



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

**EQUAÇÕES DE VOLUME E BIOMASSA PARA PLANTIOS DE *Acacia mangium* Willd. EM ÁREA DE SAVANA, EM RORAIMA**

Jefferson Peixoto Gomes

**Manaus - AM**

**2017**

### Ficha Catalográfica

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

G633e Gomes, Jefferson Peixoto  
Equações de volume e biomassa para plantios de *Acacia mangium* WILLD. em área de savana, em Roraima / Jefferson Peixoto Gomes. 2017  
73 f.: il. color; 31 cm.

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

1. Alometria. 2. Carbono. 3. Plantio florestal. 4. Lavrado. 5. Amazônia. I. Higuchi, Niro II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



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

**EQUAÇÕES DE VOLUME E BIOMASSA PARA PLANTIOS DE *Acacia mangium* WILLD. EM ÁREA DE SAVANA, EM RORAIMA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Jefferson Peixoto Gomes

**Orientador:** Professor Dr. Niro Higuchi

**Coorientador:** Professor Dr. Alberto Carlos Martins Pinto

**Manaus - AM**

**2017**

## **DEDICO**

À minha amada família, especialmente aos meus pais José Ursulino de Moura Gomes e Josemeire Lopes Peixoto.

Ao grande amigo e irmão Robson de Lima Silva (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTO

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

A todos os meus familiares pela paciência em compreender a minha ausência.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa concedida, sempre apoiando a pesquisa.

Ao Dr. Niro Higuchi, pela orientação, com o seu grande conhecimento, além da paciência e compreensão para comigo ao longo na minha vida de mestrando.

Ao Dr. Alberto Carlos Martins Pinto, pela coorientação, amizade e acolhimento no laboratório de exploração florestal da UFAM – LEF/UFAM.

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

A empresa FIT manejo Florestal LTDA, especialmente aos Senhores Joel, Idálio e o Eng. Florestal MSc Diegler, pela disponibilização das áreas de plantios de acácia para a realização deste estudo e por todo o suporte logístico para a realização das coletas de dados em campo, no estado de Roraima.

A Eng.<sup>a</sup> Florestal Raylanne de Lima Santos pelo amor, carinho e muita paciência comigo, além de colaborar nas coletas de dados e pelos conselhos. Não posso esquecer-me das conversas chatas e intermináveis sobre Alometria.

Aos amigos doutorandos Tiago Condé, Diego Aguiar e Wesley Wilker pelos conselhos e sugestões para melhorar esta dissertação.

A todos os amigos e irmãos adquiridos ao longo deste mestrado no PPGCIFA/UFAM (2015.1) e no CFT/INPA (2015.1), obrigado pela amizade.

As prefeituras municipais de Caroebe e de São João da Baliza, em nome do meu amigo Paulo Hortiz, pela licença concedida para eu realizar este mestrado.

## RESUMO

O objetivo do presente estudo é desenvolver equações alométricas para estimar a biomassa e o volume de madeira comercial em plantios de *Acacia mangium* Willd, em área de savana, visando auxiliar o planejamento e a gestão de florestas plantadas, no estado de Roraima. Para biomassa fresca foram abatidas 85 árvores, das quais foram retiradas amostras do tronco, galhos, folhas e raízes para a obtenção do teor de água e teor de carbono. Foram cubadas 221 árvores para a obtenção dos dados volumétricos, a partir da combinação dos métodos de Hohenadl e Smalian, distribuídas em 10 plantios com idades diferentes. Foram testados seis modelos para ajustar os dados de biomassa fresca total e de volume comercial. O estoque médio de biomassa total para árvore individual foi de  $338 \pm 31,07$  kg, gerando uma estimativa de  $433,56 \text{ t ha}^{-1}$ , com o teor ponderado de água de 0,43 e de carbono foi de 0,48. As equações desenvolvidas para estimar a biomassa fresca total, acima do solo, abaixo do solo e do tronco apresentaram bom ajuste. Sendo possível utilizar a equação geral ( $P = 0,4103 * DAP^{2,3315}$ ;  $N = 85$ ;  $R^2 = 0,96$ ;  $S_{yx}(\%) = 1,73$ ) para estimar com precisão a biomassa fresca total de todos os plantios em estudo. O modelo de Husch também foi o que apresentou melhor ajuste para os dados de volume comercial para os plantios de todas as idades, sendo recomendada a utilização da equação geral ( $V = 0,000185 * DAP^{2,42695}$ ;  $N = 221$ ;  $R^2 = 0,92$ ;  $S_{yx}(\%) = 1,6$ ;  $Incerteza = 3,1\%$ ) por apresentar baixa incerteza. Diante disto as equações desenvolvidas neste trabalho são ferramentas precisas para estimar a biomassa fresca e o volume comercial dos plantios de *Acacia mangium* em Roraima.

Palavras-chave: Alometria; Carbono; Plantio florestal; Lavrado; Amazônia

## ABSTRACT

The objective of the present study is to develop allometric equations to estimate the biomass and the volume of commercial wood in plantations of *Acacia mangium* Willd, in savanna area, aiming to assist the planning and management of planted forests in the state of Roraima. For fresh biomass, 85 trees were harvested, from which samples of the trunk, branches, leaves and roots were obtained to obtain the water content and carbon content. A total of 221 trees were harvested to obtain the volumetric data from a combination of the Hohenadl and Smalian methods, distributed in 10 plantations of different ages. Six models were tested to adjust the total fresh and commercial volume biomass data. The average total biomass stock for individual tree was  $338 \pm 31.07$  kg, generating an estimate of  $433.56 \text{ t ha}^{-1}$ , with the weighted water content of 0.43 and carbon was 0.48. The equations developed to estimate the total fresh biomass, above the soil, below the soil and the trunk showed good adjustment. It is possible to use the general equation ( $M = 0,4103 * DAP^{2,3315}$ ;  $N = 85$ ;  $R^2 = 0,96$ ;  $S_{YX}(\%) = 1,73$ ) to accurately estimate the total fresh biomass of all the plantations under study. The Husch model was also the one that presented the best fit for the commercial volume data for plantations of all ages, and the use of the general equation ( $V = 0,000185 * DAP^{2,42695}$ ;  $N = 221$ ;  $R^2 = 0,92$ ;  $S_{yx}(\%) = 1,6$ ;  $Uncertainty = 3,1\%$ ) because it presents low uncertainty. In view of this the equations developed in this work are precise tools to estimate the fresh biomass and commercial volume of the *Acacia mangium* plantations in Roraima.

Keywords: Allometry; Carbon; Planti forest; Rinsing; Amazonia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA <i>Acacia mangium</i> .....	16
<b>3.1.1 Gênero, ocorrência natural e condições edafoclimáticas</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1.2 Aspectos morfológicos</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.4 Características e principais usos da madeira</b> .....	<b>18</b>
3.2 PLANTIOS DE <i>A. mangium</i> .....	19
3.3 VOLUME.....	20
<b>3.3.1 Método Direto</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.2 Método Indireto</b> .....	<b>21</b>
3.4 BIOMASSA E SUA QUANTIFICAÇÃO.....	23
3.5 CARBONO.....	26
3.6 ALOMETRIA .....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
4.2 COLETA DE DADOS .....	31
<b>4.2.1 Estimava de Volume</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.2 Biomassa</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2.3 Obtenção da média ponderada de carbono</b> .....	<b>36</b>
4.3 MODELOS ALOMÉTRICOS .....	36
<b>4.3.2 Modelos para Biomassa</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3.1 Modelos Volumétricos</b> .....	<b>37</b>
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	38
<b>4.4.1 Coeficiente de determinação</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4.2 Coeficiente da correlação</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.3 Erro padrão da estimativa</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.4 Incerteza do modelo</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4.5 Distribuição Residual</b> .....	<b>41</b>



<b>4.4.6 Teste de Significância.....</b>	<b>42</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
5.1 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA FRESCA DAS ÁRVORES EM INDIVIDUAL .....	43
<b>5.1.1 Biomassa da parte aérea da árvore .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1.2 Biomassa abaixo do solo .....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.3 Relação entre a parte aérea e abaixo do solo .....</b>	<b>46</b>
5.2 TEOR DE ÁGUA.....	47
5.3 TEOR DE CARBONO .....	49
5.4 EQUAÇÕES PARA BIOMASSA.....	53
5.5 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS .....	56
<b>5.5.1 Análise paramétrica dos dados para volume.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5.2 Equações para os diferentes grupos de dados .....</b>	<b>58</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Período de floração e frutificação da espécie <i>Acacia mangium</i> .....	18
<b>Tabela 2.</b> Equações volumétricas para estimar o volume em plantios de <i>Acacia</i> . .....	22
<b>Tabela 3.</b> Equações alométricas de biomassa para plantios de <i>Acacia mangium</i> , com os seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). .....	25
<b>Tabela 4.</b> Modelos alométricos para estimar a biomassa das árvores de <i>Acacia mangium</i> . .....	37
<b>Tabela 5.</b> Modelos volumétricos testados para estimar o volume das árvores de <i>A. mangium</i> em Roraima.....	37
<b>Tabela 6.</b> Estoque de biomassa (em Kg) dos compartimentos acima e abaixo do solo das árvores de <i>A. mangium</i> e suas respectivas contribuições (%) em relação ao total da árvore (N = 85 árvores). .....	43
<b>Tabela 7.</b> Estoque de biomassa (em Kg) para os compartimentos da parte aérea das árvores de <i>A. mangium</i> e suas respectivas contribuições (%) em relação ao total da parte aérea (N = 85 árvores). .....	44
<b>Tabela 8.</b> Estoque de biomassa (em Kg) de raízes mais grossas ( $D \geq 5$ cm) e raízes menos grossas ( $2 \text{ mm} \leq D < 5$ cm) das árvores de <i>A. mangium</i> e suas respectivas contribuições em relação ao total das raízes. ....	45
<b>Tabela 9.</b> Relação entre a biomassa aérea e biomassa abaixo do solo para <i>A. mangium</i> . .....	46
<b>Tabela 10.</b> Teor de água (em porcentagem) por compartimento e média ponderada para a <i>A. mangium</i> . .....	47
<b>Tabela 11.</b> Análise de Variância entre as médias de água para as diferentes alturas do tronco de <i>A. mangium</i> no Estado de Roraima. ....	47
<b>Tabela 12.</b> Análise de variância entre as médias de água para as diferentes alturas das raízes com diâmetro $\geq 5$ cm de <i>A. mangium</i> no Estado de Roraima. ....	48
<b>Tabela 13.</b> Anova entre os teores de carbono em função das diferentes alturas (0%, 50% e 100%) no tronco. ....	50
<b>Tabela 14.</b> Anova entre os teores de carbono em função das diferentes alturas (0%, 50% e 100%) das raízes $\geq 5$ cm de diâmetro. ....	50
<b>Tabela 15.</b> Anova entre os teores de Carbono para as diferentes partes da árvore em função da idade.....	50
<b>Tabela 16.</b> Teor de Carbono para as diferentes partes de árvores de <i>A. mangium</i> , em área de savana, em Roraima.....	51
<b>Tabela 17.</b> Teor médio de Carbono por compartimento e a média ponderada para a <i>A. mangium</i> . .....	52
<b>Tabela 18.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados estimar a Biomassa fresca total de <i>A. mangium</i> em Roraima. ....	53

<b>Tabela 19.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos de Husch, utilizando o DAP como variável independente, ajustados para estimar a Biomassa fresca dos diferentes compartimentos de <i>A. mangium</i> em Roraima. ....	55
<b>Tabela 20.</b> Estatística descritiva das árvores-amostra de <i>A. mangium</i> , cultivadas em área de savana, no estado de Roraima. ....	56
<b>Tabela 21.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 58 árvores de <i>A. mangium</i> pertencentes à classe de sítio I. ....	58
<b>Tabela 22.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 94 árvores de <i>A. mangium</i> pertencentes à classe de sítio II. ....	60
<b>Tabela 23.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 69 árvores de <i>A. mangium</i> pertencentes à classe de sítio III. ....	61
<b>Tabela 24.</b> Estatísticas das equações desenvolvidas a partir de diferentes grupos de dados para o modelo de Husch. ....	62
<b>Tabela 25.</b> Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para 221 árvores de <i>A. mangium</i> , distribuídas em todas as diferentes idades e classificações de sítio. ....	63

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Características morfológicas da espécie <i>Acacia mangium</i> Willd, onde: A – representação da árvore completa; B – filódios permanentes e inflorescência; C – filódios permanentes e infrutescência (vagem). .....	17
<b>Figura 2.</b> Pontos de coleta das amostras obtidas na área do plantio de <i>Acacia mangium</i> gerenciado pela empresa F.I.T. Manejo Florestal Ltda., na região central do estado de Roraima. ....	29
<b>Figura 3.</b> Procedimento para a cubagem rigorosa do volume comercial de uma árvore de <i>Acacia mangium</i> .....	32
<b>Figura 4.</b> Etapas da separação em compartimentos da biomassa de <i>A. mangium</i> . Onde: A) abertura de uma trincheira para cortar as raízes de suporte lateral; B) tombamento da árvore; C) seccionamento do fuste comercial e coleta da serragem; D) separação das folhas; E) galhos; F) raízes menos grossas; G) raízes mais grossas; e H) balança utilizada. ....	33
<b>Figura 5.</b> Ilustração para obtenção das amostras dos diferentes compartimentos (fuste comercial, galhos, folhas, raízes mais e menos grossa) da árvore de <i>A. mangium</i> para a determinação dos seus respectivos teores de umidade. ....	35
<b>Figura 6.</b> Quantidade média de água para as diferentes alturas do tronco de <i>A. mangium</i> no Estado de Roraima. ....	48
<b>Figura 7.</b> Médias da quantidade de água para as diferentes alturas das raízes com diâmetro $\geq 5$ cm de <i>A. mangium</i> no Estado de Roraima. ....	49
<b>Figura 8.</b> Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações para biomassa fresca total para as 85 árvores de <i>A. mangium</i> . ....	54
<b>Figura 9.</b> Distribuição diamétrica das 221 árvores-amostras de <i>A. mangium</i> para a análise volumétrica do plantio em área de savana em Roraima.....	58
<b>Figura 10.</b> Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 58 árvores de <i>A. mangium</i> , oriundas da classe de sítio I.....	59
<b>Figura 11.</b> Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 94 árvores de <i>A. mangium</i> , oriundas da classe de sítio II.....	60
<b>Figura 12.</b> Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 69 árvores de <i>A. mangium</i> , oriundas da classe de sítio III.....	62
<b>Figura 13.</b> Distribuição dos resíduos obtida a partir dos modelos volumétricos para as 221 árvores de <i>A. mangium</i> , distribuídas em todas as diferentes idades e classificações de sítio. ....	64

## 1 INTRODUÇÃO

Os plantios florestais desempenham um importante papel na recuperação das áreas desmatadas para formação de pastagem ou agricultura, fornecendo produtos florestais e serviços ambientais. Dados recentes mostram que no Brasil existem cerca de 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas, gerando R\$ 69,1 bilhões, participando com 1,2% do PIB nacional (IBÁ, 2016). As principais culturas plantadas são o eucalipto (5.630.607 ha), pinus (1.581.239 ha), seringueira (229.059 ha) e acácia (160.827 ha) (IBÁ, 2016).

A espécie *Acacia mangium* Willd vem recebendo cada vez mais destaque nos trópicos (KRISNAWATI et al., 2011; ILYAS, 2013). O plantio com esta espécie vem se destacando por oferecer uma alternativa para a produção de matéria-prima energética, madeira serrada para a confecção de móveis e uso na construção civil, além de apresentar alto potencial para programas de sequestro de carbono, pelo seu rápido crescimento, mesmo em solos degradados (ROSSI et al, 2003; VÉLEZ; VALLE, 2007; BARROS et al., 2012). Dentre as principais finalidades destes plantios no estado de Roraima se destaca a reposição florestal, seguida da produção de lenha para fornos e madeira para serraria.

Conforme o artigo 14 do Decreto nº 5.975, de 2006, toda pessoa física ou jurídica utilizadora de matéria-prima florestal oriunda da vegetação nativa, é obrigada a realizar a reposição florestal (BRASIL, 2006). Esta reposição florestal é comprovada a partir da apresentação de créditos de reposição equivalentes ao volume de matéria-prima florestal a ser utilizado (MMA, 2006). Desta forma, os plantios de *A. mangium* possuem grande relevância na reposição florestal em Roraima.

No estado de Roraima, esta espécie vem sendo introduzida desde o ano de 1999, em regime experimental. Atualmente, na região central do estado, em uma área de savana, existe uma área de aproximadamente 26.000 hectares plantada com *Acacia mangium*, a qual é gerida pela empresa FIT Manejo Florestal. As savanas de Roraima, vulgarmente conhecido como lavrado são sistemas floristicamente parecidos com o cerrado (SANIOTTI et al., 2002), sendo formada por um mosaico de solos (VALE JÚNIOR; SOUSA, 2005), o que pode contribuir para formar diferentes fitofisionomias.

Embora a *Acacia mangium* tenha sido introduzida no Brasil em 1979, ainda existem poucas informações silviculturais para o seu cultivo, forma para quantificar o volume e a biomassa, em diferentes sítios e idades. Portanto, o volume é a peça-chave para a regulação da produção florestal a partir do conhecimento do estoque de madeira (SOUZA; SOARES, 2013; HIGA *et al.*, 2014) e, em contrapartida a biomassa seca é utilizada para estimar o estoque de carbono e o fluxo de nutrientes da floresta (HIGUCHI *et al.*, 1998; TIAN *et al.*, 2016). O desenvolvimento de equações alométricas é o melhor meio para gerar estimativas de volume e biomassa em plantios florestais com menor grau de incerteza (SCHRÖDER *et al.*, 2013; ILYAS, 2013).

Diante do exposto, a realização deste trabalho justifica-se pela necessidade de desenvolver meios consistentes para estimar a produção do plantio de *A. mangium*, no estado de Roraima. O desenvolvimento destas equações visa gerar informações precisas para subsidiar o planejamento de empresas, produtores florestais e órgãos de fiscalização ambiental do estado. Com isto, o presente trabalho buscou responder as seguintes questões referentes aos plantios de *A. mangium* em Roraima: Como a biomassa está compartimentada? O teor de carbono desta espécie se encontra dentro do limite sugerido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC? Qual é o melhor modelo matemático para ajustar os dados de biomassa? Qual modelo matemático é o mais indicado para estimar o volume dos plantios de *A. mangium*, em diferentes classes de sítios e idades?

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver equações alométricas para estimar a biomassa e o volume em plantios de *Acacia mangium* Willd, em área de savana, visando auxiliar o planejamento e a gestão de florestas plantadas, no estado de Roraima.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever a compartimentação da biomassa para árvores de *A. mangium*;
- Determinar o teor de carbono nos diferentes compartimentos da árvore de *A. mangium* em diferentes idades;
- Testar diferentes modelos estatísticos para ajustar dados de biomassa fresca total, acima e abaixo do solo, obtidos em diferentes idades;
- Testar modelos estatísticos para ajustar dados volumétricos observados em plantios de *A. mangium* com diferentes idades e em diferentes classes de sítios.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA *Acacia mangium*

##### 3.1.1 Gênero, ocorrência natural e condições edafoclimáticas

O gênero *Acacia* é um dos mais ricos da família Fabaceae, com aproximadamente 1.300 espécies, apresentando capacidade de nodular com diversas espécies de rizóbios (FARIA et al., 1999). Esta nodulação faz com que este gênero se destaque por sua capacidade de utilizar o nitrogênio (N<sub>2</sub>) da atmosfera, já que o solo amazônico geralmente é pobre neste nutriente (SMIDERLE et al., 2005). A maioria das espécies deste gênero é encontrada no hemisfério sul, tendo o país da Austrália como o principal ponto de diversidade (LEMMENS et al., 1995). A *Acacia mangium* Willd. é uma das principais espécies do gênero *Acacia*, pertencente à subfamília Mimosaceae. Esta espécie é conhecida popularmente como: acácia mangium (Brasil), acácia-negra, acácia australiana, acácia noqueira, mangium, Sabah salwood (Austrália e Inglaterra); mangium, kayu safoda (Malásia); arr (Papua Nova Guiné); brown salwood (nome comercial).

