correlação com o volume conforme se pode observar no Gráfico 5. No entanto, essa correlação pode ser melhorada quando essa variável é usada combinada ao diâmetro Gráfico 6.

Gráfico 5 - Correlação entre as variáveis Volume das toras amostra e seu comprimento (L).

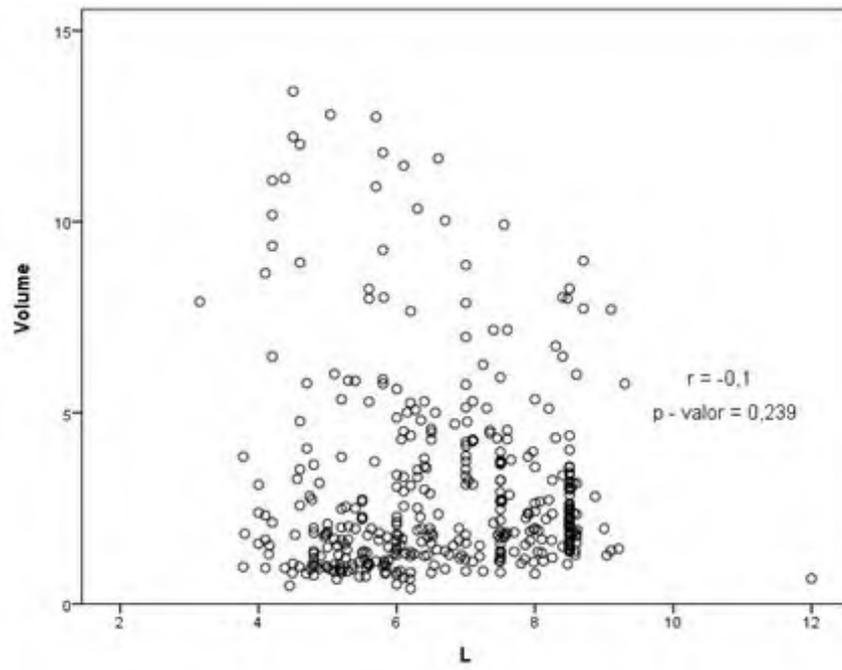
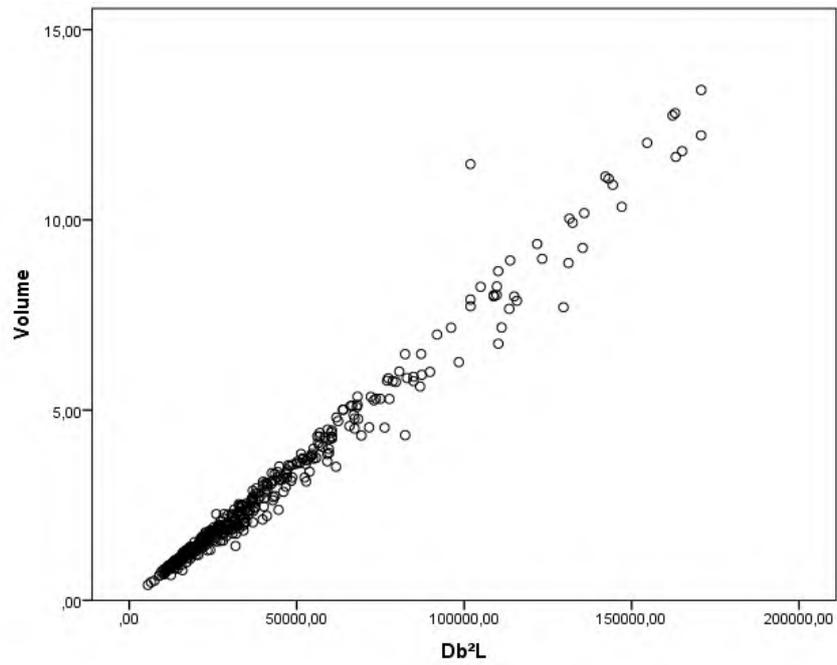


Gráfico 6 – Correlação entre a variável Volume das toras amostra e a variável combinada Db^2L



5.4 MODELOS UTILIZADOS

As variáveis independentes utilizadas nos modelos foram DAP e H, escolhidas baseadas no que é comumente encontrado na literatura para estimar volume de árvores na região Amazônica.

Foram ajustados oito modelos lineares simples, sete modelos lineares múltiplos, e seis modelos não lineares (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelos utilizados nos ajustes de equações de estimativas de volume para árvores.

	Modelos	Autores
1	$V = \beta_0 + \beta_1.D + \varepsilon_i$	Dissescu-Stanescu
2	$V = \beta_0 + \beta_1.D^2 + \varepsilon_i$	Kopezky-Gehhardt
3	$V = \beta_0 + \beta_1.(1/D) + \varepsilon_i$	–
4	$V = \beta_0 + \beta_1.(DH) + \varepsilon_i$	Spurr
5	$V = \beta_0 + \beta_1.(DH^2) + \varepsilon_i$	Variável combinada (Spurr)
6	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2H) + \varepsilon_i$	Spurr
7	$V = \beta_0 + \beta_1.(D/H) + \varepsilon_i$	–
8	$V = \beta_0 + \beta_1.(H/D) + \varepsilon_i$	–
9	$V = \beta_0 + \beta_1.(DH^2) + \beta_2.(1/D) + \varepsilon_i$	–
10	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2H) + \beta_2.(1/D) + \varepsilon_i$	–
11	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2H) + \beta_2.(D) + \varepsilon_i$	–
12	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2H) + \beta_2.(D^2) + \varepsilon_i$	–
13	$V = \beta_0 + \beta_1.(D) + \beta_2.(1/D) + \varepsilon_i$	Brenac
14	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2) + \beta_2.(1/D) + \varepsilon_i$	–
15	$V = \beta_0 + \beta_1.(D^2) + \beta_2.(H/D) + \varepsilon_i$	–
16	$V = \beta_0 D^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Husch
17	$V = \beta_0 (DH)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	–
18	$V = \beta_0 (D^2H)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Spurr
19	$V = \beta_0 D^{\beta_1} (H)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Schumacher-Hall
20	$V = \beta_0 (1/D)^{\beta_1} (DH)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	–

Para estimar o volume das toras, foram ajustados os modelos encontrados na literatura para estimativas de volume, onde D é o diâmetro tomado na base e L é o comprimento da tora (Tabela 5).

O Diâmetro Db foi selecionado pelo método Stepwise Forward, a partir do qual foram selecionadas também as variáveis D/L e 1/D.