A espécie *A. mangium* ocorre naturalmente de forma fragmentada nas florestas tropicais úmidas do nordeste do estado de Queensland, na Austrália, passando pelo oeste de Papua-Nova Guiné, até as ilhas Molucas do leste da Indonésia (NRC, 1983; TONINI; HALFELD-VIEIRA, 2010). A maioria destas árvores é encontrada em altitudes inferiores a 100 m, com exceção de duas populações que ocorrem em altitudes que vão de 450 até 720 m (NRC, 1983).

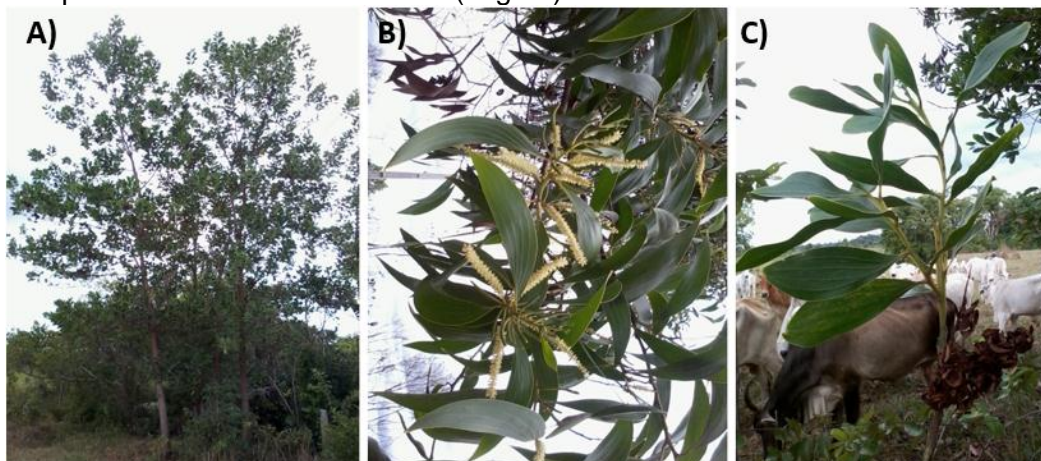
A *A. mangium* cresce tanto em locais secos quanto úmidos, porém, apresenta maior desempenho em regiões mais úmidas, com precipitações médias anuais variando de 1.000 a 4.500 mm e temperaturas entre 12°C e 34°C (NRC, 1983; TONINI; HALFELD-VIEIRA, 2010). Cresce bem em solos compactados, erodidos e degradados, em declividades acentuadas (NRC, 1983; CATIE, 1992). Além de tolerar solos com pH de 4,5 a 6,5, com bom desenvolvimento na presença de altos teores de óxidos de ferro e alumínio, e em solos de média à baixa fertilidade e pobres em fósforo (TONINI; HALFELD-VIEIRA, 2010).



### 3.1.2 Aspectos morfológicos

Árvores de *Acacia mangium* apresentam um fuste linear com tendência a ramificar, podendo crescer até uma altura de 30 metros (Figura 1 A). Porém, em sítios relativamente pobres, a altura média das árvores pode ficar entre 7 a 10 m, podendo se assemelhar a um grande arbusto (TURNBULL, 1986). Dificilmente são encontradas árvores com um diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 60 cm. No entanto, em um trabalho realizado nas florestas naturais da Papua – Nova Guiné e do estado de Queensland, na Austrália, foram encontradas árvores com DAP de até 90 cm (NRC, 1983).

**Figura 1.** Características morfológicas da espécie *Acacia mangium* Willd, onde: A – representação da árvore completa; B – filódios permanentes e inflorescência; C – filódios permanentes e infrutescência (vagem).



Fonte: Laboratório de Manejo Florestal, 2015

Os filódios, a partir de 35 dias após a emergência, são simples e podem ter até 25 cm de comprimento com 10 cm de largura, coriáceos, de pecíolo curto com nervuras salientes que partem da base (Figura 1 B e C) (Flora of Singapore, 2016). A inflorescência é composta de várias pequenas flores brancas ou creme em espigas (Figura 1 B) (TURNBULL, 1986). Os frutos são vagem estreitas e retorcidas, com 10 cm de comprimento, sofrendo deiscência quando atingem o ponto de maturação (Figura 1 C) (LIMA; GARCIA, 1996). Segundo Krisnawati et al. (2011), os frutos estão prontos para a colheita quando mudam para a cor marrom escuro e começam a se abrir.

As árvores de *Acacia mangium* florescem no final da estação chuvosa, período que pode diferir conforme a localização geográfica. Geralmente, as frutas amadurecem entre cinco e sete meses após o período de floração, conforme podemos observar na Tabela 1. No estado de Roraima, o início da floração ocorre entre junho e julho, e a maturação dos frutos ocorre entre os meses de outubro e dezembro (Tabela 1) (TONINI; HALFELD-VIEIRA, 2010).

**Tabela 1.** Período de floração e frutificação da espécie *Acacia mangium*.

<b>País</b>	<b>Floração</b>	<b>Frutificação</b>	<b>Fonte</b>
Austrália	Mar. – Maio	Set. – Dez.	Sedgley <i>et al.</i> (1992)
Papua Nova Guiné	Abr. – Jul.	Set. – Nov.	Turnbull (1986)
Indonésia	Jan. – Mar.	Jul.	Turnbull (1986)
Malásia	Jan.	Jun. – Jul.	Sedgley <i>et al.</i> (1992)
Brasil (Roraima)	Jun. – Jul.	Out. – Nov.	Tonini e Halfeld-Vieira (2010)

As sementes são negras e brilhantes, com formas que vão desde longitudinal, elíptica e ovalada a oblongo com um tamanho de 3-5 mm por 2-3 mm. Estima-se que uma árvore madura pode produzir cerca de 0,4 kg de sementes, sendo que em cada quilo pode conter de 80 mil a 110 mil unidades (ROSSI *et al.*, 2003). As sementes de *A. mangium* apresentam dormência, por serem envolvidas por um tegumento impermeável à água (LIMA; GARCIA, 1996). Segundo Smiderle *et al.* (2005), este fato dificulta a germinação de sementes em ensaios experimentais para teste de germinação ou em sementeiras para a formação de mudas comerciais.

#### **3.1.4 Características e principais usos da madeira**

Segundo Barros *et al.* (2012), o poder calorífico observado para *A. mangium* foi de 4430,37 kcal kg<sup>-1</sup>, apresentando resultados satisfatórios para a produção de energia, sendo este o seu principal uso. A utilização desta espécie para a produção de energia é quatro vezes mais eficiente que o uso de madeira de espécies nativa, como é empregado em olarias e fornos no estado do Amazonas e Roraima (AZEVEDO *et al.*, 2002). Sua densidade média básica

(0,522 g cm<sup>-1</sup>) é considerada adequada para a produção de celulose, papel, madeira serrada e para móveis (SEGURA et al., 2010).

Os resultados dos trabalhos mencionados acima corroboram com os obtidos por Costa et al. (2015), que apresentam um poder calorífico 4400 kcal kg<sup>-1</sup> e densidade básica de 0,54 g cm<sup>-1</sup> para a *A. mangium*. Sabe-se ainda que esta espécie pode apresentar vários usos não madeireiros, incluindo a produção de cola e mel (KRISNAWATI et al., 2011). São úteis ainda para sombra e quebra-ventos para o gado em sistemas silvipastoris, além de serem cultivadas em sistemas agroflorestais, em programas de controle de erosão e de compensação florestal (NRC, 1983; CORDEIRO, 2015).

### 3.2 PLANTIOS DE *A. mangium*

O primeiro plantio de *A. mangium*, em caráter experimental ocorreu em Sabah, na Malásia, em meados dos anos 60. Já na Indonésia, a acácia foi introduzida pela primeira vez como uma espécie para reflorestamentos no final dos anos 1970 (PINYOPUSARERK et al., 1993). Desde então esta espécie tem sido introduzida em muitos países tropicais, com o objetivo de produzir madeira para celulose e recuperação de áreas degradadas, incluindo Papua Nova Guiné (1969), Nepal (1976), Filipinas (1977), Bangladesh (1978), Havaí (1979), Camarões (1980), Costa Rica (1981) (NRC, 1983), na América central (1970) e na Colômbia (1990) (VÉLEZ; VALLE, 2007).

No Brasil a primeira introdução desta espécie ocorreu em 1979, a partir de um experimento da Embrapa Florestas, sendo implantado posteriormente no estado do Pará e Minas Gerais em 1985 (VÉLEZ; VALLE, 2007; TONINI et al., 2010). A produção de *A. mangium* e *A. mearnsii*, compreende uma área de 160.827 mil hectares (IBÁ, 2016). Atualmente estes plantios ocorrem nos estados de Roraima, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul.

Em Roraima, o primeiro ensaio experimental foi implantado no ano final da década de 90, com o objetivo de avaliar o seu crescimento nas condições edafoclimáticas da savana (TONINI et al., 2010). Segundo estes autores, a acácia foi plantada comercialmente no estado, a partir do ano de 1999, pela empresa Ouro Verde Agrosilvopastoril Ltda. Atualmente existe uma área

plantada de aproximadamente 30.000 ha (FIT, 2013). É sabido que os plantios de *A. mangium* vêm recebendo destaque em programas de reflorestamento nos trópicos (ILIAS, 2013), especialmente por sua capacidade de se estabelecer em áreas degradadas, com baixa fertilidade e apresentar um rápido crescimento (VÉLEZ; VALLE, 2007).

Esta espécie pode ultrapassar um incremento em diâmetro de 2,5 cm ano<sup>-1</sup> e 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em volume (SOUZA et al., 2004), em um espaçamento de 3 x 2 m. No estudo realizado por Machado (2008), em um plantio com 2 x 2 m o incremento médio anual em DAP e volume foi de 2,1 cm ano<sup>-1</sup> e 51,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Costa et al. (2015), em um plantio com nove anos de idade, em um espaçamento de 3 x 2 m no Amazonas, observaram o incremento de 1,9 ± 0,2 m ano<sup>-1</sup> e 2,5 ± 0,5 cm ano<sup>-1</sup>, para altura total e DAP, respectivamente. Estes mesmos autores estimam o valor da biomassa em 301 ± 54,8 Mg ha<sup>-1</sup>, com um incremento de 33,4 ± 6,1 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

No estudo realizado por Machado (2008), com plantios homogêneos de *A. mangium* com espaçamento de 2 x 2 m apresentou uma taxa de sobrevivência de 81%, aos quatro anos de idade. Esta taxa foi inferior a encontrada por Souza et al. (2004), em um plantio homogêneo para esta espécie com idade similar, diferindo no espaçamento que foi de 3 x 2 m. Para Machado (2008) o desempenho superior para o plantio com o maior espaçamento (3 x 2 m) pode ter sido influenciado pela presença de menor número de fustes por hectare, o que resultou em menor competição por luz, nutrientes e água.

### 3.3 VOLUME

A determinação do volume de madeira, tanto para plantios florestais quanto para florestas naturais, é a peça-chave para a regulação da produção florestal (SOUZA; SOARES, 2013). No entanto, gerar estimativas volumétricas dos troncos das árvores pode acarretar erros, por apresentar formas diferentes entre espécies e até mesmo dentro de uma mesma espécie (SANQUETTA et al., 2009). Visando reduzir estes erros foram desenvolvidos vários métodos diretos (valor real) e indiretos (valores estimados) para a determinação de volume.

### **3.3.1 Método Direto**

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

Soares et al. (2006), explicam que as principais formas de realizar a cubagem rigorosa são separadas em dois grupos, conforme a divisão das secções do fuste: método absoluto (Newton, Huber e Smalian) e pelo método relativo (Hohenadl). O método de Smalian é bastante utilizado em áreas de plantios florestais (SCHWENGBER et al., 2006; MACHADO, 2008; SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Contudo alguns trabalhos na região Amazônica vêm utilizando a combinação dos métodos de Smalian e Hohenadl, em função da sua praticidade no momento da tabulação dos dados e sua precisão (LIMA, 2010; GIMENEZ, et al., 2015).

### **3.3.2 Método Indireto**

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

O fator de forma é obtido pela razão entre o volume do fuste da árvore e o volume de um cilindro de igual altura e diâmetro mensurado (SOARES et al., 2006; CAMPOS; LEITE, 2013). Estes mesmos autores, explicam que o fator de forma médio é obtido pela razão entre o somatório do fator de forma pelo número de árvores mensuradas. Segundo Figueiredo et al. (2009), este método pode fornecer estimativas confiáveis, somente se for controlado a tipologia florestal, espécie, idade do plantio e a classe diamétrica. Estes mesmos

autores recomendam ainda utilizar o fator de forma apenas na situação em que não se tem informação sobre a forma da árvore ou quando for necessária rapidez no trabalho de inventário. Em acréscimo, Campos e Leite (2013), alertam que estes fatores não são indicados para florestas inequiâneas, devido à alta heterogeneidade das espécies, portanto são aconselhados apenas para áreas pequenas e homogêneas.

Atualmente o método indireto mais utilizado para gerar estimativas de volume de árvores em pé são as equações volumétricas, obtidas a partir de análises de regressão (MULLER et al., 2014; CORDEIRO et al., 2015; GIMENEZ et al., 2015; MIRANDA et al., 2015). A principal vantagem de utilizar este recurso é o conhecimento da incerteza associada a equação (HIGUCHI, 2009). Sendo que, reportar a incerteza associada à média é mais importante que reportar a própria média (IPCC, 2006). As equações, em comparação aos fatores de forma médios possuem menores erros, resultando em estimativas de volume total de povoamentos florestais com menores intervalos de confiança (SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Contudo estes mesmos autores afirmam que tanto as equações volumétricas quanto os fatores de forma podem gerar estimativas precisas de volume em povoamentos florestais.

No Brasil foram utilizados vários modelos matemáticos para desenvolver equações volumétricas, visando estimar o volume em plantios florestais de acácia (Tabela 2). No estado de Roraima é recente o desenvolvimento de estudos para gerar equações volumétricas para plantios florestais (TONINI; SCHWENGBERG, 2006).

**Tabela 2.** Equações volumétricas para estimar o volume em plantios de Acácia.

Local	N	Equação volumétrica	R <sup>2</sup>	Fonte
Kalimantan, Indonésia	12	$V = 0,000004 * D^{2,712}$	0,98	Ilyas, 2013
Colômbia	33	$V = 0,000086 * D^{2,747}$	0,98	Vélez e Valle (2007)
Minas Gerais	17	$V = 0,00005 * D^{2,262} * H^{0,568}$	0,97	Muller <i>et al.</i> (2014)
Amapá	31	$V = \beta_0 * D^{\beta_1} * H^{\beta_2} + \varepsilon$	0,96	Cordeiro <i>et al.</i> (2015)

Local	N	Equação volumétrica	R <sup>2</sup>	Fonte
Minas Gerais	45	$\text{LnV} = -9,097 + 2,649(\text{LnD}) - 0,032(D)$	0,97	Müller et al., 2009
Minas Gerais	17	$V = -0,1363 + 0,0010 * D$	0,95	Müller et al., 2014
Roraima	701	$V = -4,065 + 0,897 \log(D^2H)$	0,98	Tonini e Schwengberg (2006)

No estudo realizado por Ilyas (2013) que comparou o volume de madeira em dois plantios de *Acacia mangium* de sete anos de idade, sendo um situado em uma área que havia sido exercido a atividade de mineração e outra sem a atividade de mineração, constatou que na área não minada a produção foi de 252,24 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto que as áreas de mineração produziram 122,83 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Segundo este mesmo autor, o incremento médio anual - IMA na área não minada foi de 36,03 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto que o IMA da área minada foi de 16,12 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

### 3.4 BIOMASSA E SUA QUANTIFICAÇÃO

Biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível por unidade de área de uma floresta (MARTINELLI et al., 1994; SILVEIRA et al., 2008). Atualmente o termo biomassa florestal ou fitomassa é o mais utilizado para se referir à biomassa de origem vegetal, (SILVEIRA et al., 2008). Segundo o IPCC (2006), a biomassa deve ser estimada separadamente, considerando os seguintes componentes:

- Biomassa viva acima e abaixo do solo – toda a fitomassa viva, tanto lenhosa quanto herbácea, que estiver acima do nível do solo, incluindo caules, troncos, galhos, cascas, sementes e folhagens, biomassa do solo ou raízes acima de 2 mm de diâmetro;
- Biomassa de matéria morta ou Necromassa – são todos os materiais vegetais mortos não contidos na serapilheira (em pé, no chão ou no solo).

A biomassa de uma árvore pode ser dividida em vários compartimentos como tronco, galho fino, galho grosso, folha, raiz fina, raiz grossa, flores e

frutos (HIGUCHI et al., 1998; CAMPOS, 1991; SILVA, 2007; ILYAS, 2013). A biomassa total acima do solo de uma árvore é dada pela somatória dos valores de seus compartimentos, exceto as raízes (ILYAS, 2013). As informações geradas para cada um dos diferentes compartimentos de uma árvore contribuem para determinar o teor de água e a concentração de carbono em cada compartimento em relação ao total, a partir da média ponderada (KRISNAWATI et al., 2011).

Segundo Krisnawati et al. (2011), a biomassa é uma medida mais importante do que o volume para avaliar o rendimento de plantios florestais, mesmo sítios florestais diferentes. Desta forma, os estudos de biomassa florestal apresentam grande relevância em tomadas de decisões para a geração de informações para o manejo florestal, a ciclagem de nutrientes, a produção energética e para estudos de sequestro de carbono dentre outros (HIGUCHI et al., 1998; JHA, 2015; COSTA et al., 2015).

A biomassa está ligada ao estoque de macro e micronutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral (HIGUCHI et al., 1998), apresentando-se como uma boa fonte energética, podendo gerar combustível nos estados sólido, líquido e gasoso, além de ser renovável, apresentando grande vantagem em relação ao combustível fóssil (SILVEIRA et al., 2008; ELOY, 2013). Em relação às mudanças climáticas, a biomassa seca pode ser utilizada para estimar o estoque de carbono na floresta, que por sua vez, é utilizado para prever a quantidade de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) absorvido da atmosfera pelo processo da fotossíntese ou liberado para a atmosfera pelo processo de queima da floresta (HIGUCHI et al., 1998; 2004; ILYAS, 2013; TIAN et al., 2016).

A biomassa florestal também pode ser quantificada pelo método direto ou pelo método indireto (HIGUCHI; CARVALHO JÚNIOR, 1994). O método direto ou destrutivo consiste na mensuração da biomassa em campo a partir da derrubada e pesagem de todas as árvores de dentro da parcela (parcela-amostra), em que a partir desta amostra é extrapolada para a área total (HIGUCHI et al., 2004; SANQUETTA et al., 2009). No entanto, este método gera estimativa não confiáveis pelo fato de se basear em parcelas pequenas e tendenciosamente distribuídas (BROWN et al., 1986), além de demandar maior tempo e mais recursos financeiros.



O método indireto consiste em correlacionar a biomassa com variáveis dendrométricas obtidas em inventários florestais (DAP, altura, densidade e volume) pelo método não destrutivo ou com dados provenientes de sensoriamento remoto (SILVEIRA et al., 2008). Para gerar estimativas de biomassa pelo método indireto é utilizado o método da árvore-amostra, em que o peso de uma árvore individual é considerado a amostra (SANQUETTA et al., 2009).

A utilização de modelos matemáticos é um dos métodos indiretos mais utilizados para estimar a biomassa, a partir dos quais são geradas as equações alométricas por meio de análises de regressão. Estes modelos relacionam a variável dependente (peso da árvore, obtido pelo método direto) com as variáveis independentes (variáveis dendrométricas) (HIGUCHI et al., 1998). As principais vantagens de utilizar as equações alométricas é que não é necessário calcular o volume e que apresenta a incerteza gerada pelo modelo (SILVA, 2007; LIMA et al., 2012). Desta forma, a partir de alguns trabalhos com o objetivo gerar uma ferramenta precisa para estimar a biomassa em plantios florestais de *Acacia mangium*, foram desenvolvidas várias equações alométricas a partir de modelos matemáticos clássicos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Equações alométricas de biomassa para plantios de *Acacia mangium*, com os seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Local	N	Equação	$R^2$	Fonte
Kalimantan, Indonésia	12	$M = 0,4668 * (H * D)^{1,8287}$	0,98	Ilyas (2013)
Yogyakarta, Indonésia	10	$M = 0,019 * D^{2,509}$	0,92	Kusumawati et al. (2010)
Indonesia Bogor, Indonesia	36 8	$M = 24,538 * D - 314,52$ $M = 0,141 * D^{2,31}$	0,90 0,98	Mat et al. (2009) Purwitasari (2011)
Colômbia	33	$M = 0,0343 * D^{2,93}$	0,99	Vélez e Valle (2007)

Mat et al., 2009, utilizando modelos alométricos, observaram que um plantio de *A. mangium* produziu 380,83 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo, aos sete anos de idade, na Indonésia. Enquanto que no estudo realizado por

Ilyas (2013), visando verificar a produção de biomassa da *Acacia mangium* em dois plantios diferentes, obteve um valor de biomassa de 246,91 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo 84,6% (acima do solo) e 15,4% (abaixo do solo) em uma área minada e para a área não minada encontrou 148,33 Mg ha<sup>-1</sup>, com 83,8% deste total acima do solo e 16,2% abaixo do solo.

### 3.5 CARBONO

O Carbono é um elemento químico pertencente ao grupo dos não-metais, cujo o símbolo químico é C, de número atômico 6. Este elemento químico pode ser encontrado na crosta terrestre, dissolvido na água e na atmosfera, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (IPCC, 2006). Para converter C em CO<sub>2</sub>, basta multiplicar o valor de carbono pelo fator de conversão 3,6667 (massa do CO<sub>2</sub> = 44 e a massa do C = 12, logo 44/12 = 3,6667).

As florestas tropicais, tanto as nativas quanto as plantadas, exercem um papel de extrema importância no ciclo do carbono terrestre, por serem ecossistemas terrestres responsáveis por grande parte da assimilação e armazenamento de carbono a partir da fotossíntese (ILYAS, 2013; LIU et al., 2015). O solo utilizado para a produção agrícola também é um importante fator a ser monitorado para a questão climática (REDD, 2011). Neste sentido o domínio sobre a dinâmica do carbono é essencial para avaliar os mecanismos de condução de uso do carbono florestal e prever o comportamento das florestas sob as mudanças climáticas futuras (WAGNER et al., 2016).

De acordo com Higuchi et al. (2009), para o período de 1970-2004, os gases do efeito estufa (GEE) derivados do carbono foram responsáveis por 90% de todas as emissões, tendo o CO<sub>2</sub>, correspondido cerca de 75% deste total. As ações antrópicas, como a mudança no uso da terra, associados ao desmatamento e queimada de florestas, a queima de combustíveis fósseis, indústrias e os resíduos sólidos, estão entre os principais emissores de gases do efeito estufa (TIAN et al., 2016).

O sequestro do carbono (C) através de plantios florestais também é uma das medidas mitigadoras mais importantes para a redução dos níveis de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa na atmosfera (JHA, 2015). No Brasil, há uma recente iniciativa sobre ações que visam a redução de

emissões de CO<sub>2</sub>. Conforme a ABRAF (2013), dentre as principais iniciativas propostas está: a autossuficiência energética renovável pelos componentes industrial madeireiro; e pelo componente florestal, a realização de plantios florestais, visando à formação e a manutenção de estoques de carbono. Uma vez que no ano de 2013 as florestas plantadas no Brasil foi responsável pelo estoque de 1,67 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (IBÁ, 2013).

### 3.6 ALOMETRIA

Alometria é a estimativa do todo em relação a uma parte do todo, por exemplo, é a estimativa da biomassa de uma árvore a partir da mensuração do DAP. As equações alométricas são desenvolvidas a partir da análise de regressão, expressando matematicamente o relacionamento linear entre uma variável dependente ou resultado (Y) e uma ou mais variáveis independentes ou previsores (X) (FIELD, 2013). As principais variáveis independentes são o diâmetro a altura do peito (DAP), a altura, a idade e a tipologia florestal (CHAVE et al., 2005; SOUZA; SOARES, 2014).

No entanto vários estudos tanto em florestas nativas quanto plantadas afirmam que modelos não lineares, que utilizam apenas o DAP como variável independente, podem ser tão eficientes quanto os modelos de múltipla entrada para estimar volume e biomassa (SILVA, 2007; PURWITASARI, 2011; ILYAS, 2013; HIGUCHI et al., 2014; GIMENEZ et al., 2015). As principais vantagens de utilizar estes modelos, além de apresentar bons resultados estatísticos, é a simplicidade no ajuste e o menor tempo e custo para a obtenção das variáveis (LIMA, 2010; PURWITASARI, 2011). Tendo em vista que os parâmetros observados para a seleção da melhor equação alométrica são os maiores coeficientes de determinação e correlação, menor erro padrão e incerteza e a distribuição residual uniforme e sem tendência (HIGUCHI et al., 2008; LIMA *et al.*, 2012).

Para desenvolver equações alométricas, as amostras devem ser representativas, visando abranger toda a variação de cada idade dos diferentes sítios e tipologia florestal (SOUZA; SOARES, 2014). Segundo Higuchi *et al.* (2004) o ideal seria desenvolver uma equação para cada tipologia florestal, considerando a classificação de cada sítio. Porém a principal problemática

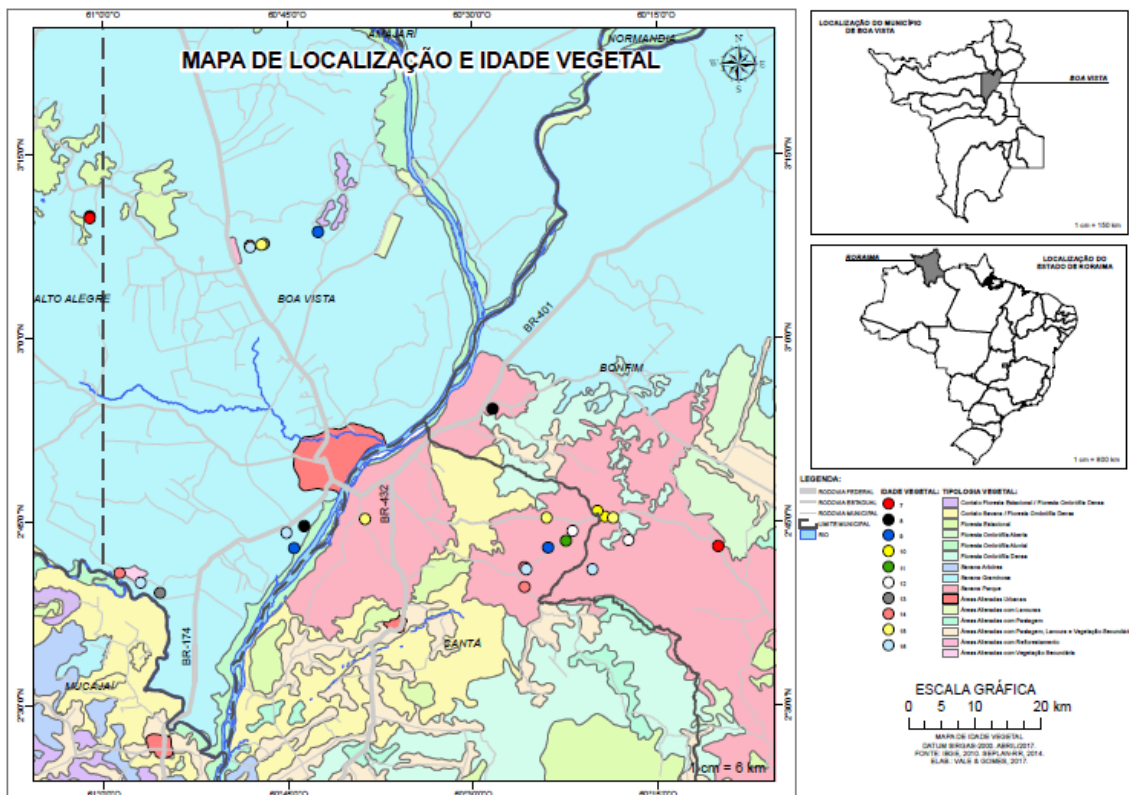
relacionado ao ajuste destas equações é a coleta destrutiva, por ser onerosa e demandar muito tempo (SILVA, 2007). Tais questões apresentadas até aqui, contribuíram para o norteamento dos objetivos propostos no presente estudo.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A coleta de dados foi realizada nas áreas de plantios de *Acacia mangium*, gerenciada pela empresa F.I.T. Manejo Florestal Ltda. A área do plantio totaliza 27.454,36 ha, dividida em quatro núcleos para facilitar o gerenciamento. O núcleo que possui maior área plantada é o Serra-da-lua (63,7%), seguido por Jacitara (25,1%), Santa Cecília (5,8%) e Mucajaí (5,4%) (FIT, 2013). Estes núcleos estão distribuídos nos municípios de Boa Vista, Cantá, Bonfim e Alto Alegre, localizados na região central do estado de Roraima (Figura 2).

**Figura 2.** Pontos de coleta das amostras obtidas na área do plantio de *Acacia mangium* gerenciado pela empresa F.I.T. Manejo Florestal Ltda., na região central do estado de Roraima.



Fonte: O autor

Os núcleos de plantios da *Acacia mangium* da empresa F.I.T. encontram-se inseridos em áreas denominadas de Savanas. No estado de Roraima, a Savana é denominada popularmente de “Lavrado”. As

fitofisionomias que ocorrem na área compõem-se de: Savana gramíneo-lenhosa; Savana parque; Savana arborizada; Savana florestada; Floresta ombrófila aberta; Floresta ombrófila densa; Floresta estacional semi-decidual; Formações pioneiras. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw<sub>i</sub>, tropical chuvoso, precipitação variando entre 1.440 a 1.660 mm (TONINI; SCHWENGBER, 2006).

O estado de Roraima apresenta uma complexa caracterização pedológica, compondo uma grande variedade de classes de solos, geralmente com baixa fertilidade natural e pH ácido (BARROS et al., 2009). Nas áreas de plantio de acácia foram encontradas as seguintes classes de solos (FIT, 2013): Alissolos Crômicos Órticos Típicos; Gleissolos Háplicos Tb Distróficos plínticos; Latossolos Amarelos Distróficos típicos; Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos textura argilosa; Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos típicos; Neossolos Quartzarênicos Órticos latossólicos; Neossolos Flúvicos Tb distróficos; Plintossolos Pétricos Concrecionários Distróficos Típicos; e Neossolos Litólicos Distróficos típicos + Afloramentos Rochosos.

O núcleo Serra-da-lua possui plantios com 10 idades diferentes, sendo o mais antigo de 16 anos, seguindo uma sequência até o mais novo, com 7 anos. O núcleo Jacitara apresentou plantios com as mesmas idades apresentadas no núcleo Serra-da-lua, exceto com 10 anos, totalizando nove idades diferentes. O núcleo Santa Cecília possui seis idades diferentes (16, 15, 14, 13, 9 e 8) e o núcleo de Mucajaí possui quatro (16, 15, 14 e 13).

A empresa FIT classifica os plantios, de modo geral, em três classes de sítio, conforme a altura dominante (Hdom) de cada talhão, sendo: classe 1 – Hdom  $\geq$  20 m; classe 2 – Hdom de 15 a 20 m; e classe 3 – Hdom < 15 m. Esta classificação não leva em consideração a idade do plantio.

De forma geral, as áreas dos 31 talhões selecionados para a realização deste trabalho tinham como atividade antes do plantio a pecuária em pastagem nativa (*Trachypogon plumosus* (Willd.) Nees), exceto dois talhões que havia o cultivo de soja, arroz e milho. Nenhum destes talhões foram submetidos ao fogo. Quanto à calagem, a adubação e os tratamentos silviculturais destes talhões ocorreram de 14 modos diferentes. As descrições detalhadas dos históricos dos talhões selecionados para a obtenção das amostras estão dispostas no Apêndice I.

## 4.2 COLETA DE DADOS

As amostras para a realização deste trabalho foram selecionadas conforme a distribuição diamétrica obtida em um inventário florestal amostral realizado no ano de 2015 pela empresa F.I.T. (FIT, 2013). Este inventário buscou obter amostragem de todas as idades em cada núcleo, utilizando parcelas amostrais circulares, com raio de 11,28 m (400 m<sup>2</sup>). A intensidade amostral foi de 1 parcela a cada 48 hectares. As árvores inventariadas foram distribuídas em cinco classes diamétricas, considerando o diâmetro comercial mínimo de 8 cm e a amplitude de 5 cm entre classes.

As amostras utilizadas para ajustar as equações alométricas foram obtidas conforme a metodologia utilizada em vários trabalhos aplicados a plantios florestais (VEIGA et al., 2000; MAT et al., 2009; MIGUEL et al., 2010; MÜLLER et al., 2014). Foram abatidas 8 árvores por idade, seguindo o mesmo padrão da distribuição diamétrica obtido no inventário amostral realizado pela empresa FIT. Desta forma, foram cubadas 221 árvores para o ajuste das equações volumétricas, distribuídas nos plantios de diferentes idades nos quatro núcleos (Serra-da-lua, Jacitara, Mucajaí e Santa Cecília). Enquanto que para ajustar as equações de biomassa (acima e abaixo do solo), foram utilizadas 85 árvores distribuídas nos plantios de diferentes idades do núcleo Serra-da-lua.

### 4.2.1 Estimava de Volume

As árvores foram cubadas utilizando a combinação dos métodos de Smalian e Hohenadl, conforme utilizado por Lima (2010) e Gimenez et al. (2015). O método de Smalian consiste em somar as medidas da base e da extremidade dividido por dois e multiplicado pelo seu comprimento. No método de Hohenadl o comprimento da tora é dividido em cinco (originalmente) ou mais seções iguais, multiplicando pelo somatório das áreas transversais mensuradas na parte central de cada seção. Desta forma para a realização deste trabalho, o comprimento do fuste (L) de cada árvore-amostra foi dividido

em dez partes iguais (Figura 3) e o volume de cada secção foi calculado conforme o método de Smalian. Posteriormente o volume total de cada árvore foi calculado a partir da Equação (1):

$$V_i = \frac{\pi}{40.000} \times \left( \frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + (D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_9^2) \times \frac{L}{10} \quad (1)$$

Onde:

$V_i$  = Volume;

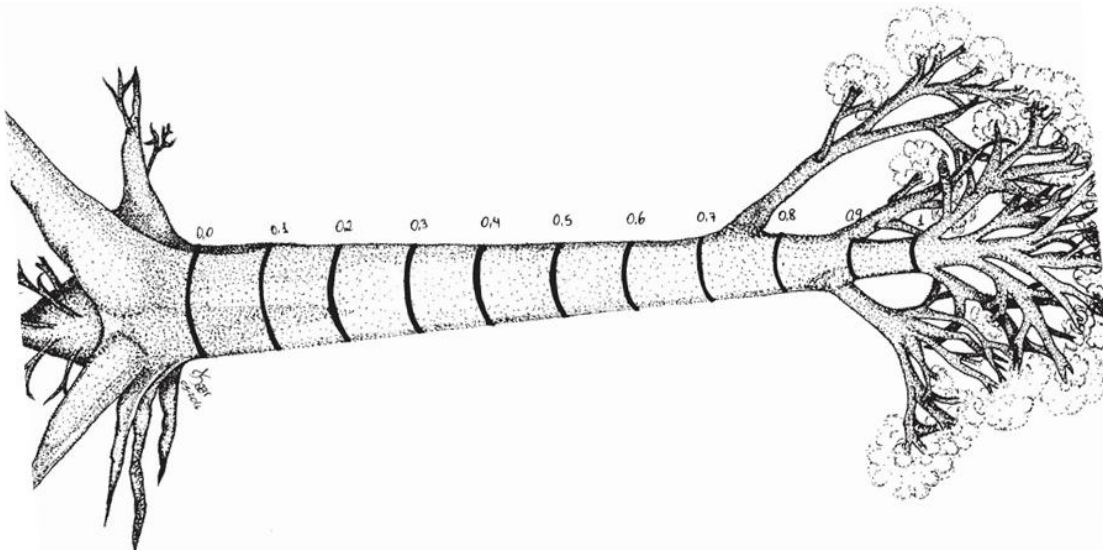
$D_0^2$  = Diâmetro ao quadrado do início do fuste;

$D_1^2$  = Diâmetro ao quadrado medido à 10% do comprimento do fuste;

$D_{10}^2$  = Diâmetro ao quadrado medido à 100% do comprimento do fuste;

$L$  = Comprimento do fuste.

**Figura 3.** Procedimento para a cubagem rigorosa do volume comercial de uma árvore de *Acacia mangium*.



Fonte: Saar, 2016

Antes do abate da árvore foi mensurado o diâmetro a altura do peito (DAP) para gerar os coeficientes volumétricos para estimar o volume comercial. Para o volume comercial foi considerado até o ponto do fuste com o diâmetro  $\geq 8$  cm. Para as árvores bifurcadas ou com galhos com diâmetro  $\geq 8$  cm, foi realizada a cubagem separadamente para cada fuste, que posteriormente foi somada para determinar o volume total da árvore.



## 4.2.2 Biomassa

### 4.2.2.1 Divisão e pesagem dos compartimentos

Para a mensuração da biomassa foram utilizadas como amostra as 85 árvores abatidas no núcleo Serra-da-lua. A biomassa acima e abaixo do solo foi compartimentada (conforme demonstra a Figura 4) e pesada separadamente em uma balança com a precisão de 200 gramas. A biomassa acima do solo foi dividida em fuste comercial, galhos (diâmetro de base < 8 cm) e folhas. Para não haver a superestimação da massa das folhas, as mesmas foram retiradas sobre uma lona de 3 m<sup>2</sup> e cuidadosamente separadas de lianas, epífitas ou hemiepífitas.

**Figura 4.** Etapas da separação em compartimentos da biomassa de *A. mangium*. Onde: A) abertura de uma trincheira para cortar as raízes de suporte lateral; B) tombamento da árvore; C) seccionamento do fuste comercial e coleta da serragem; D) separação das folhas; E) galhos; F) raízes menos grossas; G) raízes mais grossas; e H) balança utilizada.