Tabela 5 – Modelos para estimativa do volume de toras

	Modelo
1	$V = \beta_0 + \beta_1.D$
2	$V = \beta_0 + \beta_1.D^2 + \beta_2.D^2L$
3	$V = \beta_0 + \beta_1.DL^2 + \beta_2.D^2L$
4	$V = \beta_0 + \beta_1.DL + \beta_2.D^2L$
5	$V = \beta_0 + \beta_1.D/L + \beta_2.D^2L$
6	$V = \beta_0 + \beta_1.DL^2 + \beta_2.D^2$
7	$V = \beta_0 + \beta_1.D + \beta_2.L^2$
8	$V = \beta_0 + \beta_1.D + \beta_2.L$
9	$V = \beta_0 + \beta_1.D/L + \beta_2.1/D$

5.5 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO MELHOR MODELO

Como critérios de seleção para escolher o melhor modelo, foram considerados:

a) Coeficiente de determinação ajustado:

O coeficiente de determinação mede a contribuição um modelo na previsão de uma variável (VIEIRA, 2015). É amplamente utilizado como critério estatístico para escolher entre vários modelos qual a melhor equação (SCHRÖDER et al., 2013; HESS et al., 2014; SANQUETA et al., 2014).

Por outro lado, de acordo com Kleinbaum et al. (2013), o coeficiente de determinação aumenta de valor proporcionalmente ao número de variáveis envolvidas no

modelo ajustado, mesmo que ligeiramente. Assim, para a equação com maior número de variáveis independentes o valor de R^2 sempre será maior, mesmo se o melhor modelo contiver o menor número de variáveis.

Foi considerado coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) maior que 80%, para efeito de comparação entre modelos simples e modelos múltiplos, segundo a equação:

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n - 1}{n - (p + 1)} \right) \times (1 - R^2) \quad (1)$$

b) Erro padrão da estimativa em porcentagem:

O Erro padrão da estimativa indica o afastamento entre os valores estimados e a média dos valores reais (GOMES, 1990) representando a precisão da estimativa.

Em florestas naturais, é comum encontrar valores de erro padrão da estimativa em porcentagem maiores que 10% (FIGUEIREDO FILHO, 2014) devido a influência de fatores como idade, grupo de espécies e sítio.

Para efeito de comparação entre equações lineares e não-lineares, o erro padrão da estimativa em porcentagem foi recalculado segundo a equação:

$$S_{xyr}\% = \frac{\sqrt{\frac{(Vr - Ve)^2}{n - k - 1}}}{\bar{V}} \times 100 \quad (2)$$

onde,

$S_{xyr}\%$ = Erro padrão da estimativa em porcentagem recalculado

V_r = volume real

V_e = volume estimado

n = número de observações

k = número de graus de liberdade da regressão

\bar{V} = média do volume real

Foi considerado o menor erro padrão da estimativa em porcentagem recalculado ($S_{xyr\%}$).

c) DMP

Segundo Cook e Sanford (1982, p. 33), o resíduo de um modelo de regressão é a diferença entre os dados reais de variável de interesse e os valores estimados pela equação ajustada.

O desvio médio percentual é calculado utilizando a soma dos resíduos percentuais ($e_i\%$) dividida pelo número de observações. De acordo com Mello et al. (2008, p.3), essa média designa se a equação está superestimando os valores da variável de interesse, quando o valor resultante for negativo, ou subestimando quando positivo, além de indicar em porcentagem o quanto esse valor variou em relação à média (VARGAS, 2013, p.81).

Apesar de muito raramente o valor estimado e o valor real serem numericamente iguais, a diferença entre eles deve ser próxima de zero, o valor encontrado caracteriza, portanto, a tendenciosidade da equação ajustada (DILWORTH, 1992, p. 128).

Considerou-se o menor valor de DMP, para a escolha do melhor modelo, calculado a partir da equação:

$$DMP = \sum \left(\frac{Vr - Ve}{Vr} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde,

V_r = Volume real

V_e = Volume estimado

Foram considerados os valores mais próximos de 0 como os melhores indicadores.

5.4.1 VERIFICAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

Para verificar se os ajustes atendiam aos pressupostos da regressão, aplicou-se os seguintes critérios e testes:

- a) Para verificar a linearidade dos modelos, considerou-se o coeficiente de correlação linear maior que 0,8;
- b) Para verificar a normalidade dos resíduos, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, para os resíduos padronizados, ao nível de significância de 5%;
- c) O teste não paramétrico de sequências, seguindo os padrões do SPSS, foi utilizado para testar a independência dos resíduos;
- d) Para verificar a homoscedasticidade, observou-se no gráfico de resíduos padronizados se os resíduos estavam distribuídos de forma homogênea, com valores em torno de zero. As medidas das árvores que apresentavam resíduos maiores que 3 e menores que -3, foram excluídas do ajuste.

Devido a possibilidade de colinearidade para os modelos múltiplos foi utilizado o fator de inflação da variância (VIF – Variance Inflation Factor), rejeitando-se modelos com valor maior que 10 (GUJARATI; PORTER, 2011).

Para a seleção do melhor modelo foi utilizado o valor ponderado dos parâmetros estatísticos (VP), obtidos pelos escores atribuído a cada parâmetro, sendo os menores valores obtidos pelas melhores estatísticas (THIERSCH, 1997). Adicionalmente foi utilizada a análise gráfica dos resíduos.

Os modelos foram ajustados com auxílio do software IBM SPSS Statistics 23.

5.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

As equações que apresentaram melhores indicadores foram submetidas ao teste F de Graybill (1976), para a confirmação de que o volume estimado não era significativamente diferente do volume real. Para isso, utilizou-se a metodologia na qual é ajustada uma equação de regressão entre o volume real (V_{real}) e o estimado (V_{est}): $V_{real} = \beta_0 + \beta_1.V_{est} + \varepsilon_i$, na qual é testada a hipótese que β_0 é igual a zero e β_1 é igual a 1. O valor F calculado é comparado com o F tabelado (α ; p; n-p).

5.7 COMPARAÇÕES DE ESTIMATIVAS

A empresa forneceu os dados de volume romaneiado para as toras utilizadas no ajuste, os quais foram comparados com o volume estimado pela equação considerada mais adequada.

O volume das toras no romaneio é estimado segundo a equação (Instrução normativa nº 10, 8 de maio de 2015):

$$V_{rom} = \frac{\left[\left(D_b^2 \times \frac{\pi}{4} \right) + \left(D_p^2 \times \frac{\pi}{4} \right) \right]}{2} \times L \quad (3)$$

onde,

V_{rom} = volume romaneiado

D_b = diâmetro maior em cm (base)

D_p = diâmetro menor em cm (ponta)

L = comprimento da tora

Foi também calculado o volume das árvores amostra por meio da equação:

$$V_{ff} = 0,5498 \times D^2 \times H_c \quad (4)$$

onde,

V_{ff} = Volume estimado com o fator de forma

0,5498 = constante $\left(\frac{\pi}{4} \times 0,7 \right)$

D = diâmetro em metros

H_c = altura comercial

Para comparar os volumes estimados pela equação de romaneio, pela equação de regressão, e pelo volume calculado com o fator de forma utilizou-se a mesma metodologia de validação do modelo com o teste F de Graybill.

O erro foi quantificado pela comparação entre o volume real e o volume estimado, tanto no romaneio quanto na equação de regressão, sendo aquele que apresentar menor DMP e menor coeficiente de variação foi considerado o melhor método.

6 RESULTADOS

6.1 EQUAÇÃO PARA ÁRVORES

6.1.1 Ajuste de Modelos lineares simples

Avaliando, pelo coeficiente de determinação as Equações 3, 5, 7 e 8 não apresentaram bom ajuste, tendo valores menores que 80%. Os valores de erro padrão da estimativa em porcentagem para todas as Equações foi maior que 15%, o que é considerado alto, mesmo se tratando de floresta natural como é possível observar no levantamento feito por Figueiredo Filho et al. (2014) para florestas naturais da região Norte do Brasil (Tabela 6).

Tabela 6 – Ajuste de equações lineares simples para estimativas do volume de árvores em pé na área de manejo Seringal Macapá.

Equações	Coefficientes	Teste t	P – valor	R ² _{aj} ¹	Sxy% ²	DMP ³
1 $V=\beta_0+\beta_1D+\varepsilon_i$	$b_0=-12,62537$ $b_1=0,25596$	-20,608 43,661	0,000 0,000	82,47	32,77	2,32
2 $V=\beta_0+\beta_1D^2+\varepsilon_i$	$b_0=-0,87303$ $b_1=0,00123$	-4,444 62,886	0,000 0,000	92,7	18,95	3,73
3 $V=\beta_0+\beta_1(1/D)+\varepsilon_i$	$b_0=33,13103$ $b_1=-1785,90121$	36,704 -24,258	0,000 0,000	59,19	50,00	10,14
4 $V=\beta_0+\beta_1(DH)+\varepsilon_i$	$b_0=-7,40174$ $b_1=0,01098$	-16,374 44,828	0,000 0,000	85,35	29,96	2,42
5 $V=\beta_0+\beta_1(DH^2)+\varepsilon_i$	$b_0=0,02821$ $b_1=0,00035$	0,052 27,519	0,958 0,000	65,13	46,23	-21,98
6 $V=\beta_0+\beta_1(D^2H)+\varepsilon_i$	$b_0=1,22300$ $b_1=0,00006$	4,892 58,767	0,000 0,000	89,50	25,36	-0,11
7 $V=\beta_0+\beta_1(D/H)+\varepsilon_i$	$b_0=0,41065$ $b_1=2,15390$	0,376 12,071	0,707* 0,000	26,32	67,19	-60,60
8 $V=\beta_0+\beta_1(H/D)+\varepsilon_i$	$b_0=25,55215$ $b_1=-63,02053$	22,101 -12,036	0,000 0,000	26,21	67,24	-50,26

*Teste t não significativo para os parâmetros.

As equações 7 e 8 apresentaram coeficientes de determinação baixos, indicando que não foi possível alcançar um bom ajuste utilizando as variáveis D/H e H/D. O

¹ Coeficiente de determinação ajustado

² Erro padrão da estimativa em porcentagem

³ Desvio médio percentual

coeficiente de determinação indica a influência das variáveis independentes incluídas no modelo para explicar a variação observada na variável independente (VIEIRA, 2015, p.81).

O teste t foi não significativo para os interceptos das Equações 5 e 7. Porém, segundo Bosker e Snijders (2011, p. 44), não foi necessário fazer um novo ajuste com β_0 igual a zero, já que a finalidade deste estudo não depende do intercepto.

Levando em consideração os valores desses indicadores, não é possível indicar nenhuma Equação linear simples para as estimativas de volume das área de manejo.

6.1.2 Ajuste de Modelos lineares múltiplos

Foram ajustados 7 modelos lineares múltiplos como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Ajuste de Equações lineares múltiplas para estimativas de volume de árvores em pé na área de manejo Seringal Macapá.

	Equações	Coefficientes	Teste t	P - Valor	R²_{aj}	Sxy%	DMP
9	$V=\beta_0+\beta_1(DH^2)+\beta_2(1/D)+\varepsilon_i$	$b_0=16,04063$ $b_1=0,00024$ $b_2=-1028,59984$	13,908 18,199 -14,981	0,000 0,000 0,000	77,54	37,09	13,14
10	$V=\beta_0+\beta_1(D^2H)+\beta_2(1/D)+\varepsilon_i$	$b_0=-0,87605$ $b_1=0,00006$ $b_2=24,98543$	-2,8259 95,060 1,4723*	0,005 0,000 1,142	98,91	7,84	-0,16
11	$V=\beta_0+\beta_1(D^2H)+\beta_2(D)+\varepsilon_i$	$b_0=-1,33090$ $b_1=0,00006$ $b_2=0,01968$	-5,4150 48,9430 4,3323	0,000 0,000 0,000	98,13	9,47	0,73
12	$V=\beta_0+\beta_1(D^2H)+\beta_2(D^2)+\varepsilon_i$	$b_0=-0,68044$ $b_1=0,00016$ $b_2=0,00005$	-8,54407 57,18490 7,50050	0,000 0,000 0,000	98,98	7,74	0,81
13	$V=\beta_0+\beta_1(D)+\beta_2(1/D)+\varepsilon_i$	$b_0=-32,34579$ $b_1=0,35288$ $b_2=882,31179$	-10,8031 21,5875 6,8809	0,000 0,000 0,000	90,26	20,32	-5,21
14	$V=\beta_0+\beta_1(D^2)+\beta_2(1/D)+\varepsilon_i$	$b_0=-0,81671$ $b_1=0,00121$ $b_2=7,09356$	-0,81961 28,92994 0,134069	0,413 0,000 0,893	91,37	20,03	-4,87
15	$V=\beta_0+\beta_1(D^2)+\beta_2(H/D)+\varepsilon_i$	$b_0=-7,93468$ $b_1=0,001492$ $b_2=22,01032$	-18,1504 72,38399 16,4245	0,000 0,000 0,000	95,97	14,34	-1,40

* Teste t não significativo para os coeficientes

A maioria das equações apresentou coeficiente de determinação ajustado maior que 80%, a exceção da Equação 9 e observando os valores de $S_{xy}\%$ é possível selecionar as Equações 10, 11, 12 e 15, já que as outras apresentaram valores maiores que 15%.

Na Equação 10, o coeficiente b_2 é estatisticamente igual a 0, portanto a variável $1/D$ é irrelevante para o modelo. A mesma estatística foi observada para o coeficiente b_0 e b_2 na Equação 14 (Tabela 7).

Os resultados das análises para os pressupostos da regressão estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados dos testes de linearidade, normalidade e independência dos resíduos e de multicolinearidade para as Equações.

Equações	r*	Teste de normalidade	Teste de sequências	VIF
Equação 9	0,88	0,001	0,000	1,581
Equação 10	0,99	0,091	0,075	2,841
Equação 11	0,99	0,085	0,201	5,436
Equação 12	0,99	0,200	0,199	6,852
Equação 13	0,95	0,052	0,780	13,012
Equação 14	0,96	0,200	0,266	4,119
Equação 15	0,98	0,082	0,205	1,837

*Coeficiente de correlação

O coeficiente de correlação indicou uma correlação positiva forte entre as variáveis do ajuste, os testes de normalidade e independência dos resíduos indicaram que os resíduos apresentam distribuição normal e aleatória, exceto a Equações 9 aonde os pressupostos de normalidade e independência na distribuição dos resíduos não foram verificados.