Fonte: LMF/INPA, 2015

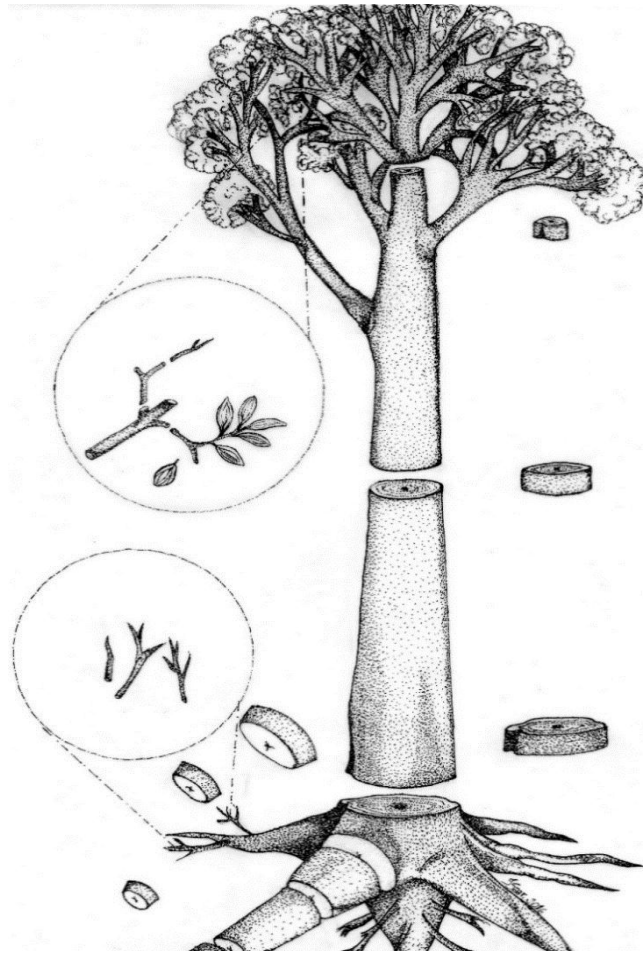
Para medir a biomassa abaixo do solo foram consideradas apenas as raízes grossas (diâmetro  $\geq 2$  mm) (IPCC, 2006). Estas raízes foram classificadas em raízes mais grossas (diâmetro  $\geq 5$  cm) e raízes menos

grossas (Raiz  $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$ ) (SILVA, 2007). Para a retirada completa das raízes, foi cavada uma trincheira, com o auxílio de ferramentas como pá, picaretas, boca-de-lobo. Para facilitar o tombamento da árvore foram cortadas as raízes de suporte lateral utilizando facão e motosserras (Figura 4 A e B). As raízes menores que 2 mm não foram coletadas pelo fato de apresentarem pouca expressão em relação a massa total da árvore e por serem de difícil separação da serapilheira fina e da matéria orgânica do solo (IPCC, 2006; SILVA, 2007).

Visando obter a perda em pó da serragem fresca para os diferentes compartimentos, devido aos cortes com o motosserra, foram coletadas três amostras por compartimento, sendo pesadas amostras de serragem à 0%, 50% e 100% do comprimento de cada compartimento que necessitou ser cortado com a motosserra (geralmente o tronco, galhos e raízes mais grossas). Posteriormente, o peso médio de serragem foi multiplicado pelo total de cortes para os respectivos compartimentos.

#### 4.2.2.2 *Determinação do teor de água*

Foram coletadas amostras de cada um dos compartimentos, com a finalidade de obter informações referentes à biomassa seca (SILVA, 2007, adaptado de HIGUCHI; CARVALHO JUNIOR, 1994) (Figura 5). Para a parte aérea foi coletado as seguintes dimensões e quantidades: Tronco – três discos (0%, 50% e 100%) com 5 cm de espessura; Galho (diâmetro  $< 8 \text{ cm}$ ) – um feixe com aproximadamente 2 Kg; Folhas – um montante de aproximadamente 2 Kg. Em relação à biomassa abaixo do solo, foram coletadas três (0%, 50% e 100%) amostras da raiz com diâmetro  $\geq 5 \text{ cm}$  e para as raízes Raiz menos grossa ( $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$ ), um feixe com aproximadamente 2 kg. Após pesadas (com o auxílio de uma balança digital com precisão de 5 gramas) e identificadas em campo, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Manejo Florestal, do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (LMF/INPA), para secagem em estufa a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , com ventilação forçada, até manter um peso constante.



**Figura 5.** Ilustração para obtenção das amostras dos diferentes compartimentos (fuste comercial, galhos, folhas, raízes mais e menos grossa) da árvore de *A. mangium* para a determinação dos seus respectivos teores de umidade.  
 Fonte. Saar, 2016

A determinação da biomassa seca foi obtida por meio do método da proporcionalidade conforme utilizado por vários autores (MAT et al., 2009; SOARES; OLIVEIRA, 2002; TORRES et al., 2013), a partir da equação (2):

$$MS_c = Mu_c * MS_a / Mu_a \quad (2)$$

Onde:

MS (c) = massa de matéria seca total, em kg;

Ms (a) = massa de matéria seca das amostras, em kg;

Mu (a) = massa de matéria úmida das amostras, em kg; e

Mu (c) = massa de matéria úmida total no campo, em kg.

### **4.2.3 Obtenção da média ponderada de carbono**

Para determinar o teor de carbono nos diferentes compartimentos, primeiramente foram selecionadas subamostras de 15 árvores, contendo indivíduos de cada classe diamétrica (5 classes) dos plantios com três idades diferentes: mais antigo, com 16 anos; intermediário, com 11 anos; e o mais novo com 7 anos. Ao total foram determinado o teor de carbono de 135 amostras distribuídas em tronco, galho fino, folhas, raízes grossas e raízes finas. Sendo 45 amostras para o tronco e 45 para as raízes mais grossas, pois foram 15 para 0%, 15 para 50% e 15 para 100%, respectivamente. Posteriormente, foi realizado o teste de significância da variância para testar a hipótese de que não haverá diferença significativa no teor de carbono entre as diferentes alturas do tronco e entre as árvores dos plantios com diferentes idades. Após a obtenção do teor de carbono de cada compartimento, foi obtido a média ponderada do teor de carbono, para a mesma ser incorporada na equação de biomassa selecionada após as análises.

As amostras selecionadas foram moídas em um moinho do tipo WILLYE, modelo 650/1, da marca TECNAL, das quais foram retiradas subamostras de aproximadamente um grama. Posteriormente estas subamostras foram encaminhadas ao Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - LMF/INPA, onde o teor de carbono foi determinado, com a utilização do analisador elementar orgânico da marca PERKIN ELMER, modelo 2400, séries II CHNS/O.

## **4.3 MODELOS ALOMÉTRICOS**

### **4.3.2 Modelos para Biomassa**

Para estimar a biomassa do plantio foram utilizados os modelos constantes na Tabela 4, utilizando como variável dependente a biomassa e como variáveis independentes o DAP, altura comercial e a altura total. Estes modelos foram escolhidos pelo fato de já terem sido testados em vários trabalhos visando estimar a biomassa acima e abaixo do solo tanto em plantios

florestais quanto em áreas de floresta na Amazônia (SANTOS, 1996; HIGUCHI et al., 1998; KUSUMAWATI et al., 2010; LIMA et al., 2012; ILYAS, 2013; ).

**Tabela 4.** Modelos alométricos para estimar a biomassa das árvores de *Acacia mangium*.

Nº	Modelo	Autor
1	$M_i = \beta_0 * DAP_i^{\beta_1} + \varepsilon$	Husch
2	$M_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP_i^2 + \varepsilon$	Kopesky e Gehrhardt
3	$M_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP_i + \beta_2 * DAP_i^2 + \varepsilon$	Hohenadl e Kreen
4	$M_i = \beta_0 * DAP_i^{\beta_1} * HC_i^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher e Hall
5	$M_i = \beta_0 + \beta_1 * (DAP_i^2 * HC_i) + \varepsilon$	Spurr
6	$M_i = \beta_0 * (DAP_i^2 * HC_i)^{\beta_1} + \varepsilon$	Spurr

Onde:  $M_i$  = massa fresca de cada árvore, em kg; DAP = diâmetro a altura do peito de cada árvore, em centímetros;  $HC_i$  = altura comercial de cada árvore, em metros;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ , e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Os modelos que incluem a densidade da madeira, não serão testados pelo fato desta variável ser de difícil obtenção em cada indivíduo em pé, apesar de estes modelos terem apresentado os melhores resultados no trabalho realizado por Saldarriaga et al., (1988). Segundo Higuchi e Carvalho Jr. (1994), a densidade da madeira ( $g/cm^3$ ) apresenta significativas variações intra e interespecíficas.

#### 4.3.1 Modelos Volumétricos

Foram testados seis modelos volumétricos. Destes modelos, três utiliza apenas o DAP como variável independente e três utilizam as variáveis DAP e a altura comercial (Tabela 5). Estes modelos são bastante comuns em estudos volumétricos para plantios florestais (SCHRÖDER et al., 2013; MIRANDA et al., 2015). Gimenez et al. (2015), também utilizaram estes mesmos modelos, com o objetivo de ajustar equações de volume das principais madeiras comerciais de uma região de floresta nativa no estado de Roraima.

**Tabela 5.** Modelos volumétricos testados para estimar o volume das árvores de *A. mangium* em Roraima.

Nº	Modelo	Autor
1	$V_i = \beta_0 * DAP_i^{\beta_1} + \varepsilon$	Husch
2	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP_i^2 + \varepsilon$	Kopesky e Gehrhardt
3	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP_i + \beta_2 * DAP_i^2 + \varepsilon$	Hohenadl e Kreen
4	$V_i = \beta_0 * DAP_i^{\beta_1} * HC_i^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher e Hall
5	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * (DAP_i^2 * Hc_i) + \varepsilon$	Spurr
6	$V_i = \beta_0 * (DAP_i^2 * Hc_i)^{\beta_1} + \varepsilon$	Spurr

Onde:  $V_i$  = Volume em metros cúbicos;  $DAP_i$  = diâmetro a altura do peito de cada árvore, em centímetros;  $Hc_i$  = altura comercial de cada árvore, em metros;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ , e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $\varepsilon$  = erro aleatório.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A escolha do melhor modelo alométrico, tanto para volume quanto para biomassa, foi aquele que apresentou: Maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust.}$ ), forte correlação entre as variáveis independentes e as dependentes (R), menor erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ), menor incerteza em porcentagem (Incerteza%), uniformidade e não tendenciosidade na distribuição dos resíduos (Res.%), significância dos coeficientes (Valor-p) (RIBEIRO et al., 2014; SANQUETTA et al., 2014). A dificuldade e o custo para a obtenção dos dados em campo também foram levados em consideração, sendo escolhido aquele que apresentasse o menor custo/benefício para obtenção das variáveis independentes (HIGUCHI, 1998; SILVA, 2007; GIMENEZ et al., 2015). Todos os modelos alométricos lineares e não lineares foram ajustados utilizando os recursos dos *Softwares estatísticos* Systat versão 12.0 e R Core Team (2015).

##### 4.4.1 Coeficiente de determinação

Conforme descreve Field (2009), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a porcentagem da variação da variável dependente explicada pela variável independente. O resultado desta equação varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 for o valor de  $R^2$ , mais precisa e melhor será a equação (SANQUETTA et al., 2009). O valor do coeficiente de determinação varia conforme o número de observações da amostra, tendendo a crescer quando n

diminui, ou seja, para  $n=2$ , teríamos sempre  $R^2=1$ , pois dois pontos determinam uma reta e os desvios seriam nulos (CECON et al., 2012). Neste sentido só pode ser comparadas equações com o mesmo número de coeficientes (SANQUETA et al., 2009). Desta forma foi calculado o coeficiente de determinação ajustado para que fosse possível comparar diferentes equações, conforme a equação (3) extraída de Hoel (1981) e utilizada Ribeiro et al. (2014) e Gimenez et al. (2015):

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{QM_{Resíduo}}{QM_{Total}} \quad (3)$$

Onde:

$R^2_{aj}$  = Coeficiente de determinação ajustado

QM Resíduo = quadrado médio do resíduo obtido através da divisão da soma dos quadrados do resíduo (SQ Resíduo) pelos seus respectivos graus de liberdade;

QM Total = quadrado médio total obtido pela divisão da soma dos quadrados total (SQ total) pelos seus respectivos graus de liberdade.

#### 4.4.2 Coeficiente da correlação

O coeficiente de correlação (R) expressa a estreiteza entre a varável dependente e as varáveis independentes, podendo variar de -1 a 1 (HIGUCHI, 2008). Segundo Cecon et al. (2012), o termo correlação significa associação linear entre duas varáveis aleatórias, sendo preferível à covariância por ser mais precisa ao eliminar as variações de X e de Y e ser independente das unidades de medida de X e de Y. Este coeficiente é dado pela equação (4):

$$R = \frac{\text{Covariância entre X e Y}}{(\text{Desvio Padrão de X}) * (\text{Desvio padrão de Y})} \quad (4)$$

#### 4.4.3 Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é um desvio-padrão (S) entre as estimativas médias, em vez de ser entre as unidades de amostras individuais

(SOARES et al., 2006). Para Silva (2007), o erro padrão da estimativa demonstra a precisão do modelo. O erro padrão da estimativa em percentagem foi calculado em relação à média da variável dependente. Em inventários florestais, o erro (%) aceitável é de até 10% e quanto menor o erro (%), mais preciso é o modelo (HIGUCHI, 2008). Desta forma o erro padrão ( $S_{yx}$ ) e o erro padrão relativo ( $S_{yx}(\%)$ ) foram calculados a partir das seguintes equações (5 e 6), conforme recomendada pelo IPCC (2006) e utilizado por Silva, 2007:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{i(obs)} - X_{i(est)})^2}{GL_{res}}} \quad (5)$$

Onde:

$S_{yx}$  = Erro padrão da estimativa;

$X_{i(obs)}$  = Parâmetro observado da i-ésima amostra, em m<sup>3</sup> para volume e para biomassa em Kg;

$X_{i(est)}$  = Parâmetro estimado para a i-ésima amostra, em m<sup>3</sup> para volume e para biomassa em Kg;

$GL_{res}$  = Graus de liberdade, obtido a partir da diferença entre o número de amostras (n) e o número de coeficientes do modelo (k);

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100 \quad (6)$$

Onde:

$S_{yx}(\%)$  = Erro padrão da estimativa relativo;

$S_{yx}$  = Erro padrão da estimativa

n = número de amostras;

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

#### 4.4.4 Incerteza do modelo

Para Higuchi et al. (2009), em inventário florestal, tão importante quanto a própria média é a incerteza da média. Segundo estes mesmos autores, a



incerteza é o mesmo que o intervalo de confiança. O Intervalo de confiança descreve os limites dentro dos quais se procura encontrar o verdadeiro valor do parâmetro da população, a um dado nível de probabilidade (SOARES et al., 2006).

Para se calcular a incerteza do modelo estatístico, basta multiplicar o erro padrão da estimativa relativo ( $S_{yx}\%$ ) pela constante t (para  $n < 30$ ) ou Z (para  $n \geq 30$ ), considerando o nível de confiabilidade. Desta forma as incertezas das equações foram reportadas a partir da seguinte equação (7) (IPCC, 2006):

$$Incerteza(\%) = Z * \frac{\frac{S_{yx}}{\sqrt{n}}}{\bar{Y}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

Incerteza (%) = Incerteza relativa;

$S_{yx}$  = Erro padrão da estimativa

n = número de amostras;

$\bar{Y}$  = valor médio da variável dependente;

Z = é a constante quando considerado um nível de confiabilidade de 95%.

#### 4.4.5 Distribuição Residual

A análise gráfica da distribuição dos resíduos é o meio mais importante para visualizar o desempenho da função de regressão, a partir do qual é possível observar se existe tendenciosidade nas estimativas geradas a partir do modelo (SCOLFORO, 1997). Em outras palavras, a distribuição dos resíduos expressa o desempenho do modelo a partir da observação dos valores observados em relação aos estimados pelo modelo. Os melhores modelos foram aqueles que apresentaram a distribuição gráfica aleatoriamente em torno da reta nula e formando uma largura uniforme ao longo da reta, conforme recomenda Sanquetta et al. (2009). A análise gráfica foi realizada a partir da seguinte equação (8):

$$Res\% = \frac{X_{obs} - X_{est}}{X_{obs}} * 100 \quad (8)$$

Onde:

Res% = Resíduos relativo

$X_{obs}$  = Valores observados

$X_{est}$  = Valores estimados

#### 4.4.6 Teste de Significância

A partir da análise de variância (ANOVA) foi realizado o teste-F, o qual indica a significância do modelo, ou seja, testa a hipótese ( $H_0$ ) que a inclinação ( $b_1$ ) é igual a zero (CECON et al., 2012). Conforme recomendado por Burdette e Gehan (1970), citado por Arshan (1988), a interpretação mais sensata em relação ao Valor-p está descrita abaixo:

- $P < 0,01$ , indica evidência muito forte contra  $H_0$ ;
- $0,01 \leq P < 0,05$ , indica evidência moderada contra  $H_0$ ;
- $0,05 \leq P < 0,10$ , indica evidência sugestiva contra  $H_0$ ; e
- $0,10 \leq P$ , indica pouca ou nenhuma evidência real contra  $H_0$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA FRESCA DAS ÁRVORES EM INDIVIDUAL

A estimativa da biomassa florestal é essencial para avaliar o rendimento do ecossistema e o estoque de carbono para programas de redução de gases de efeito estufa (ILYAS, 2013; JHA, 2015). Isto demonstra a grande relevância da realização de estudos que quantifiquem a biomassa florestal de modo geral.

Conforme a Tabela 6, o estoque médio de biomassa fresca total para as árvores de *A. mangium* é de  $338 \pm 31,1$  Kg, gerando uma estimativa de  $433,56$  Mg ha<sup>-1</sup>. Resultados similares foram obtidos por Mat et al. (2009) e Ilyas (2013) para esta espécie. As contribuições em porcentagem do tronco, galhos, folhas, raízes mais grossas ( $D \geq 5$  cm) e raízes menos grossas ( $Raiz\ 2\ mm \leq D < 5$  cm) em relação a biomassa total foram:  $61,4\% \pm 1,1$ ;  $20,6\% \pm 1,0$ ;  $5,1\% \pm 0,3$ ;  $9,2\% \pm 0,3$ ;  $3,7\% \pm 0,2$ , respectivamente. Apenas a folha apresentou a incerteza acima de 10%.

A principal finalidade de uso da madeira dos plantios em estudo é a produção de biomassa para energia. Diante disto, foi considerado como galho os caules com diâmetro  $> 8$  cm e todo os caules com diâmetro  $\geq 8$  cm foram agrupados em fuste comercial. Metodologia similar a esta foi utilizada por Ribeiro et al. (2015).

**Tabela 6.** Estoque de biomassa (em Kg) dos compartimentos acima e abaixo do solo das árvores de *A. mangium* e suas respectivas contribuições (%) em relação ao total da árvore (N = 85 árvores).

Variável	Peso individual da parte aérea e abaixo do solo (Kg)					T = Tr+G +F+R a+Rb	Tr:T	G:T	F:T	Ra:T	Rb:T
	Tr	G	F	Ra	Rb						
Média	221	57,4	15,4	32,8	11,4	338	61,4	21	5,1	9,2	3,7
S <sub>xy</sub>	22,4	4,6	1,4	3,4	1,0	31,1	1,1	1,0	0,3	0,3	0,2
S <sub>xy</sub> (%)	10,1	7,9	8,9	10,5	8,4	9,2	1,8	4,8	5,9	2,8	5,2
Inc. (95%)	20,3	15,8	17,9	21,0	16,8	18,4	3,7	9,7	11,8	5,5	10,5

Em que: Tr – Tronco; G – Galhos; F – Folhas; Ra – Raiz  $\geq 5$  cm de D; Rb – Raiz  $2\ mm \leq D < 5$  cm; T – Total; Inc. – Incerteza; S<sub>xy</sub> – Erro Padrão; S<sub>xy</sub> (%) – erro padrão da estimativa.