Segundo GUJARATI et al. (2011), o VIF maior que 10 indica multicolinearidade entre as variáveis, sendo assim, a Equação 14 também não se adequa às regras do ajuste.

A distribuição dos resíduos padronizados apresentadas nos Gráficos 8, 9, 10, 11, 12 e 13 revelam que os valores distribuem-se de forma homogênea em torno de zero, portanto, há homoscedasticidade. A distribuição dos resíduos para a Equação 9 apresenta tendências na distribuição (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 9.

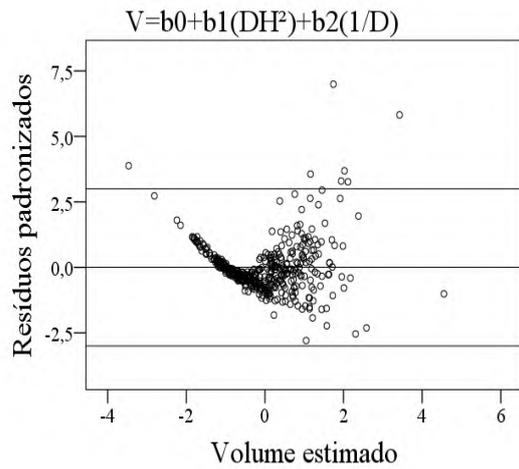


Gráfico 8 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 10.

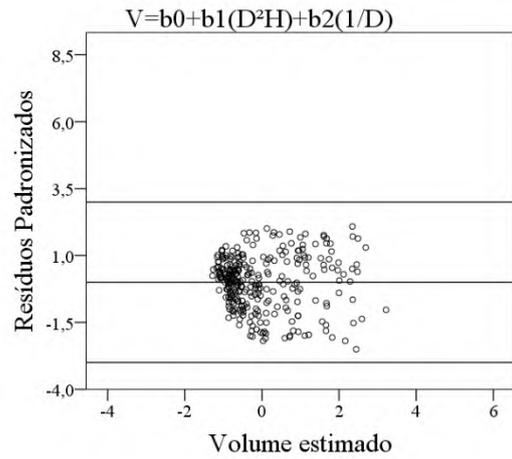


Gráfico 9 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 11.

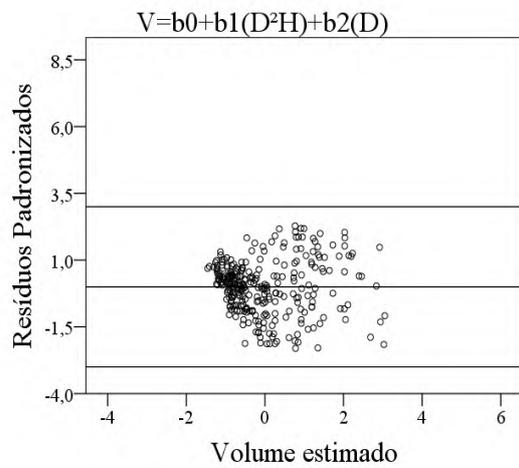


Gráfico 10 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 12.

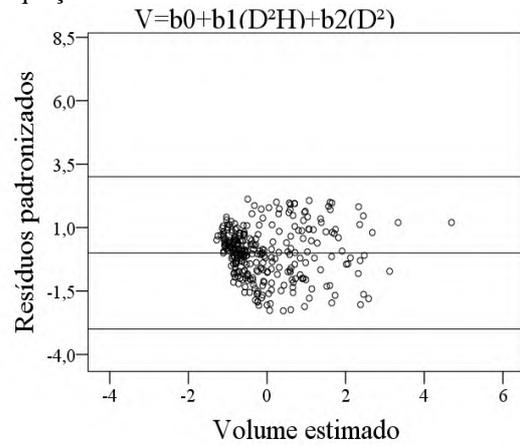


Gráfico 11 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 13.

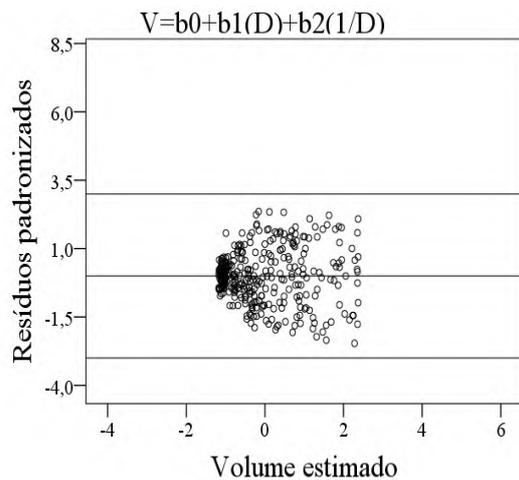


Gráfico 12 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 14.

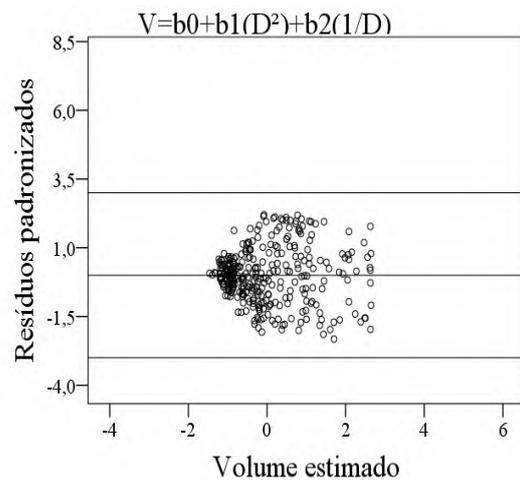
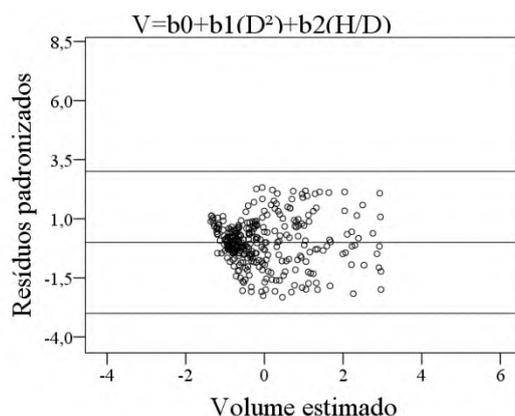


Gráfico 13 - Dispersão dos valores de resíduo padronizados em função do volume para a Equação 15.



As Equações 11 e 12 foram as que apresentaram erro padrão da estimativa em porcentagem menor que 15 %, coeficiente de determinação ajustado maior que 80% e Desvio médio percentual menor que 1, indicando que são equações adequadas para as estimativas de volume da floresta estudada.

6.1.3 Ajuste de Modelos não lineares

Na tabela 9 observa-se que todas as equações apresentaram coeficientes de determinação maiores que 80%. No entanto, examinando-se os resultados para erro padrão de estimativa em porcentagem, apenas as equações 16, 18 e 20 apresentaram valores menores que 15%.

Tabela 9 – Modelos não lineares ajustados para as árvores amostra.

	Modelos	Coefficientes	Teste t	Valor - p	R_{aj}²	Sxy%*	DMP
16	$V = \beta_0 D^{\beta_1 + \varepsilon_i}$	$b_0 = 0,00055$ $b_1 = 2,14195$	5,792 53,719	0,000 0,000	93,20	11,30	-1,54
17	$V = \beta_0 (DH)^{\beta_1 + \varepsilon_i}$	$b_0 = 0,00005$ $b_1 = 1,63921$	-43,205 51,699	0,000 0,000	90,54	21,81	-2,61
18	$V = \beta_0 (D^2H)^{\beta_1 + \varepsilon_i}$	$b_0 = 0,00005$ $b_1 = 1,02248$	9,9749 118,802	0,000 0,000	98,10	8,30	-0,54
19	$V = \beta_0 D^{\beta_1} (H)^{\beta_2 + \varepsilon_i}$	$b_0 = 0,00006$ $b_1 = 2,04767$ $b_2 = 0,90954$	-83,904 98,027 30,186	0,000 0,000 0,000	96,79	27,96	-1,12
20	$V = \beta_0 (1/D)^{\beta_1} (DH)^{\beta_2 + \varepsilon_i}$	$b_0 = 0,000004$ $b_1 = -5,10769$ $b_2 = 0,93305$	-95,077 -32,152 34,553	0,000 0,000 0,000	98,10	8,80	-0,78

*os valores de erro foram recalculados e corrigidos.

A Equação 16 apresenta baixos valores de erros em se tratando de uma floresta natural, e tem como principal vantagem o ajuste apenas com a variável diâmetro. As estimativas dos volumes em inventários são obtidos pelo uso da Equação de fator de forma 0,7 de HEINSDIJK e a variável altura normalmente estimada visualmente, quando a Empresa responsável não dispõe de métodos modernos de estimativas de altura, como o Vertex, por exemplo.

Equações não-lineares não necessitam atender ao suposto de linearidade. Nesses casos, o coeficiente de correlação pode estar subestimando a força real da relação estudada de acordo com Hair et al. (2009).

O teste de normalidade indicou que os resíduos das Equações 16 e 19 seguem distribuição normal e o teste não paramétrico de sequências mostrou independência dos resíduos. O VIF indicou que não há multicolinearidade entre as variáveis independentes na Equação 19 (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados dos testes de normalidade e independência dos resíduos para as Equações não lineares.

Equações	Teste de normalidade	Teste de sequências	VIF
Equação 16	0,200	0,815	–
Equação 17	0,000	0,000	–
Equação 18	0,000	0,000	–
Equação 19	0,200	0,137	1,027
Equação 20	0,000	0,800	3,307

Os Gráficos 14 e 15 revela que a distribuição dos resíduos padronizados para as Equações 16 e 19 é homocedástica.

Gráfico 14 - Dispersão dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 16.

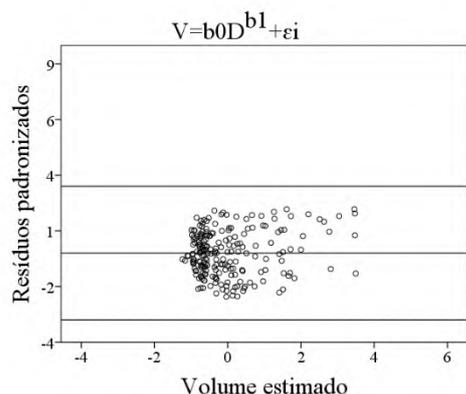
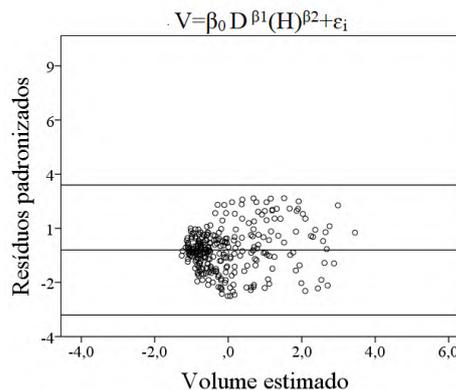


Gráfico 15 - Dispersão dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 19.



Os resíduos padronizados variaram entre +3 e -3 e não se observou nenhuma tendência. Os valores estão distribuídos homogeneamente em torno de zero. De acordo com Favero e Belfiore (2014) isso indica que a variância do erro é constante e, portanto, há homoscedasticidade.

As duas Equações atendem os pressupostos da regressão e apresentam indicadores de ajustes adequados para florestas naturais, se comparados com outros resultados observados na literatura relacionada (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

A amplitude de DAP para cada Equação mudou depois da exclusão dos outliers e, por isso, na Tabela 11 são apresentados os indicadores de ajuste para as equações pré-selecionadas e suas respectivas amplitudes de diâmetro. Na Tabela 12 são apresentados os valores dos scores atribuídos a cada indicador. Esses scores auxiliam na escolha das melhores Equações.

Tabela 11 – Indicadores de ajuste das Equações volumétricas.

	Equações	R²(aj)	Sxy%	DMP%	Amplitude de DAP
11	$V = -1,33090 + 0,00006 (D^2H) + 0,01968 (D)$	98,13	9,47	0,73	29 – 238 cm
12	$V = -0,68044 + 0,00016 (D^2H) + 0,00005 (D^2)$	98,98	7,74	0,81	29 – 177 cm
16	$V = 0,00055 D^{2,141946}$	93,20	11,30	-1,54	29 – 150 cm

Tabela 12 – Valores scores utilizados para auxiliar na seleção do modelo

	Equações	R²(aj)	Sxy%	DMP%	VS
11	$V = -1,33090 + 0,00006 (D^2H) + 0,01968 (D)$	2	2	1	5
12	$V = -0,68044 + 0,00016 (D^2H) + 0,00005 (D^2)$	1	1	2	4
16	$V = 0,00055 D^{2,141946}$	3	3	3	9

As melhores Equações foram as que continham a combinação diâmetro e altura como variável independente. Este fato já foi relatado por outros autores (SOARES et al., 2011; DA SILVA et al., 2012) e pode também ser explicado pela correlação entre a variável combinada D^2H com o Volume (Gráfico 3).

Com base na seleção proposta pelos valores scores, a Equação 12 (Tabela 12) apresentou os melhores resultados. Porém, a amplitude de DAP é um fator de muito peso para a escolha da Equação no caso de florestas naturais já é comum encontrar árvores muito grandes, por isso é mais adequado optar pela Equação 11.

Todas as Equação também abrangem classes menores que 50 cm de diâmetro, o que permite seu uso não somente dos inventários amostrais como também nos censos florestais.

A Equação 16 apresenta um erro padrão da estimativa em porcentagem igual a 11,3%, porém não está entre os melhores ajustes segundo o critério dos scores (Tabela 12). No entanto, o ajuste em função apenas do DAP representa uma vantagem, principalmente para o uso em inventários amostrais uma vez que a variável altura é estimada visualmente (Tabela 13).

Colpini et al. (2009) obteve $Sxy\% = 20,14\%$ para uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste do Mato Grosso. Tonini e Borges (2015) relataram Equações com $Sxy\%$ que variando entre 20% e 10% para florestas naturais no sul de Roraima também.