O resultado encontrado no presente trabalho é próximo ao encontrado em outros estudos que investigam a contribuição de cada compartimento no valor total de biomassa para a *A. mangium*. Ilyas (2013) ao analisar a biomassa em dois plantios, ambos com sete anos de idade, sendo um em área após a mineração e outro sem mineração, encontrou valores próximos aos encontrados no presente estudo. Este autor afirma ainda que não encontrou diferença expressiva na distribuição de biomassa nos diferentes compartimentos nas duas áreas estudadas.

### 5.1.1 Biomassa da parte aérea da árvore

A biomassa da parte aérea para *A. mangium* é apresentada na Tabela 7. O fuste comercial concentra a maior parte da biomassa produzida na parte aérea, chegando a representar cerca 70%±1,3 do total, enquanto que os galhos e as folhas foram 23,62%±1,1 e 5,87%±0,3, respectivamente. Este resultado foi similar ao obtido por Ilyas (2013), em um plantio de *A. mangium*, aos sete anos de idade, para tronco (67%), galhos (19%) e folhas (14%).

**Tabela 7.** Estoque de biomassa (em Kg) para os compartimentos da parte aérea das árvores de *A. mangium* e suas respectivas contribuições (%) em relação ao total da parte aérea (N = 85 árvores).

Varável	Peso individual (Kg)			T = Tr+G+F	Tr:T	G:T	F:T
	Tr	G	F				
Média	221,12	57,44	15,40	293,96	70,51	23,62	5,87
S <sub>xy</sub>	22,44	4,55	1,38	26,88	1,29	1,14	0,34
S <sub>xy</sub> (%)	10,15	7,93	8,94	9,14	1,83	4,84	5,86
Incerteza (95%)	20,30	15,85	17,87	18,29	3,65	9,68	11,71

Em que: Tr – Tronco; G – Galhos; F – Folhas; T – Total; S<sub>xy</sub> – Erro Padrão; S<sub>xy</sub> (%) – erro padrão da estimativa

A proporção para o tronco obtido no presente estudo foi inferior ao encontrado por Costa et al. (2015), em um plantio de *A. mangium* aos 9 anos, em uma região de floresta ombrófila, na Amazônia Central, em que correspondeu a 83% da biomassa total. Enquanto que para os galhos foi de 13% e 5% para as folhas.

A distribuição da biomassa entre os compartimentos aéreos para a *A. mangium* apresentou valores próximos aos encontrados em outros trabalhos

com espécies diferentes. Para o plantio de *Eucalyptus benthamii* Maid and Camb., com 4 anos de idade e um espaçamento de 3 m x 2 m, a porcentagem de distribuição da biomassa foi: fuste – 74,9%; galhos – 15,2%; folhas – 7,1% (SILVA et al., 2004). Ribeiro et al. (2015), em um plantio de um híbrido de *Eucalyptus grandis*, com o espaçamento de 3 m x 3 m encontrou as seguintes proporções: fuste – 82%; galhos – 14%; e folhas 3,1%.

De acordo com vários autores, os melhores plantios florestais, com a finalidade energética, são aqueles que apresentam o maior investimento nos caules, como estratégia de distribuição de biomassa (PÉREZ et al., 2014; COSTA et al., 2015). Uma das principais justificativas é que este componente apresenta os menores teores de água e de cinza e maior densidade, melhorando o seu desempenho energético (COSTA et al., 2015). Assim, de modo geral, os plantios de *A. mangium*, no estado de Roraima, apresentam características satisfatórias à produção energética.

### 5.1.2 Biomassa abaixo do solo

A média de biomassa abaixo do solo por árvore em individual foi  $44,2 \pm 10,51\%$ . A estimativa da biomassa fresca abaixo do solo é de  $49,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Em relação ao recomendado por Péllico Netto e Brena (1997), o erro padrão associado a esta média foi relativamente alta. As raízes com diâmetro igual ou maior de 5 cm foram as que apresentaram maior concentração de biomassa em relação ao total abaixo do solo, representando  $71,3 \pm 3,45 \text{ kg}$  (Tabela 8).

**Tabela 8.** Estoque de biomassa (em Kg) de raízes mais grossas ( $D \geq 5 \text{ cm}$ ) e raízes menos grossas ( $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$ ) das árvores de *A. mangium* e suas respectivas contribuições em relação ao total das raízes.

Varável	Peso das raízes (Kg)		Total (T) = Ra+Rb	Ra:T	Rb:T
	$D \geq 5 \text{ cm}$ (Ra)	$2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$ (Rb)			
Média	32,8	11,4	44,2	71,35	28,65
Erro Padrão					
$S_{xy}(\%)$	10,51	8,42	9,79	1,72	4,29
Incerteza (95%)	21,01	16,85	19,57	3,45	8,59

Em que: Ra – Raiz com diâmetro  $\geq 5$  cm; Rb – Raiz  $2 \text{ mm} \leq D < 5$  cm; T – Total; Inc. – Incerteza;  $S_{xy}$  – Erro Padrão;  $S_{xy}(\%)$  – erro padrão da estimativa.

### 5.1.3 Relação entre a parte aérea e abaixo do solo

Na Tabela 9 são apresentadas as estimativas das médias para a biomassa acima (tronco, galhos e folhas) e abaixo do solo (Raízes com diâmetro  $\geq 5$  cm e as Raízes  $2 \text{ mm} \leq D < 5$  cm) e suas respectivas relações com a biomassa total da árvore individual. A biomassa acima do solo apresenta um valor médio de  $293,9 \pm 26,9$  kg enquanto que as raízes mais grossas e menos grossas apresentaram uma média de  $44,2 \pm 4,3$  kg, sendo que ambas apresentaram elevadas incertezas. Enquanto que ao relacionar as massas médias acima e abaixo do solo ao valor total (em Kg) da árvore foi possível alcançar baixas incertezas. Desta forma a parte aérea da *A. mangium* representa  $87\% \pm 0,69$  do valor total e as raízes  $12,8\% \pm 4,6$ .

**Tabela 9.** Relação entre a biomassa aérea e biomassa abaixo do solo para *A. mangium*.

Varável	Peso fresco total acima e abaixo		T = A + B	A:T	B:T
	do solo (Kg)				
	Acima (A)	Abaixo (B)			
N	85	85	85,0	85	85
Média	293,9	44,2	338,2	87,2	12,9
$S_{xy}$	26,9	4,3	31,1	0,3	0,3
$S_{xy}(\%)$	9,1	9,8	9,2	0,3	2,3
Incerteza (95%)	18,3	19,6	18,4	0,7	4,7

Em que: Acima – Tronco + galho + folhas; Abaixo – Raízes com diâmetro  $\geq 5$  cm + Raízes  $2 \text{ mm} \leq D < 5$  cm;  $S_{xy}$  – Erro Padrão;  $S_{xy}(\%)$  – erro padrão da estimativa.

Outros autores obtiveram resultados próximos aos obtidos no presente estudo para a biomassa acima e abaixo do solo. Barrichello et al. (2005), estudando a *Acacia mearnsii* Wild., sob diferentes idades, observaram que a biomassa acima do solo representou 87,5% e a biomassa abaixo do solo foi de 12% da biomassa total. No trabalho realizado por Jha (2015) foi encontrada uma taxa de 87,8-88,2% acima do solo e 11,7-12,7% abaixo do solo.

## 5.2 TEOR DE ÁGUA

A Tabela 10 apresenta o teor de umidade para os diferentes compartimentos de *A. mangium* para os povoamentos com 10 idades diferentes. Pelo fato de cada compartimento contribuir distintamente com a massa total de uma árvore, é recomendado que o teor médio de água seja ponderado (SILVA, 2007). A média ponderada para a biomassa total foi de  $43,1 \pm 2,1$ , com a incerteza de 4,16 (95%). O teor de água no tronco comercial foi de 40,16 enquanto que para as folhas foi de 67,15, ou seja, 32,8 de toda a biomassa da folhagem é matéria seca.

**Tabela 10.** Teor de água (em porcentagem) por compartimento e média ponderada para a *A. mangium*.

Partes da árvore	Teor de água médio	Contribuição em relação ao peso total	Teor de água ponderado
Tronco	40,16	61,4	2466,36
Galho	43,51	20,6	894,69
Folha	67,15	5,1	344,61
Raiz $\geq 5$ cm	46,49	9,2	426,30
Raiz $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$	46,95	3,7	174,72
Média ponderada			43,07
Erro Padrão			2,08
Incerteza (95%)			4,16

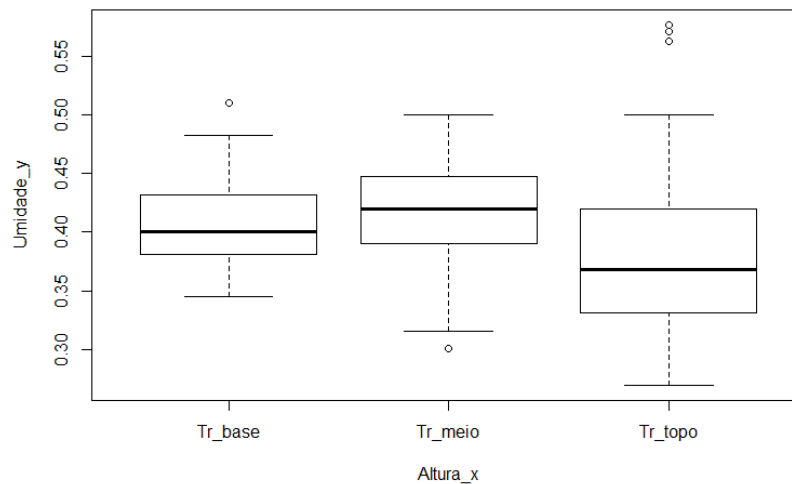
Para verificar a evidência de diferença entre o teor de água nas diferentes alturas do tronco e para as raízes com o diâmetro igual ou superior a 5 cm foram coletadas três amostras, sendo uma na base, no meio e no topo do fuste. A partir da análise de variância foi observada uma evidência muito forte de diferença ( $p < 0,00000$ ) entre os teores de água nas diferentes alturas do tronco (Tabela 11). Ao contrário dos resultados obtidos por Silva (2007), a Figura 6 demonstra que o teor do meio do tronco (a 50%) apresentou o maior teor, tendo o topo do tronco (a 100%) apresentado o menor valor. Desta forma, não é recomendável colher apenas uma amostra para determinar o teor de água do tronco comercial.

**Tabela 11.** Análise de Variância entre as médias de água para as diferentes alturas do tronco de *A. mangium* no Estado de Roraima.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P (>F)
-------------------	----	----	----	---	--------

Alturas do Tronco	2	0,0741	0,03703	14,59	0,0000001
Erro	252	0,6394	0,00254		
Total	254				

**Figura 6.** Quantidade média de água para as diferentes alturas do tronco de *A. mangium* no Estado de Roraima.



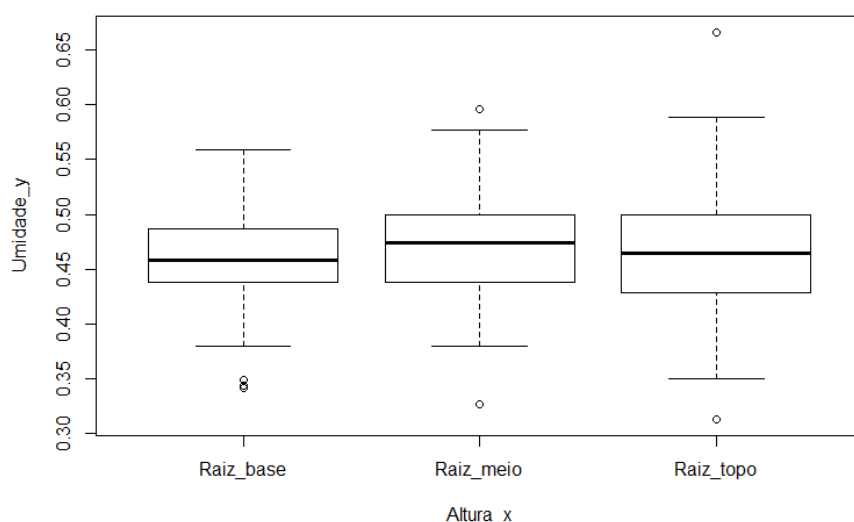
Na Tabela 12 é apresentada a análise de variância para os teores médios de água nas diferentes alturas das raízes mais grossas (diâmetro  $\geq 5$  cm) de *A. mangium*. Nesta análise foi verificado que existe fraca evidência ( $p = 0,04$ ) de que o teor de água aumente ao se distanciar da base (Figura 7). Desta forma, de acordo Silva (2007), é possível utilizar apenas uma amostra das raízes mais grossas para determinar o teor de água presente nestas raízes.

**Tabela 12.** Análise de variância entre as médias de água para as diferentes alturas das raízes com diâmetro  $\geq 5$  cm de *A. mangium* no Estado de Roraima.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	P (>F)
Alturas do Tronco	2	0,0049	0,002461	0,915	0,0402
Erro	228	0,6129	0,002688		
Total	230				



**Figura 7.** Médias da quantidade de água para as diferentes alturas das raízes com diâmetro  $\geq 5$  cm de *A. mangium* no Estado de Roraima.



### 5.3 TEOR DE CARBONO

As estimativas de carbono fixado na biomassa florestal podem ser obtidas por meio da multiplicação do valor da biomassa seca por um teor de carbono (DALLAGNOL et al, 2011). Já a estimativa de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) pode ser obtida multiplicando o valor de carbono por 3,67. No entanto, quando não se tem a informação da quantidade de carbono para a espécie de interesse, o Intergovernmental Painnel on Climate Change – IPCC (1996) recomenda o uso do fator 0,5 para converter biomassa seca em carbono. Porém, este valor pode superestimar ou subestimar os valores para os créditos de carbono em projetos que são baseados no uso dos recursos florestais. Desta forma, o mais recomendado é determinar o carbono para cada plantio, espécie, idade e classificação de sítio. Diante disto foi realizada a estimativa de carbono para os plantios de *A. mangium* de Roraima, levando em consideração a idade e cada compartimento.

A partir da ANOVA foi verificada uma fraca ou a inexistência de evidência de diferença (p-value  $> 0,1$ ) entre os teores de carbono nas três alturas no tronco (0%, 50% e 100%) (Tabela 13). Desta forma podemos utilizar uma única amostra para obter o teor de carbono do tronco. Enquanto que para as raízes  $\geq 5$  cm de diâmetro foi verificada uma forte evidência de diferença no

teor de carbono nas diferentes altura (0%, 50% e 100%) (Tabela 14). Assim, visando obter uma estimativa mais precisa do teor de carbono nas raízes, o mais correto é obter as três amostras.

**Tabela 13.** Anova entre os teores de carbono em função das diferentes alturas (0%, 50% e 100%) no tronco.

Fonte de Variação	GI	SQ	MQ	F	P
Alturas no Tronco	2	2,15	2,1519	2,24	0,143
Erro	37	35,54	0,9607		
Total	39				

**Tabela 14.** Anova entre os teores de carbono em função das diferentes alturas (0%, 50% e 100%) das raízes  $\geq 5$  cm de diâmetro.

Fonte de Variação	GI	SQ	MQ	F	p
Alturas na raiz	2	139	138,5	8,77	0,0055
Erro	35	553	15,8		
Total	37				

Visando verificar a influência da idade dos plantios no teor de carbono do tronco, galhos, folhas, raiz mais grossa (diâmetro  $\geq 5$  cm) e raízes menos grossa (raiz  $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ cm}$ ), foram utilizadas amostras de árvores do plantio mais jovem (7 anos), intermediário (16) e mais antigo (16 anos). A partir da ANOVA foi possível observar que a idade dos plantios tiveram pouca ou nenhuma influência (p-value  $> 0,10$ ) sobre o teor de carbono no tronco, galhos, folhas e raiz  $\geq 5$  cm (Tabela 15). No entanto, existe forte evidência (p-value  $< 0,00$ ) de que o teor de carbono das raízes menos grossas aumenta conforme a idade do plantio, ou seja, quanto mais antigo for o plantio maior será a concentração de carbono (Tabela 15).

**Tabela 15.** Anova entre os teores de Carbono para as diferentes partes da árvore em função da idade.

Parte da árvore	Fonte de Variação	GL	SQ	MQ	F	p
Tronco	Idade	2	0,9	0,8968	0,902	0,348
	Erro	37	36,8	0,9946		
	Total	39				
Galhos	Idade	2	0,117	0,117	0,194	0,668
	Erro	11	6,619	0,6017		
	Total	13				

Folhas	Idade	2	0,0006	6E-04	0,001	0,97
	Erro	11	4,16	0,378		
	Total	13				
Raiz $\geq 5$ cm	Idade	2	27,3	27,26	1,436	0,239
	Erro	35	664,1	18,98		
	Total	37				
Raiz $2 \text{ mm} \leq D < 5$ cm	Idade	2	4,04	4,04	18,18	0,001
	Erro	11	2,45	0,22		
	Total	13				

Corroborando com o resultado obtido no presente estudo, Jha (2015), em um plantio de *Tectona grandis*, concluiu que esta espécie tende a estabilizar o aumento do teor de carbono aos sete anos de idade. Resultado similar foi observado por Kusumawati et al. (2010), em que as árvores com um grande DAP e biomassa e relação as árvores de menor DAP e biomassa, não apresentou elevado teor carbono. Desta forma podemos afirmar que os plantios de acácia em estudos podem estar com o seu teor de carbono estabilizado, uma vez que não houve alteração significativa no teor de carbono entre os plantios de 7, 12 e 16 anos de idade.

Em relação às idades dos plantios, foi possível afirmar que os teores de carbono obtidos no presente estudo são consistentes e homogêneos para as diferentes partes da árvore. Esta mesma tendência à homogeneidade foi observado por Silva (2007). Desta forma é seguro utilizar o teor de Carbono médio para o tronco ( $48,52 \pm 0,65$ ), galhos ( $49,60 \pm 0,80$ ), folhas ( $52,66 \pm 0,60$ ), raízes  $\geq 5$  cm de diâmetro ( $43,56 \pm 3,26$ ) e Raiz  $2 \text{ mm} \leq D < 5$  cm ( $49,78 \pm 0,79$ ) (Tabela 16). Além de que a incerteza associada a estas médias são muito pequenas.

**Tabela 16.** Teor de Carbono para as diferentes partes de árvores de *A. mangium*, em área de savana, em Roraima.

	Tronco	Galho	Folha	Raiz $\geq 5$ cm	Raiz $2 \text{ mm} \leq D < 5$ cm
Teor de C – 7 anos	48,77	49,31	52,89	44,95	49,05
Teor de C – 12 anos	48,52	50,20	52,34	43,66	49,53
Teor de C – 16 anos	48,37	49,17	52,85	42,65	50,48
N	39	13	13	37	13
Média	48,52	49,60	52,66	43,56	49,78
$S_{xy}(\%)$	0,32	0,40	0,30	1,63	0,39

Incerteza (95%)	0,65	0,80	0,60	3,26	0,79
-----------------	------	------	------	------	------

Os teores médios de carbono para os diferentes compartimentos obtidos no presente trabalho (Tabela 16) foi superior aos encontrados por outros autores. Ribeiro et al. (2015) para *Eucalyptus grandis*, com 5,5 anos, observou os seguintes teores carbono: Folhas 46,1; Caule 44,6; Galhos 43,0; e Raízes 37,8. Saidelles et al. (2009), estudando os teores de *Acacia mearnsii* Wild., com 4 anos de idade, encontraram os seguintes valores para cada compartimentos: folha 45,8; madeira 42,13; galho vivo 41,39 e raiz 41,92. Dallagnol et al. (2011) avaliando o teor de carbono para *Araucaria angustifolia* (variando entre 14 e 31 anos) e *Eucalyptus grandis* (variando entre 8 e 20 anos), encontraram para folha 45,27 e 48,17, tronco 45,25 e 42,61, galhos 44,46 e 42,06 e raízes 43,35 e 42,20, respectivamente.