Para as Equações 11 e 16 o teste F de Graybill apresentou resultado não significativo (Tabela 14), comprovando que os volumes estimados pelas Equações ajustadas são estatisticamente iguais aos volumes reais.

Tabela 13 – Comparativo de indicadores para os métodos diferenciados de estimativa de volume.

	Equação	sxy%	DMP
Equação de Heinsdijk	$V = 0,5498 (D^2/10000) H$	18,40	9,86
Equação 11	$V = -0,68044 + 0,00016 (D^2H) + 0,00005 (D^2)$	9,47	0,73
Equação 16	$V = 0,000548 (D)^{2,141946}$	11,30	-1,54

Tabela 14 – Resultados do teste F de Graybill obtidos na validação das Equações 10 e 16.

	Equação	F_{calc}	F_{tab} (5%, 2, n-2)
Equação 10	$V = -0,68044 + 0,00016(D^2H) + 0,00005(1/D)$	140765,05	3
Equação 16	$V = 0,000548 (D)^{2,141946}$	40336,89	3

6.2 EQUAÇÕES PARA TORAS

As equações foram ajustadas com valores de diâmetros variando entre 29cm e 140cm de diâmetro, e comprimento entre 3,5m e 12m, seguindo o padrão de utilizado para a serraria da empresa.

A análise dos coeficientes estimados (Tabela 15) indicou que nas Equações 2 e 3, os valores de b_0 não são diferentes de zero. Porém, essas Equações não foram ajustadas sem intercepto, pois de acordo com Bosker e Snijders (2012, p. 44), não há necessidade, já que as Equações de estimativas de volume não dependem dos valores da origem.

Tabela 15 – Modelos utilizados para o ajuste de equações de estimativas para volume de toras na UMF Seringal Macapá.

Equações	Coefficientes	Teste t	Valor - p	R ² aj	Sxy%	DMP
1 $V=\beta_0+\beta_1D_b$	$b_0=-2,92957$ $b_1=0,07791$	-28,8636 63,0259	0,000 0,000	90,95	24,98	0,31
2 $V=\beta_0+\beta_1D_b^2+\beta_2D_b^2L$	$b_0=-0,01476$ $b_1=0,00004$ $b_2=0,00007$	-1,4616* 8,2478 83,9491	0,145 0,000 0,000	99,46	3,70	-0,55
3 $V=\beta_0+\beta_1D_bL^2+\beta_2D_b^2L$	$b_0=0,01673$ $b_1=-0,00004$ $b_2=0,00008$	1,5826* -10,2677 223,5123	0,115 0,000 0,000	99,52	3,39	0,35
4 $V=\beta_0+\beta_1D_bL+\beta_2D_b^2L$	$b_0=0,36682$ $b_1=-0,00177$ $b_2=0,00008$	5,4398 -8,0489 67,1955	0,000 0,000 0,000	98,17	11,23	-1,15
5 $V=\beta_0+\beta_1D_b/L+\beta_2D_b^2L$	$b_0=-0,27202$ $b_1=0,00007$ $b_2=0,02543$	-7,9040 91,0327 7,0932	0,000 0,000 0,000	98,11	11,41	0,54
6 $V=\beta_0+\beta_1D_bL^2+\beta_2D_b^2$	$b_0=-0,74087$ $b_1=0,000333$ $b_2=0,00043$	-13,5913 82,7544 28,4010	0,000 0,000 0,000	96,56	15,40	0,76
7 $V=\beta_0+\beta_1D_b+\beta_2L^2$	$b_0=-4,23709$ $b_1=0,081227$ $b_2=0,022789$	-33,3257 13,6510 77,5252	0,000 0,000 0,000	93,85	20,59	5,40
8 $V=\beta_0+\beta_1D_b+\beta_2L$	$b_0=-5,32485$ $b_1=0,08152$ $b_2=0,318766$	-28,8326 14,4779 79,1301	0,000 0,000 0,000	94,09	20,20	5,86
9 $V=\beta_0+\beta_1(D_b/L)+\beta_2(1/D)$	$b_0=5,827796$ $b_1=0,121931$ $b_2=-291,021$	13,1140 8,9534 -14,4027	0,000 0,000 0,000	72,73	43,37	-1,98

À exceção da Equação 9, todas as outras apresentaram coeficiente de determinação ajustado maior que 90%. Alguns autores (BARROS; SILVA JUNIOR, 2009; SILVA; SANTANA, 2011; THAINES et al.,2010;), consideram um bom ajuste para coeficientes de determinação maiores que 90%.

Observando o Erro padrão da estimativa em porcentagem as Equações 2 e 3 são as que apresentaram os menores valores, abaixo de 5%. Valores baixos são esperados devido à baixa variação no comprimento das toras.

As Equações 4, 7, 8 e 9 apresentaram valores maiores que um para DMP o que indica um erro alto de estimativa. As outras Equações apresentaram valores de DMP consideravelmente baixos, porém no caso da Equação 2 a estimativa apresentará um valor superestimado com um desvio de 0,55%, por outro lado a Equação 3 subestima os valores de estimativas de volume com um desvio de 0,35%.

Para atender aos pressupostos de regressão as toras com diâmetro de base maior que 140cm foram excluídas, resultando em um novo ajuste com 250 toras no intervalo de 29cm a 140cm de diâmetro (Tabela 16) e as Equações 2, 3 e 7 atenderam os pressupostos da regressão que são linearidade, normalidade, independência e homoscedasticidade dos resíduos.

Tabela 16 - Resultados dos testes de normalidade e independência dos resíduos para as Equações não lineares.

Equações	Linearidade	Teste de normalidade	Teste de sequências	VIF
Equação 1	0,96	0,200	0,015	–
Equação 2	0,99	0,200	0,745	6,284
Equação 3	0,99	0,066	0,894	2,329
Equação 4	0,99	0,024	0,000	7,591
Equação 5	0,99	0,015	0,523	1,448
Equação 6	0,97	0,200	0,000	1,000
Equação 7	0,99	0,061	0,428	1,173
Equação 8	0,98	0,008	0,000	1,602
Equação 9	0,85	0,000	0,000	2,206

Observando os Gráficos 15 ao 23 foi possível perceber que na Equação 9 (Gráfico 23) os valores dos resíduos padronizados estão distribuídos de forma heterogênea com valores maiores que +3. Para Batista et al. (2016) isso indica que a

variância é heteroscedástica e portanto a Equação também não atende ao preceito de homoscedasticidade.

Gráfico 16 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 1.

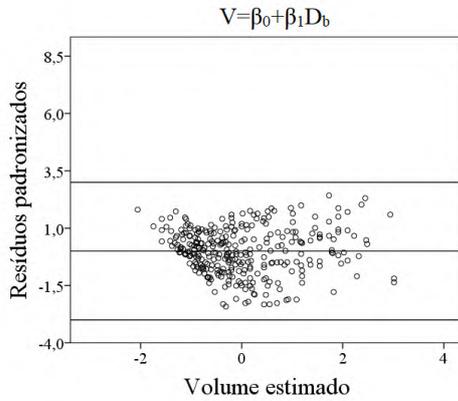


Gráfico 18 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 3.