No entanto, devido cada compartimento representar proporções diferentes em relação ao peso total da árvore, foi calculado o valor médio ponderado do carbono. Desta forma, o valor médio ponderado para a *A. mangium*, cultivada em área de savana em Roraima, é de  $48,55 \pm 3,1$  (Tabela 17). Este valor se encontra dentro do limite de confiança sugerido pelo IPCC.

**Tabela 17.** Teor médio de Carbono por compartimento e a média ponderada para a *A. mangium*.

Partes da árvore	Teor de Carbono	Contribuição em relação ao peso total	Teor de Carbono ponderado
Tronco	48,52	0,614	29,80
Galho	49,60	0,206	10,20
Folha	52,66	0,051	2,70
Raiz $\geq$ 5 cm	43,56	0,092	3,99
2 mm < Raiz > 5 cm	49,78	0,037	1,85
Média geral			48,55
Erro Padrão			3,10
Erro Padrão (%)			6,39

O valor do teor médio de carbono encontrado no presente trabalho é similar aos obtidos em outros estudos, tanto em florestas nativas quanto em plantios florestais. BEHLING et al. (2014), em um experimento com um ano de idade, observou um teor médio de carbono de 49,06% para *Acacia mearnsii*, 47,62% para *Mimosa scabrella* e 46,58% para *Eucalyptus grandis*.

Higuchi e Carvalho Junior. (1994), ao estudar a fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia, observou uma média de 48,00%. Valor semelhante também foi encontrado por Silva (2007) (48,5%) para uma área de floresta na Amazônia central. Desta forma podemos verificar que o plantio de acácia do estado de Roraima possui alto valor médio de carbono, apresentando alto potencial para a comercialização do carbono.

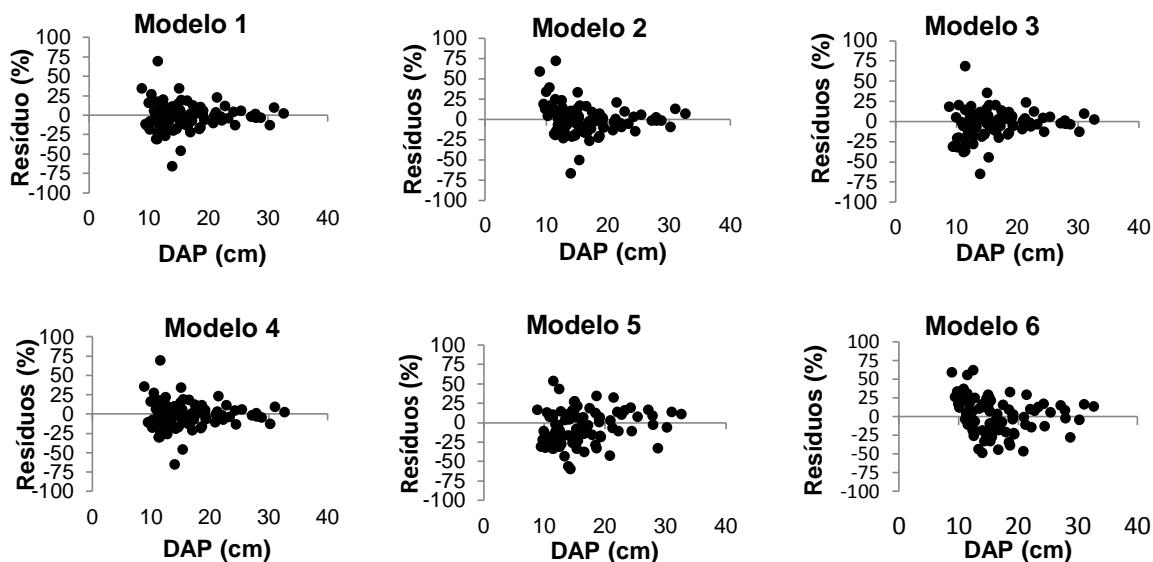
#### 5.4 EQUAÇÕES PARA BIOMASSA

A distribuição dos dados de biomassa atenderam ao pressuposto de normalidade pelo teste K-S (p-value = 0,061). As estimativas dos parâmetros e a precisão das equações alométricas desenvolvidas para estimar a biomassa total fresca estão apresentadas na Tabela 18. Os valores para a estatística F apresentada para as seis equações para biomassa fresca foram altamente significativos (p - value  $\leq$  0,0000). Os coeficientes de determinação e de correlação variaram de 0,92 a 0,97 e 0,96 a 0,99, respectivamente. As incertezas associadas às equações foram relativamente baixas, estando todas abaixo de 5,1 (ao nível de confiança de 95%).

**Tabela 18.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para estimar a Biomassa fresca total de *A. mangium* em Roraima.

Modelo	B	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>yx</sub> (%)	Inc (95%)
1	$\beta_0$	0,4103		0,96	0,99	54,06	1,73	3,40
	$\beta_1$	2,3315						
2	$\beta_0$	-60,7206	0,00000	0,96	0,98	56,97	1,83	3,58
	$\beta_1$	1,3039	0,00000					
3	$\beta_0$	120,9697	0,04499	0,96	0,98	54,22	1,74	3,41
	$\beta_1$	-20,2471	0,00262					
	$\beta_2$	1,8104	0,00000					
4	$\beta_0$	0,4049		0,97	0,99	54,36	1,74	3,42
	$\beta_1$	2,3166						
	$\beta_2$	0,0221						
5	$\beta_0$	63,0646	0,00000	0,92	0,96	79,76	2,56	5,01
	$\beta_1$	0,0640	0,00000					
6	$\beta_0$	0,2968		0,92	0,97	81,03	2,60	5,09
	$\beta_1$	0,8460						

**Figura 8.** Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações para biomassa fresca total para as 85 árvores de *A. mangium*.



A variável DAP foi altamente significativa ( $p\text{-value} > 0,0000$ ) a 95% de probabilidade em todas as equações ajustadas. A partir da adição da variável altura comercial não proporcionou uma melhora expressiva na precisão do ajuste no modelo 4. Para os modelos 5 e 6, embora tenha sido significativa ( $p\text{-value} > 0,0000$ ), a altura comercial não influenciou positivamente a precisão no ajuste dos dados observados para a biomassa fresca total.

A altura pode não ter aumentado a precisão das equações pelo fato dos plantios apresentarem idades e classificações de sítios diferentes, o que pode influenciar na forma da árvore, alterando a alocação de biomassa em diferentes compartimentos. Resultado similar foi encontrado por Soares e Oliveira (2002), em que sugeriram a inclusão de variáveis relacionadas ao tamanho das copas, para modelos que estimam a quantidade de carbono total de folhas presente em árvores de eucalipto.

Desta forma a equação de simples entrada (DAP) que apresentou o melhor ajuste para os dados de biomassa fresca total observados foi a desenvolvida a partir do Modelo 1 (Husch). Esta equação apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação e de correlação ( $R^2 = 0,96$  e  $R = 0,99$ ), menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx} (\%) = 1,73$ ), menor incerteza (3,40). Conforme a Figura 8, o Modelo 1 apresentou boa distribuição de resíduo, sem tendenciosidade. Assim, é recomendado utilizar a seguinte

equação para gerar estimativas de biomassa fresca para os plantios de *A. mangium* em áreas de savana em Roraima:

$$M = 0,4103 * DAP^{2,3315}; R^2 = 0,96; S_{YX}(\%) = 1,73; Incerteza (95\%) = 3,4.$$

Em relação aos compartimentos, foram ajustadas 6 equações, as quais estão dispostas nos apêndices 2, 3, 4, 5 e 6 e as suas respectivas distribuições gráficas dos resíduos nos apêndices 7, 8, 9, 10 e 11. Na tabela 19 estão listadas as equações que apresentaram melhores ajustes para a biomassa acima e abaixo do solo, tronco, galhos e folhas.

As equações para biomassa acima, abaixo do solo e tronco apresentaram alto valor para o coeficiente de determinação (0,96, 0,91 e 0,96, respectivamente) e baixas incertezas (3,46, 5,75 e 4,0, respectivamente). Enquanto que os galhos ( $R^2$  aj = 0,53) e folhas ( $R^2$  aj = 0,67) apresentaram fraco ajuste. As baixas precisões apresentadas nas equações para galhos e folhas podem ter sido influenciadas pela heterogeneidade na alocação da biomassa nas árvores situadas em diferentes classificações de sítio.

**Tabela 19.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos de Husch, utilizando o DAP como variável independente, ajustados estimar a Biomassa fresca dos diferentes compartimentos de *A. mangium* em Roraima.

Compartimento	$\beta$	Estimativa	$R^2$ aj.	R	Syx (Kg)	Syx (%)	Incerteza (95%)
Acima	$\beta_0$	0,365953	0,96	0,98	47,82	1,76	3,46
	$\beta_1$	2,322782					
Abaixo	$\beta_0$	0,045404	0,91	0,96	11,95	2,93	5,75
	$\beta_1$	2,388124					
Tronco	$\beta_0$	0,158717	0,96	0,98	41,58	2,04	4,00
	$\beta_1$	2,508074					
Galhos	$\beta_0$	0,571717	0,53	0,84	28,69	5,41	10,62
	$\beta_1$	1,616434					
Folhas	$\beta_0$	0,043876	0,67	0,87	7,34	5,17	10,1
	$\beta_1$	2,036547					

No trabalho realizado por Ilyas (2013), foi utilizado o modelo não linear de Husch, para estimar a biomassa seca de árvores individuais de *A. mangium* em povoamentos com diferentes idades. Este autor verificou uma alta relação entre o DAP e a biomassa, em que as equações alométricas foram: para o

tronco  $Y = 0,4668 X^{1,8287}$  ( $R^2 = 0,98$ ); para os galhos  $Y = 0,078 X^{2,0038}$  ( $R^2 = 0,95$ ); e para a folha  $Y = 0,0648 X^{1,9348}$  ( $R^2 = 0,95$ ). A equação alométrica ajustada para explicar a relação entre o DAP e a biomassa seca abaixo do solo, por Kusumawati et al. (2010), foi  $Y = 0,019 X^{2,509}$  ( $R^2 = 0,929$ ). Vélez e Valle (2007), na Colômbia e Purwitasari (2011), em Bogor, Indonésia, ambos utilizando este mesmo modelo, também obtiveram bom ajuste para biomassa de acácia.

Ao final foi possível observar que o modelo de Husch foi o mais eficiente em estimar a biomassa para todos os compartimentos de *A. mangium* no estado de Roraima. Este modelo não linear vem sendo um dos mais utilizados na estimativa de biomassa pelo fato das plantas crescerem sempre mantendo as proporções entre as diferentes partes (ILYAS, 2013; JHA, 2015). Neste sentido o presente estudo está de acordo com vários outros trabalhos que visam estimar a biomassa florestal.

## 5.5 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS

### 5.5.1 Análise paramétrica dos dados para volume

A Tabela 20 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros dendrométricos das árvores-amostras utilizadas para ajustar as equações volumétricas. Estes dados foram coletados nos plantios com idade variando de sete a dezesseis anos, distribuídos nas três classificações de sítio. Para este trabalho, foi considerada a classificação de sítio utilizada pela empresa FIT manejo florestal, a qual foi realizada com base na altura dominante de cada talhão, sem levar em consideração a idade do plantio.

O diâmetro a altura do peito das 221 árvores-amostra utilizadas para a análise volumétrica variaram de 8,9 a 38 cm, com uma média de  $17,8 \pm 0,1$  cm. A média da altura comercial e total do plantio foi de  $12,1 \pm 0,1$  metros e  $17,2 \pm 0,2$  metros, respectivamente. O volume médio obtido no presente estudo foi de  $0,224 \pm 0,004$ .

**Tabela 20.** Estatística descritiva das árvores-amostra de *A. mangium*, cultivadas em área de savana, no estado de Roraima.

Idade	DAP	HC	HT	Volume
-------	-----	----	----	--------



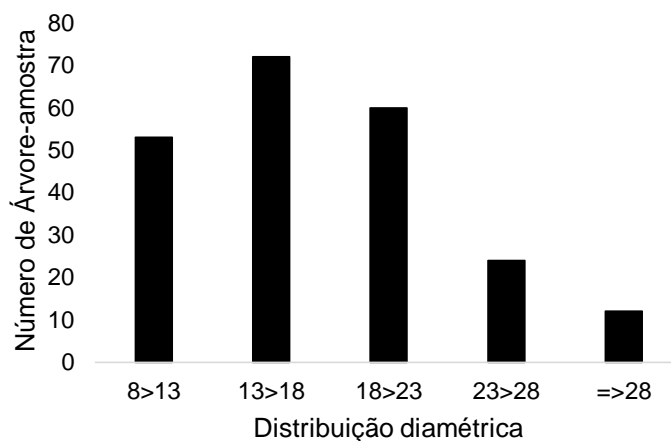
	N	Mín	Máx	$\bar{x}$	Mín	Máx	$\bar{x}$	Mín	Máx	$\bar{x}$	Mín	Máx	$\bar{x}$
7	16	8,9	25,7	16,9	4,5	19,3	13,3	11,5	23,7	18,7	0,04	0,55	0,24
8	24	9,4	32,0	16,1	2,4	21,4	12,9	11,5	27,1	19,1	0,02	1,04	0,22
9	24	10,2	23,1	15,2	5,9	16,8	10,5	11,5	21,7	17,2	0,04	0,35	0,14
10	8	10,0	28,8	16,4	8,3	23,9	15,9	17,5	28,3	23,0	0,06	0,67	0,24
11	8	9,5	24,3	16,4	5,0	15,1	11,7	13,6	20,7	18,5	0,03	0,32	0,18
12	13	11,3	32,7	16,7	4,2	17,7	10,0	11,4	23,0	16,4	0,04	0,75	0,20
13	32	9,8	29,3	17,9	3,4	21,7	12,8	10,6	25,0	17,8	0,03	0,71	0,23
14	32	10,5	25,9	16,9	5,0	17,2	10,3	8,3	24,6	14,6	0,04	0,50	0,16
15	32	10,5	38,0	21,4	6,0	18,4	13,7	11,4	21,5	17,5	0,04	1,34	0,36
16	32	10,7	33,1	19,7	6,7	18,1	11,8	9,9	24,0	15,5	0,06	0,95	0,27
Total	<b>221</b>	8,9	38	17,8	2,4	23,9	12,1	8,3	28,3	17,2	0,02	1,34	0,23
Média		10,1	29,3	17,4	5,1	18,9	12,3	11,7	24,0	17,8	0,04	0,72	0,22
Erro Padrão		0,05	0,31	0,1	0,1	0,18	0,1	0,2	0,16	0,2	0,00	0,02	0,004
Inc. (95%)		0,9	2,15	1,4	4,4	1,89	2	2,8	1,36	1,8	4,1	6	3,7

Onde: N – número de árvores mensuradas; Mín – valor mínimo; Máx – valor máximo encontrado;  $\bar{x}$  - valor médio; HC – altura comercial; e HT – altura total; Inc. (95%) – Incerteza a 95% de confiança.

No estudo realizado por Costa et al. (2015), em um plantio de *A. mangium*, com 9 anos de idade, no estado do Amazonas, foi obtido um valor superior aos obtidos no presente estudo para o DAP ( $22,8 \pm 6,5$  cm) e para o volume médio foi de  $0,2320 \pm 0,0130$  m<sup>3</sup>. No entanto este mesmo autor encontrou resultado similar para a altura total ( $17,3 \pm 2,1$  m).

A distribuição diamétrica apresentou-se de forma parecida com uma distribuição normal (Figura 9). A partir do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, para uma amostra, foi verificado que o grupo de dados para DAP e volume não se adequaram a distribuição normal (p-value < 0,00000). Os resultados para os testes de normalidade para a distribuição diamétrica e volumétrica obtidos no presente trabalho corrobora com os encontrados por Schröder et al. (2013). A distribuição normal pode ter sido influenciada pelo diâmetro mínimo estabelecido por este estudo, que foi de 8 cm. No entanto com base no teorema do limite central (para amostras  $\geq 30$ ), podemos assumir que a média é normalmente distribuída (HIGUCHI et al., 2008). Assim podemos afirmar que as incertezas associadas às equações são consistentes.

**Figura 9.** Distribuição diamétrica das 221 árvores-amostras de *A. mangium* para a análise volumétrica do plantio em área de savana em Roraima



### 5.5.2 Equações para os diferentes grupos de dados

Os valores para a estatística F apresentada pelas seis equações foram altamente significativos ( $p\text{-value} \leq 0,00000$ ). Conforme a Tabela 21, as equações volumétricas desenvolvidas para o sítio I apresentaram alto  $R^2$  ajustado (variou de 0,96 a 0,87), forte correlação entre a variável dependente e as independentes (de 0,98 a 0,93). Todos os modelos apresentaram o erro padrão e a incerteza abaixo de 3% e 6%, respectivamente, ou seja, dentro do limite de 10% recomendado por Péllico Netto e Brena (1997). Os modelos que utilizaram o DAP e HC ou a combinação de ambas apresentaram as melhores distribuições gráficas dos resíduos (Figura 10).

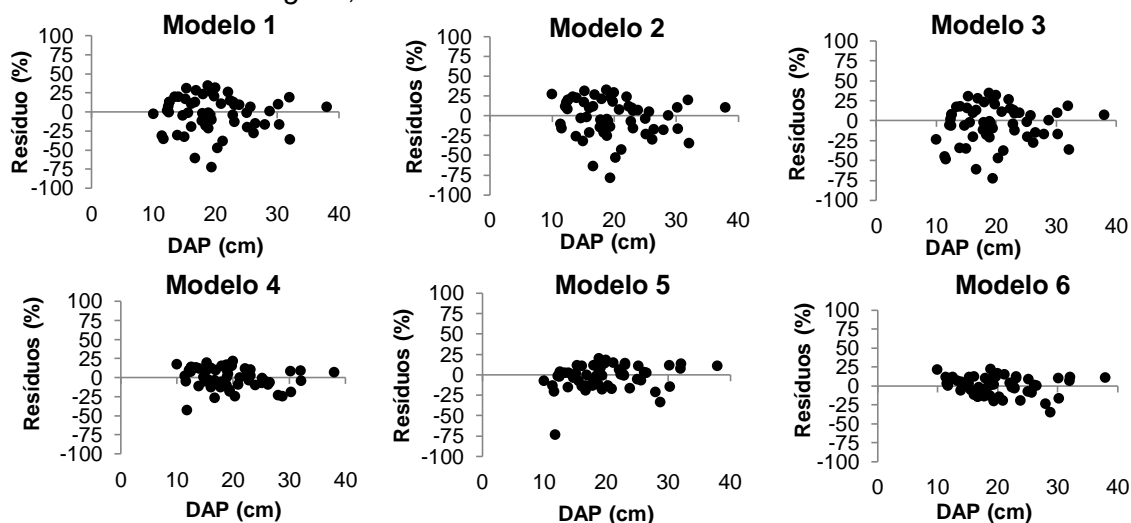
Embora todas as equações tenham apresentado resultados satisfatórios para gerar estimativas confiáveis de volume comercial para o sítio I, alguns trabalhos afirmam que o custo e a dificuldade para a obtenção da variável independente é um dos aspectos mais relevante para a escolha do melhor modelo (SILVA, 2006; LIMA, 2010). Em comparação ao DAP, a altura é uma variável de difícil mensuração (KRISNAWATI et al., 2011). Neste sentido, para a classe de sítio I, é preferível utilizar a equação de simples entrada de Husch (Modelo 1), que utilizaram o DAP como variável independente.