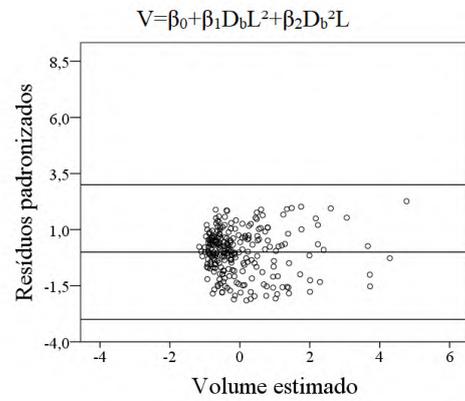


Gráfico 17 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 2.

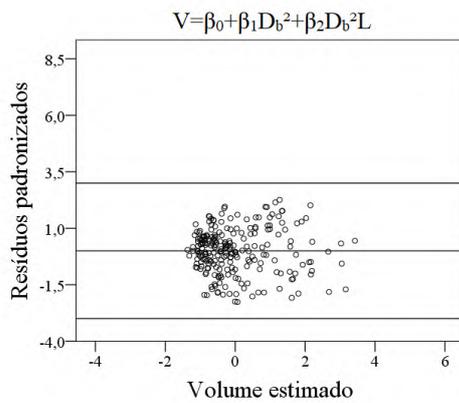


Gráfico 19 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 4.

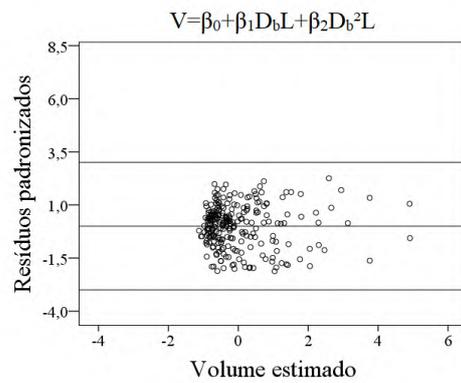


Gráfico 20 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 5.

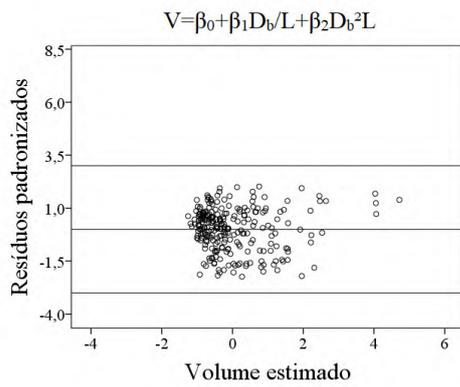


Gráfico 23 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 8.

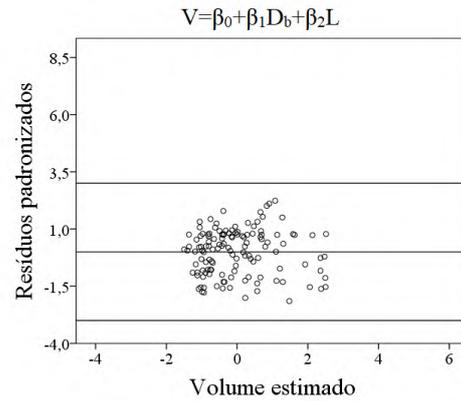


Gráfico 21 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 6.

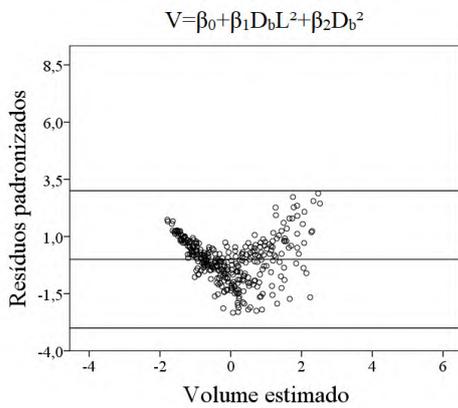
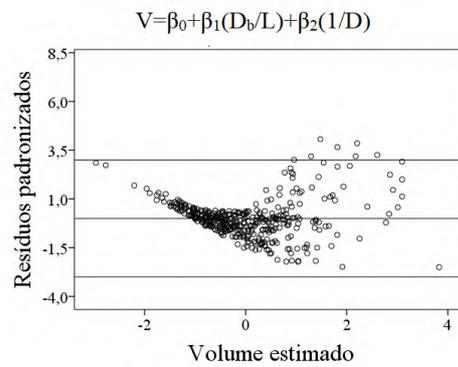
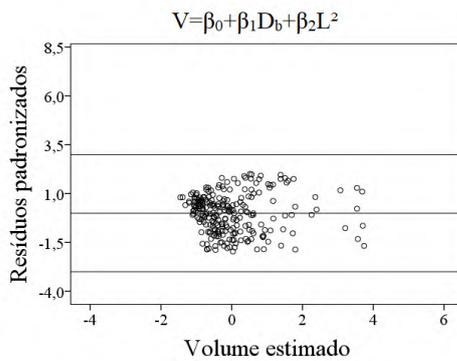


Gráfico 24 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 9.



7

Gráfico 22 - Distribuição dos resíduos padronizados em função do Volume estimado para a Equação 7.



Comparando as Equações 2 e 3, ambas são bem semelhantes quanto a precisão, porém, visto que, subestimar a quantidade de volume estocado é mais adequado para a empresa devido os limites impostos pela legislação, a Equação 3 se sobressai devido o valor do DMP (Tabela 15).

O resultado do teste de validação F de Graybill indicou que o volume estimado pela Equação 3 é estatisticamente igual ao volume real obtido em campo.

O teste de validação F de Graybill feito com o volume romaneiado indicou que o volume real obtido em campo apresentou um erro de 35,26% em relação ao volume real, muito maior em relação ao erro de 3,60% da equação escolhida (Tabela 17). Também mostrou que o volume do romaneio não é equivalente ao volume do real.

Tabela 17 – Comparação dos métodos de estimativa de volume.

Método	Coefficiente	P – valor	Sxy%	Conclusão
Vreg ¹	$b_0 = -0,02758$	<0,05	3,60	Vr ³ é igual a Vreg estatisticamente
	$b_1 = 0,982453$	>0,05		
Vrom ²	$b_0 = 0,474273$	>0,05	35,26	Vr é diferente de Vrom estatisticamente
	$b_1 = 0,936754$	>0,05		

1 Volume estimado com a Equação 3 ajustada

2 Volume obtido durante a atividade de romaneio

3 Volume real obtido pelo método de Smalian

7 CONCLUSÕES

Equação linear múltipla é mais adequada para estimar o volume na área estudada do que a Equação não linear, tanto observando os indicadores estatísticos como a amplitude diamétrica que a Equação escolhida cobre (29cm – 238cm).

A equação não-linear de uma entrada ajustada para estimar o volume apresentou erro menor do que a equação do volume cilíndrico com altura estimada visualmente e com o fator de forma. O uso dessa equação é, portanto, indicada para a área de manejo estudada.

A estimativa dos volumes de toras romaneiadas por meio de equações de regressão mostrou-se mais precisa do que o método indicado na legislação. A equação desenvolvida usa apenas o diâmetro da base da tora e seu comprimento para estimar o volume.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E.N. *O eucalipto*. 2 ed., Jundiaí: Cia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 681p.

BARROS, C; L; P., SILVA, M; N; J., CARVALHO, P; O; J., SILVA, P; T., ALMEIDA; D; R; M., SILVA, F; L; J., OLIVEIRA, R; L., COSTA, P; J. Ecologia e silvicultura do mogno (*Swietenia macrophylla king*) na Amazônia ocidental brasileira. Relatório fase I. Belém: p. 92. 2011.

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. **Ciências Agrárias**, Belém, n. 51, p. 115-126, 2009.

BATISTA, JOÃO LUÍS F.; DO COUTO, HILTON THADEU Z.; DA SILVA FILHO DEMÓSTENES F. *Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas*. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014. 384 p.

BOSKER, R. J.; SNIJDERS, T. A. B. *Multilevel Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Multilevel Modeling*. 2 ed. Los Angeles: Editora Sage, 2012)

BRAGA, L. P. V. *Introdução à mineração de dados*. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora E-papers. 2005.

BRASIL. Instrução Normativa n.º 30 de 31 de dezembro de 2002. Diário Oficial da União, n.º 238, Brasília, DF, 13 de dez. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 29 fev. 2008.a.

BRASIL. Instrução Normativa n.º 05, 11 de dezembro de 2006. MMA.b.

BRASIL. Instrução Normativa n.º 09, 28 de abril de 2010. Instituto Chico Mendes de conservação da biodiversidade. c.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 406, 02 de fevereiro de 2009. MMA. d.

CARDOSO, D. J.; FRANCISCON, L.; GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D.; FIORUCCI, L. H. Equações volumétricas para árvores em sistemas silvipastoril e em plantio puro de *Eucalyptus dunnii*. EMBRAPA FLORESTAS.2015.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CHICHORRO, José Franklin; RESENDE, José Luiz Pereira and LEITE, Helio Garcia. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. *Rev. Árvore*[online]. 2003, vol.27, n.6, pp.799-809. ISSN 1806-9088. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000600006>.

COLPINI, Chirle; TRAVAGIN, Danielle Parra; SOARES, Thelma Shirlen; SILVA, Versides Sebastião Moraes e. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v. 39 (1), p 97 – 104, 2009.

COOK, R. D.; SANFORD, W. *Residuals and influence in regression*. Universidade de Minnesota [Monografia]: Nova York, 1982.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo. Piracicaba: IPEF, 1987. 77 p.

DA SILVA, G. F.; CURTO, R. de A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. de C. *Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais*. Revista *Árvore*, Viçosa – MG, v. 36, n.2, p. 341 – 348, 2012.

DILWORTH, James B. - *Operations management: design, planning, and control for manufacturing and services*. Singapura: McGraw-Hill, 1992.

FAVERO, L. P.; BELFIORE, P. *Métodos Quantitativos com Stata: Procedimentos, Rotinase Análise de Resultados*. Elsevier Brasil, 2014.

FERREIRA, A.L; PICCHIOTTI, F.S; SANSÍGOLO, C.A. Determinação do volume da madeira através de técnicas de deslocamento de água (xilômetro). 4º Mostra científica em ciências agrárias In: Anais...Faculdade de ciências agrônômicas, Campus de Botucatu, SP. 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A; MACHADO, S. do A; MIRANDA, R. O. V. de. *Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil*. Curitiba: os autores, 2014. 306p.

GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. Livraria Nobel: Piracicaba, 13ª edição. 1990.

GRAYBILL, F.A. *Theory and application of the linear model*. Duxbury Press: Massachusetts, 1976. 704 p.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. *Econometria Básica*. 5a Ed., Porto Alegre: Bookman, 2011.

HAIR JR., J.F.; WILLIAM, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R.E. *Análise multivariada de dados*. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HEINSDIJK, D. *Plantações de eucalipto no Brasil*. Boletim do Setor de Inventário Florestal, Rio de Janeiro, (10): 1-69, 1965.

HESS, A. F.; MUÑOZ, E. B., THAINES, F.; MATTOS, P. P. *Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica*. *Ambiência*: Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 21-29, jan./abr. 2014.

HOFFMANN, R. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. Biblioteca Digital da Produção Intelectual: Universidade de São Paulo, Departamento de economia, Administração e Sociologia – ESALG/LES. 2016.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.;BEERS, T.W. *Forest mensuration*. 3.ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.

IFT. Informativo técnico 1: Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. IFT: Instituto de florestas tropicais, 2014.

KLEINBAUM, D., KUPPER, L., NIZAM, A., & ROSENBERG, E. *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Cengage Learning, 2013

MELLO, R.; MAGALHÃES, A. L. R.; BREDA, F. C.; REGAZZI, A. J. *modelos para ajuste da produção de gases em silagens de girassol e milho*. **Pesquisa agropecuária brasileira**: Brasília, v.34, n.2, p.261-269, fev.2008.

OLIVEIRA, R. Z. G. de; GARCIA, C. *Sobre métodos de obtenção do volume de toras de madeira*. **Revista do professor de matemática**: n.83, 2014.

RADAMBRASIL. 1976. Departamento Nacional de Produção Mineral. Folha AS.21-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 510 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v. 10)

RIBEIRO, R. B. da S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. de O. *Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a floresta nacional do Tapajós*. Cerne: Lavras, v.20, n. 4, p. 605-612. 2014.

SANQUETTA, C. R.; MIRANDA, D. L. C.; STAUB, C. M. M., SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D. *Relações dendrométricas em árvores de Parkia gigantocarpa*. **Enciclopédia Biosfera**: Goiânia, v.10, n.18, p. 2624 – 2632. 2014

SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N. A. dos S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; PEREIRA, L. D.; ROCHA JUNIOR, D. S.; MEYER, E. A.; FLEIG, F. D. *Métodos de estimativa de volume comercial para Eucalyptus grandis: especificidades e recomendações*. **Pesquisa florestal**

SILVA, E.N. da; SANTANA, A. C. de. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais, em florestas de Paragominas. *Revista Ceres*:Viçosa, n5, v.61, Setembro. 2014.

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

STERNADT, G. H. Cubagem de toras de Mogno: Comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras. IBAMA: Laboratório de Produtos Florestais. 2001.

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

THIERSCH, A. A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de Eucalyptus camaldulensis. Lavras, 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

TONINI, H.; BORGES, R. A. *Equação de volume para espécies comerciais em Floresta Ombrófila Densa no sul de Roraima*. *Pesquisa Florestal Brasileira*: Colombo, v.35, n. 82, p. 111 – 117, abr./jun. 2015.

VARGAS, R. V. *Análise de valor agregado revolucionando o gerenciamento de prazos e custos*. Rio de Janeiro: Brasport, 6 ed. 2013.

VIEIRA, S. *Introdução à bioestatística*. Elsevier Brasil: 5ª ed. 264p. 2015.