**Tabela 21.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 58 árvores de *A. mangium* pertencentes à classe de sítio I.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	$R^2$ aj	R	$S_{yx}$ (m <sup>3</sup> )	$S_{yx}$ (%)	Incerteza (95%)
--------	---------	------------	---------	----------	---	----------------------------	--------------	-----------------

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>yx</sub> (%)	Incerteza (95%)
1	$\beta_0$	0,00032		0,911	0,967	0,073	3	5,88
	$\beta_1$	2,27747						
2	$\beta_0$	-0,04379	0,02090	0,906	0,952	0,075	3,1	5,998
	$\beta_1$	0,00086	0,00000					
3	$\beta_0$	0,08001	0,41434	0,907	0,954	0,075	3	5,962
	$\beta_1$	-0,01201	0,20045					
	$\beta_2$	0,00113	0,00000					
4	$\beta_0$	0,00011		0,962	0,986	0,048	2	3,856
	$\beta_1$	2,06103						
	$\beta_2$	0,62975						
5	$\beta_0$	0,02617	0,02520	0,95	0,975	0,054	2,2	4,332
	$\beta_1$	0,00004	0,00000					
6	$\beta_0$	0,00008		0,95	0,982	0,055	2,2	4,397
	$\beta_1$	0,93968						

Figura 10. Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 58 árvores de *A. mangium*, oriundas da classe de sítio I.



As equações com suas respectivas estatísticas apresentadas na Tabela 22 foram desenvolvidas a partir do grupo de dados volumétricos para as árvores coletadas no sítio florestal II. Em relação à estatística F, os valores para as seis equações foram altamente significativos ( $p\text{-value} \leq 0,00000$ ). Para este sítio, o modelo com apenas o DAP como variável independente, que apresentou melhores resultados para o ajuste da equação volumétrica foi o de

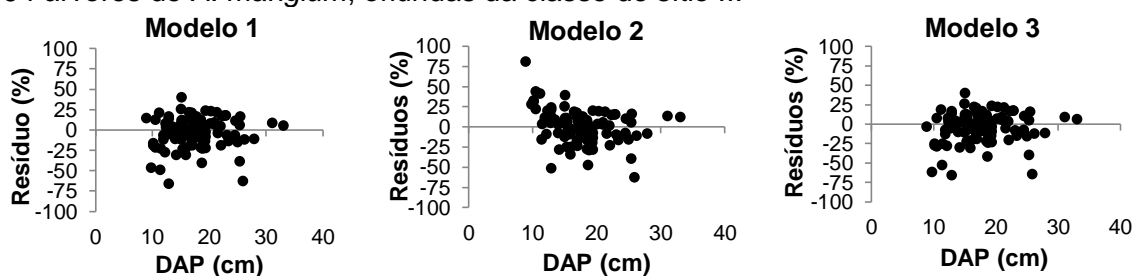
HUSCH (Modelo 1). Neste modelo obteve-se o melhor resultado tanto para o coeficiente de determinação (0,93) quanto para o erro padrão da estimativa (2,0%), com uma incerteza relacionada ao modelo de 3,9%. A partir da análise gráfica dos resíduos para os modelos 1, 2 e 3, é possível verificar que não houve diferença expressiva (Figura 11).

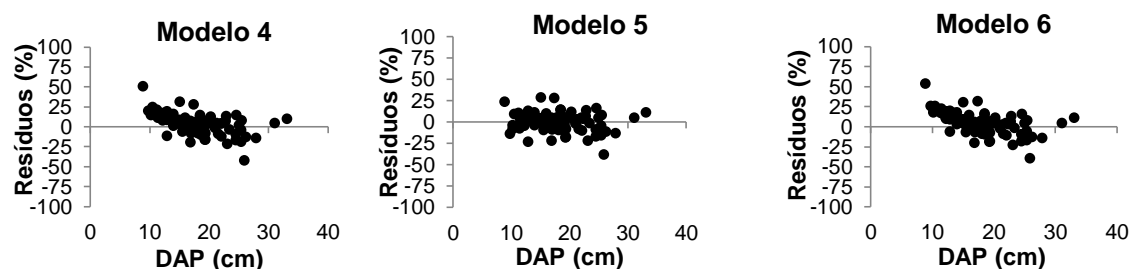
Os valores do coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e a incerteza foram semelhantes para as três equações que tem o DAP e HC como variáveis dependentes. No entanto, conforme a análise gráfica para estas três equações, os modelos 4 e 6 tendem a subestimar as árvores com menor diâmetro. Desta forma é sugerido a utilização da equação linear de Spurr (Modelo 5), pois esta foi o que apresentou a melhor distribuição dos resíduos (Figura 11).

**Tabela 22.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 94 árvores de *A. mangium* pertencentes à classe de sítio II.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj.	R	S <sub>yx</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>yx</sub> (%)	Incerteza (95%)
1	$\beta_0$	0,00015		0,931	0,976	0,043	2,0	3,913
	$\beta_1$	2,49352						
2	$\beta_0$	-0,05708	0,00000	0,923	0,961	0,045	2,1	4,111
	$\beta_1$	0,00082	0,00000					
3	$\beta_0$	0,07668	0,13088	0,928	0,964	0,043	2,0	3,977
	$\beta_1$	-0,01454	0,00817					
	$\beta_2$	0,00119	0,00000					
4	$\beta_0$	0,00007		0,963	0,987	0,031	1,5	2,856
	$\beta_1$	2,00667						
	$\beta_2$	0,86199						
5	$\beta_0$	0,01453	0,00540	0,965	0,982	0,031	1,4	2,768
	$\beta_1$	0,00005	0,00000					
6	$\beta_0$	0,00006		0,963	0,987	0,031	1,5	2,859
	$\beta_1$	0,97008						

**Figura 11.** Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 94 árvores de *A. mangium*, oriundas da classe de sítio II.



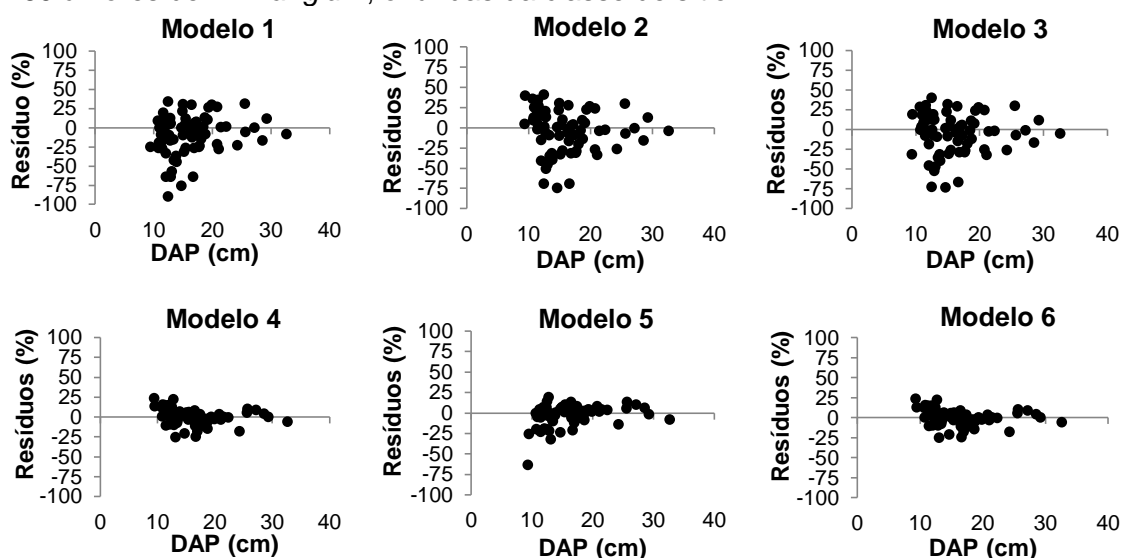


Na área classificada como sítio III foram cubadas 69 árvores de *A. mangium*, a partir das quais os dados foram ajustados para as equações volumétricas. As seis equações apresentaram o valor da estatística F altamente significativa ( $p\text{-value} \leq 0,00000$ ). Todas as equações apresentaram o erro padrão da estimativa abaixo de 10% (Tabela 23). A distribuição dos resíduos de todas as equações volumétricas geradas para o Sítio III estão apresentadas na Figura 12. A equação não linear com a variável combinada de Spurr apresentou o menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx} = 0,016 \text{ m}^3$ ). Entretanto, considerando a dificuldade na coleta das variáveis independentes a equação de simples entrada de Husch (Modelo 1) merece destaque.

**Tabela 23.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para as 69 árvores de *A. mangium* pertencentes à classe de sítio III.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	$R^2$ aj.	R	$S_{yx}$ ( $\text{m}^3$ )	$S_{yx}$ (%)	Incerteza (95%)
1	$\beta_0$	0,00018		0,92	0,964	0,045	3,1	6,15
	$\beta_1$	2,41112						
2	$\beta_0$	-0,05029	0,00000	0,92	0,961	0,044	3,1	5,94
	$\beta_1$	0,00078	0,00000					
3	$\beta_0$	-0,01481	0,79883	0,92	0,961	0,045	3,1	6,07
	$\beta_1$	-0,00398	0,53617					
	$\beta_2$	0,00088	0,00000					
4	$\beta_0$	0,00013		0,99	0,995	0,052	3,6	7,12
	$\beta_1$	1,77003						
	$\beta_2$	0,88966						
5	$\beta_0$	0,02298	0,00000	0,99	0,993	0,134	9,3	18,23
	$\beta_1$	0,00004	0,00000					
6	$\beta_0$	0,00013		0,99	0,995	0,016	1,1	2,23
	$\beta_1$	0,88641						

**Figura 12.** Distribuição dos resíduos obtida a partir das equações volumétricas para as 69 árvores de *A. mangium*, oriundas da classe de sítio III.



Na Tabela 24 estão apresentados os parâmetros estatísticos das equações desenvolvidas a partir do Modelo 1 (Husch) para ajustar os dados volumétricos para os grupos de dados de acordo com a idade dos povoamentos. Todas as equações foram altamente significativas ( $p\text{-value} > 0,0000$ ). O coeficiente de determinação ajustado variou de 0,86 a 0,99. O erro padrão da estimativa (%) e a incerteza (95%) variaram de 1,98 a 6,37 e 3,9 a 12,5, respectivamente. Desta forma estas equações podem ser utilizadas para estimar o volume comercial de *A. mangium*, conforme a idade do povoamento, no estado de Roraima.

**Tabela 24.** Estatísticas das equações desenvolvidas a partir de diferentes grupos de dados para o modelo de Husch.

Grupo de Dados	N	Coeficientes		R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	Inc. (95%)
		$\beta_0$	$\beta_1$					
7 anos	16	0,000299	2,3342	0,90	0,97	0,05	5,26	10,3
8 anos	24	0,000181	2,5032	0,96	0,98	0,042	3,89	7,6
9 anos	24	0,000177	2,4292	0,89	0,97	0,029	4,19	8,2
10 anos	8	0,000663	2,0619	0,99	0,99	0,013	1,98	3,9
11 anos	8	0,001108	1,8008	0,90	0,98	0,032	6,37	12,5
12 anos	13	0,000215	2,3468	0,98	0,99	0,025	3,61	7,1
13 anos	32	0,000157	2,4895	0,91	0,97	0,048	3,7	7,3
14 anos	32	0,000243	2,2749	0,87	0,96	0,037	4,05	7,9
15 anos	32	0,000153	2,4871	0,96	0,98	0,052	2,6	5,1
16 anos	32	0,000132	2,5093	0,93	0,97	0,059	3,79	7,4

Para todos os diferentes grupos de dados analisados neste trabalho, exceto para o sítio III, o modelo que apresentou o melhor desempenho foi o de Husch, por apresentar as melhores estatísticas e menor dificuldade para a obtenção da variável independente. Este resultado corrobora com outros trabalhos desenvolvidos para árvores individuais de *A. mangium* (VELEZ; VALE, 2007; PURWITASARI, 2011; ILYAS, 2013). Resultado diferente foi encontrado por Veiga et al. (2000), ao selecionar a equação linear de Meyer modificada ( $v = \beta_0 + \beta_1d + \beta_2d^2 + \beta_3dh + \beta_4d^2h$ ) para estimar os volumes totais e comerciais, com e sem casca, para árvores de *A. mangium*, aos sete anos.

Velez e Vale (2007), a partir do modelo de Husch, desenvolveram a seguinte equação volumétrica para um plantio de *A. mangium* aos 9 anos de idade, na Colômbia:  $V_i = 0,000086 * DAP_i^{2,747}$ ;  $R^2 = 0,99$ ;  $n = 33$ . A precisão obtida na equação desenvolvida por este autor foi superior às encontradas no presente trabalho a partir do modelo de Husch, exceto para o grupo de dados denominado “10 anos” (Tabela 24).

O agrupamento dos dados pode ter influenciado na precisão das equações, sendo oriundos de plantios com diferentes classificações de sítio, embora sejam da mesma idade. A formação do plantio a partir de semente de diferentes procedências também pode ter corroborado com a heterogeneidade dentro dos povoamentos da mesma idade e classificação de sítio.

Diante disto, foram ajustadas equações utilizando todos os dados volumétricos coletados, ou seja, uma amostra de 221 árvores, distribuídas em todas as diferentes idades e classificações de sítio. Na Tabela 25 são apresentados os valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para estes dados ( $n = 221$  árvores). Na Figura 13 são apresentados os gráficos de distribuição dos resíduos para as equações volumétricas.

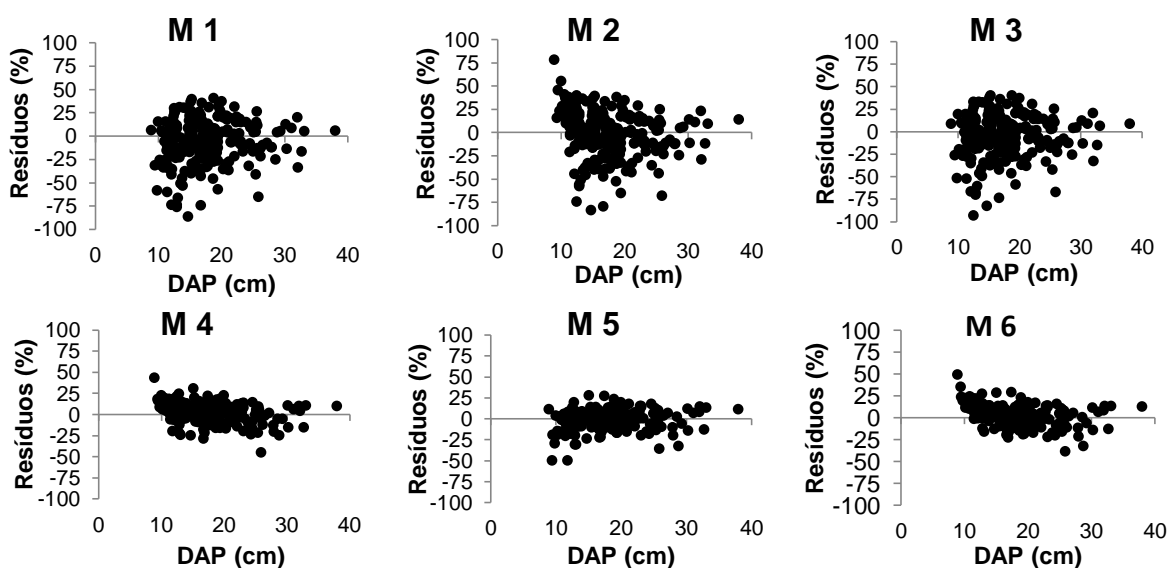
**Tabela 25.** Valores dos coeficientes de regressão e as estatísticas dos modelos ajustados para 221 árvores de *A. mangium*, distribuídas em todas as diferentes idades e classificações de sítio.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	$R^2$ aj	R	Syx (m <sup>3</sup> )	Syx (%)	Incerteza (95%)
1	$\beta_0$	0,000185		0,92	0,97	0,055	1,584	3,105
	$\beta_1$	2,426955						
2	$\beta_0$	-0,057890	0,0000	0,92	0,96	0,056	1,622	3,180
	$\beta_1$	0,000841	0,0000					

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	$R^2$ aj	R	Syx (m <sup>3</sup> )	Syx (%)	Incerteza (95%)
3	$\beta_0$	0,047708	0,1973	0,92	0,96	0,055	1,595	3,127
	$\beta_1$	-0,011149	0,0039					
	$\beta_2$	0,001109	0,0000					
4	$\beta_0$	0,000090		0,97	0,99	0,034	0,999	1,957
	$\beta_1$	2,020052						
	$\beta_2$	0,741242						
5	$\beta_0$	0,019811	0,00000	0,97	0,98	0,036	1,031	2,021
	$\beta_1$	0,000044	0,00000					
6	$\beta_0$	0,000082		0,96	0,98	0,036	1,051	2,060
	$\beta_1$	0,939028						

Em que:  $S_{yx}$  (m<sup>3</sup>) e  $S_{yx}$  (%) foram corrigidos para as equações logarítmicas

**Figura 13.** Distribuição dos resíduos obtida a partir dos modelos volumétricos para as 221 árvores de *A. mangium*, distribuídas em todas as diferentes idades e classificações de sítio.



Conforme a Tabela 25, os modelos de dupla entrada apresentaram estimativas ligeiramente mais precisas. Entretanto, todas as equações geraram ótimas estimativas para volume comercial. Sendo que estas equações conseguem explicar de 92% a 97% ( $R^2$  aj.) da variação entre as variáveis, com uma alta relação (R) das variáveis independente em função da dependente (variando de 0,99 a 0,96). Estas equações desenvolvidas a partir de todos os dados (todas as árvores,  $n = 221$ ) apresentaram grau de incerteza (de 1,9% a 3,1%) do que as equações desenvolvidas pelo agrupamento de dados apresentadas anteriormente (Sítio I,  $n = 58$ ; Sítio II,  $n = 94$ ; Sítio III,  $n = 69$ ; 7



anos, n = 16; 8 anos, n = 24; 9 anos, n = 24; 10 anos, n = 8; 11 anos, n = 8; 12 anos, n = 13; 13 anos, n = 32; 14 anos, n = 32; 15 anos, n = 32; 16 anos, n = 32).

Levando em consideração à distribuição residual (Figura 13) e a dificuldade na obtenção das variáveis em campo, é recomendado a utilização da equação desenvolvida a partir do modelo 1 (Husch) para gerar estimativas de volume comercial para os plantios de *A. mangium* em áreas de savana no estado de Roraima. Isto pelo fato desta equação ter apresentado a melhor precisão ( $V = 0,000185 * DAP^{2,42695}$ ;  $R^2 = 0,92$ ;  $S_{yx}(\%) = 1,6$ ;  $Incerteza = 3,1\%$ ), distribuição dos resíduos sem tendenciosidade e de fácil obtenção da variável dependente (DAP). Outro fator determinante para a recomendação da utilização desta equação é a praticidade na aplicação aos dados de inventário florestal para gerar estimativas confiáveis, com baixa incerteza, independente da idade ou da classificação de sítio.

## CONCLUSÃO

O fuste é o componente da árvore com a maior quantidade de biomassa, seguido dos galhos. O teor de carbono para a *A. mangium* pode ser utilizado em projetos voltados a mudanças climáticas. As equações desenvolvidas são capazes de gerar estimativas precisas do estoque de biomassa fresca e do volume comercial para os plantios de *A. mangium*, na área de savanas de Roraima. Assim as informações obtidas no presente estudo podem servir como base para o planejamento e a gestão de florestas plantadas em Roraima tanto para as empresas privadas quanto para os órgãos de fiscalização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**. 2013. Anuário estatístico da ABRAF ano base 2012.

ARSHAM, H. Kuiper's P-value as a measuring tool and decision procedure for the goodness-of-fit test. **Journal of applied statistics**, vol. 15, n. 2, 1988.

AZEVEDO, C.P.; ROSSI, L.M.B.; ATAYDE, C.M.; LIMA, R.M.B. **Caracterização da biomassa e de propriedades tecnológicas de espécies florestais com potencial para a produção de energia**. Embrapa (publicação interna). 2002.

BARRICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação de biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild., na Região Sul do Brasil. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

BARROS, L.S.; VALE JUNIOR, J.F.; SHAEFER, C.E.G.R; MOURÃO JUNIOR, M. Perdas de solo e água em plantio de *Acacia mangium* WILD e savana em Roraima, norte da Amazônia. **Revista Bras. Si. Solo**, v. 33, p. 447-454, 2009.

BARROS, S.V.S.; NASCIMENTO, C.C.do; AZEVEDO, C.P.de. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no amazonas: alternativa para produção de lenha. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 725 - 732, out.-dez. 2012.

BEHLING, A.; SANQUETTA, C.R.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D.; ELLI, E.F.;CORTE, A.P.D. Teores de carbono orgânico de três espécies arbóreas em diferentes Espaçamentos. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 13-19, jan.-mar., 2014.

BRASIL. **Decreto nº 5.975, de 30 de novembro de 2006**.Regulamenta os arts. 12, parte final, 15, 16, 19, 20 e 21 da Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, o art. 4º, inciso III, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, o art. 2º da Lei no 10.650, de 16 de abril de 2003, altera e acrescenta dispositivos aos Decretos 3.179/1999e 3.420, de 20 de abril de 2000 e dá outras providências. Presidência da República: Casa Civil, Sub-chefia p0ara assuntos Jurídicos. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2016.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environ. Pollut.** v. 116, p. 363–372. 2002.

CAMPOS, J. C. C; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4ª ed. atual. ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 605 p.

CAMPOS, M. A. A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*.Avaliação na safra e na safrinha**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor deCiências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CATIE. **Mangium (*Acacia mangium* Willd) Espécie de Árvore de Uso Múltiplo em América Central**. Turrialba: CATI (Colección de Guías Silviculturales, 5). 1992. 56 p.

CECON, P.R.; SILVA, A.R.da; NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A. **Métodos estatísticos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 229 p.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Berlin, v. 145, p. 87-99, 2005.

CORDEIRO, M.A.; PEREIRA, N.N.deJ.; BINOTI, D.H.B.; BINOTI, M.L.M.daS.; LEITE, H.G. Estimativa do volume de *Acacia mangium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 255-261, jul./set. 2015. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

COSTA, K.C.P.da; LIMA, R.M.B.de; FERREIRA, M.J. Biomass and energy yield of leguminous trees cultivated in amazonas. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 705 - 712 , out. / dez. 2015.

DALLAGNOL, F.S.; MOGNON, F.; SANQUETTA C.R.; CORTE, A.P.D. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

ELOY, E. **Quantificação e Caracterização da Biomassa Florestal em Plantios de Curta Duração**. 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2013.

FARIA, S.M.; LIMA, H.C.; OLIVEIRA, F.L.; MELO, R.B.; XAVIER, R.P. Nodulação em espécies florestais, especificidade hospedeira e implicações na sistemática de Leguminosae. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo; Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras-Departamento de Ciências do Solo, 1999. 667-686 p.

FIGUEIREDO, E.O; SCHROEDER, R.; PAPA D. de A. Fatores de Forma para 20 Espécies Florestais Comerciais da Amazônia. **Comunicado Técnico 173 da Embrapa**. ISSN 0100-8668. p. 1-4. Rio Branco, AC. Dez de 2009.

FIT. Manejo Florestal do Brasil. **Resumo público plano de Manejo florestal**. Boa Vista, RR. Agosto – 2013. 27p.

FIELD, ANDY. **Descobrimos a estatística usando SPSS**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 688.

FLORA OF SINGAPORE, Raffles Museu. ***Acacia mangium***. Disponível em: <<http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Acacia+mangium>>. Acesso em : 02 maio 2016.

GIMENEZ, B.O.; DANIELLI, F.E.; OLIVEIRA, C.K.A.de; SANTOS, J.dos; HIGUCHI, N. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, vol. 43, n. 106. Jun. de 2015.

HIGA, R.C.V et al. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Dados eletrônicos - Colombo: Embrapa Florestas, 2014. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 266). 2014.

HIGUCHI, F.G.; LIMA, A.J.N.; RIBEIRO, G.H.P.M.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Equações alométricas específicas: estimativas de biomassa para diferentes sítios da Amazônia brasileira. In: LIMA, A.J.N.; DURGANTE, F.M.; CAMPOS, M.A.A.; SANTOS, J.dos; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. **Dinâmica do Carbono das Florestas da Amazônia: resultados do Projeto CADAF**. Manaus, AM: Editora INPA, 2014. 21-27p.

HIGUCHI, N.; CARVALHO Jr., J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). **Emissão e sequestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**, Rio de Janeiro: 125-153. 1994.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, set./dez., 2004.

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

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.dos; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. **Acta amazônica**, v. 28.(2): 153-166. 1998.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 34,n. 3, set-dez, p. 295-304, 2004.

HOEL, P. G. **Estatística Elementar**. São Paulo: Editora Atlas, 1981. 430 p.

IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. 2016. Disponível em: <<http://www.iba.org>>. Acesso em: 12 out. 2016.

ILYAS, S. Allometric Equation and Carbon Sequestration of *Acacia mangium* Willd. in Coal Mining Reclamation Areas. **Civil and Environmental Research** ISSN 2222-1719 (Paper) ISSN 2222-2863 (Online). Vol 3, Nº.1, p. 8-17, 2013.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996 guidelines for national GHG inventories: Reference Manual. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>>. Acesso em: 01 jan. 2016.

JHA, K.K. Carbon storage and sequestration rate assessment and allometric model development in young teak plantations of tropical moist deciduous forest, India. **J. For. Res.** V. 26, Nº 3, p. 589–604, 2015.

KRISNAWATI, H.; KALLIO, M.; KANNINEM, M.; ***Acacia mangium* Willd.: Ecology, silviculture and productivity**. Cifor,. Bogor, Indonesia 2011. 26p.

KUSUMAWATI, E.W.; PURWANTO, R.H.; SUPRIYO, D.H. Inventory of biomass, carbon stock, and CO<sub>2</sub> gases absorption from acacia (*Acacia mangium* Willd.) root in exdegraded land (case in wanagama 1 educational forest, Yogyakarta, Indonesia). **Anais**, International sustainable development research conference. Hong Kong, 2010. Disponível em: <https://repository.ugm.ac.id/96915/1/6.pdf>. Acesso em: 17 de abr. de 2010.

LEMMENS, R. H. M. J.; SOERIANEGARA, I.; WONG, W. C. **Plant Resources of South-East Asia nº 5(2). Timber trees: Minor commercial timbers**. Backhuys Publishers, Leiden. 1995. 655 p.

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

LIMA, A. J. N. *et al.* Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**. V 277, p. 163–172, 2012.

LIMA, D.; GARCIA, L. C. Avaliação de métodos para o teste de germinação em sementes de *Acacia mangium* Willd. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 18, n. 2, 1996. p. 180-185.

LIU, Y. Y.; VAN DIJK, A. I. J. M.; DE JEU, R. A. M.; CANADELL, J. G.; MCCABE, M. F.; EVANS, J. P.; WANG, G. Recent reversal in loss of global terrestrial biomass, **Nature Climate Change**, v.5, p. 70-74. DOI: 10.1038/NCLIMATE2581. 2015.

MACHADO, M.R. Plantios florestais na Amazônia Central: biometria, ciclagem bioquímica e alterações edáficas. 2008. p. 54. Dissertação (mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 2008.

MARTINELLI, L. A. *et al.* Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. Seminário emissão x sequestro de co<sub>2</sub> – uma nova oportunidade de negócios para o brasil, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, 1994, p. 197-221.

MAT, S.; AB-SHUKOR, N.; HAMZAH, M.; ABU-BAKAR, R.; RAMLAN, M.; ABDUL-HAMID, H.; SENIN, A. Aboveground Biomass of Selected Provenances of *Acacia mangium* and *Acacia aulacocarpa* Multiple-leadered Trees. **Journal of Agricultural Science**. v. 1, n. 2. p. 74-82. Dez. 2009.

MIGUEL, E.P.; CANZI, L.F.; RUFINO, R.F.; SANTOS, G.A. dos. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de rio verde – GO. **EnciclopédiaBiosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11. p. 1-13. 2010.

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

MMA. **Instrução Normativa MMA nº 6, de 15 de dezembro de 2006**. Dispões sobre a reposição florestal e o consumo de matéria-prima florestal, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/\\_arquivos/in%20mma%2006-06.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/pnf/_arquivos/in%20mma%2006-06.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2016.

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

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Mangium and other fast-growing Acacias for the humid tropics**. Washington, DC: National Academy Press. 1983. 57p.

PÉLLICO NETO, S; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997.

PÉREZ, S.; RENEDO, C. J.; ORTIZ, A.; DELGADO, F.; FERNÁNDEZ, I. Energy potential of native shrub species in northern Spain. **Renewable Energy**, Philadelphia, v. 62, p. 79 - 83, 2014.

PINYOPUSARERK, K.; LIANG, S.B.; GUNN, B.V. Taxonomy, distribution, biology and use as an exotic. In: AWANG, K.; TAYLOR, D. **Acacia mangium: growing and utilization**. Winrock International and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand. 1993. p. 1–19.

PURWITASARI, H. E14061115. **Biomass and Carbon Mass Allometric Equation Models of Acacia mangium Willd.** (A Case Study in Acacia mangium Plantation Forest at Parung Panjang Sub-District, Bogor District, Perum Perhutani Unit III, West Java and Banten). Under supervision of ELIAS. p. 66. 2011.

REDD. **REDD no Brasil: um enfoque amazônico: fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – REDD**. 3ª Ed. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2011. 156 p.

RIBEIRO, G.H.P.M.; SUWA, R.; MARRA, D.M.; LIMA, A.J.N.; KAJIMOTO, T.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometry for juvenile trees in na Amazonian forest after Wind disturbance. **Revista Jarq**, 48, n. 2, p. 213-219. 2014.

RIBEIRO, S.C.; SOARES, C.P.B.; FEHRMANN, L.; JACOVINE, L.A.G.; GADOW, K. Biomassa acima e abaixo do solo e estimativas de carbono para um plantio de clonal de eucaliptos no sudeste do Brasil. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.39, n.2. 2015.

ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.de; SOUZA, C. R.de. **Acacia mangium**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2003.29 p.: il.color. - (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos; 28).

SAIDELLES, F.L.F; CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; BALBINOT, R. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 907-915, 2009.

SALDARRIAGA, J.G.; WEST, D.C.; THARP, M.L.; UHL, C. 1988. Long-term Chronosequence of Forest Sucession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**. v. 76. p. 938-958. 1988.

SANAIOTTI, T.M.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; TRUMBORE, S.E.; CAMARGO, P.B. Past vegetation changes in Amazon savannas determinate using carbon isotopes of soil organic metal. **Revista Biotropica**, v.34, n.1, p. 02-26, 2002.

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D; MOGNON, F.; MAAS, G.C.B.; RODRIGUES, A.L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 1-8. 2014.

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CORTE, A.P.D.; FERNANDES, L.deA.V.; SIQUEIRA, J.D.P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2ªed. Ed. Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316 p.

SANTOS, J. DOS. **Análise de modelos de regressão para estimar a F.I.T.omassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira**. 121 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

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

SCHWENGBER, L.A.M; TONINI, H.; FERREIRA, L.M.M.; MOURÃO JUNIOR, M.; KAMINSKI, P.E.; Determinação de curvas de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd. **Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC** Florianópolis, SC, Julho. 2006. Disponível em:



<[http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo\\_1589.html](http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/JNIC/RESUMOS/resumo_1589.html)>. Acesso em: 28 maio 2015.

SCOLFORO, J.R.S. **O sistema PISAPRO**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 1997. 99p.

SEDGLEY, M.; WONG, C.Y.; NEWMAN, V.; HARBARD, J.; SMITH, R.M.; KOH, K.G. and Tajuddin, A. 1992 Phenology of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* in Australia and Malaysia. In: **CARRON, L.T.; AKEN, K.M. (eds) Breeding technologies for tropical acacias**. ACIAR Proceedings No. 37. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia. 1992. p. 36–44.

SEGURA, T.E.S; ZANÃO, M.; SILVA JUNIOR, F.G.da. Potencial da madeira de acácia para a produção de polpa celulósica kraft. **Anais do XXI encontro nacional da Tecnicelpa e VI Ciadicyp 2010**, 12 a 15 de outubro de 2010, Lisboa – Portugal. p. 1-8. 2010.

SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; CORRÊA, R. S.; BELLOTE, A. F. J.; TUSSOLINI, E. L. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 49, p. 83 - 95, 2004.

SILVA, R.P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)**. 2007. 152p (Doutora em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração em Manejo Florestal), Instituto de Pesquisa da Amazônia. Manaus/AM: 2007.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H.S.; SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, v. 38, p. 185-206, 2008.

SMIDERLE, O.J.; MOURÃO JUNIOR, M.; SOUSA, R.deC.P.de. Tratamentos pré-germinativos em sementes de acácia. **Revista Brasileira de Sementes**. Pelotas, v.27, n. 1, p.78-85, 2005.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.

SOARES, C.P.B.; OLIVEIRA, M.L.R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.5 , p.533-539, 2002.

SOUZA, A.L.de; SOARES, C.P.B. **Florestas nativas: estruturas, dinâmica e manejo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 322p.

SOUZA, C.R.de; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.de; LIMA, R.M.B. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandes* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**. V. 65, p. 95-101, jun. 2004.

TIAN, H.; et al. The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere. **Nature**, v. 531, p. 225-232, 2016.

TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.deA. Descrição Morfológica, habitat e ecologia. In: TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.deA.; SILVA, S.J.R. **Acacia mangium – Características e seu cultivo em Roraima**. Embrapa Informações Tecnológicas; Boa Vista: Embrapa, Roraima. 2010. p 145.

TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.deA.; SILVA, S.J.R. **Acacia mangium – Características e seu cultivo em Roraima**. Embrapa Informações Tecnológicas; Boa Vista: Embrapa, Roraima. 2010. p 145.

TONINI, H.; SCHWENGBER. Equações Hipsométricas e Volumétricas para *Acacia mangium* Willd em Roraima. **Ambiência Guarapuava**, PR v.2 n.2 p. 155-165 jul/dez 2006 ISSN 1808 – 0251. 2006.

TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; SOARES, C.P.B.; et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no parque tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.647-655, 2013.

TURNBULL, J.W. Summary of discussion and recommendations. In: **TURNBULL, J.W. Australian Acacias in developing countries**. Canberra, AU: ACIAR. p 6-7. 1986.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L. **Caracterização e Distribuição dos Solos das Savanas de Roraima: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipastoris**. FEMACT/RR. Boa Vista, RR. 2005.

VALLE, P.O.; REBELO, E. Dualidades entre Análise de Covariância e Análise de Regressão com variáveis dummy. **Revista de Estatística**. 2º quadrimestre de 2002, p. 65-86.

VEIGA, R.A.A.; CARVALHO, C.M.de.; BRASIL, M.A.M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd. **Revista Cerne**, v.6, n.1, p.103-107, 2000.

VÉLEZ, D.A.T.; VALLE, J.I.D. Growth and yield modelling of *Acacia mangium* in Colombia. **New Forests**. n. 34. p. 293–305. 2007.

WAGNER, F.H. *et al.* Climate seasonality limits carbon assimilation and storage in tropical forests. Climate seasonality limits carbon assimilation and storage in tropical forests. **Biogeosciences Discuss**. doi:10.5194/bg-2015-619.p. 1-50. 2016. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/290974344>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

## APÊNDICES

Apêndice 1. Histórico das áreas de coleta de dados, considerando o preparo do solo em cada talhão.

Núcleo	Idade	Talhão	Sítio	Espaçamento (m)	Uso Agrícola	Calagem	Adubação				Desbaste	Desrama
							Na Cova	Aos 6 meses	A 1 ano	Aos 2 anos		
1	16	1001	2	3,30x2,80	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10)	80 g de NPK (04:30:10)	Não	80 g de NPK (04:30:10)	Aos 7 anos, 40%	Aos 7, 16, 24 meses e aos 72 meses até 6 m
1	15	2002	2	3,30x2,50	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	Não	Aos 7 anos, 40%	Aos 7, 16, 24 meses e aos 72 meses até 6 m
1	15	2003	1	3,30x2,80	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	Não	Aos 7 anos, 40%	Aos 7, 16, 24 meses e aos 72 meses até 6 m
1	14	3001	2									
1	13	4058	2	3,30x2,65	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	100 g de NPK (04:30:10) +micro	Não	Aos 7 anos, 40%	Aos 7, 16 e 24 meses
1	12	5045	3	3,30x2,65	Pastagem nativa	Não	80 g de NPK (08:25:15) +micro	Não	Não	80 g de NPK (08:25:15) +micro	Não	Aos 7, 16 e 24 meses
1	12	5072	3									
1	11	6024	3	3,30x2,65	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Não	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Aos 7 e 16 meses
1	10	7019	1	3,30x2,65	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Não	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Aos 7 e 16 meses
1	10	7024	1									
1	10	7025	1									
1	9	8001	2									
1	8	9004	1									
1	7	10016	2									
2	16	1004	2	3,30x2,85	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:14:08)	Não	70 g de NPK (04:14:08)	Não	Aos 7 anos, 40%	Aos 7, 16 e 24 meses
2	15	2004	1									
2	14	3001	3									
2	13	4006	1									

Núcleo	Idade	Talhão	Sítio	Espaçamento (m)	Uso Agrícola	Calagem	Adubação				Desbaste	Desrama
							Na Cova	Aos 6 meses	A 1 ano	Aos 2 anos		
2	9	8010	2	3,30x2,85	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Não	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Aos 7 e 16 meses
2	8	9018	1	3,30x2,85	Soja, Arroz e milho	Sim	100 g de NPK (04:30:10)	80 g de NPK (04:30:10)	Não	Não	Aos 7 anos, 20 a 30%	Aos 7 e 16 meses
2	7	10022	1									
3	16	1010	3	3,30x2,85	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10)	80 g de NPK (04:30:10)	80 g de NPK (04:30:10)	Não	Aos 8 anos, 50%, para serraria	Aos 7, 16, 24 meses e aos 72 meses até 6 m
3	15	2016	3	3,30x2,85	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10)	Não	70 g de NPK (04:30:10)	70 g de NPK (04:30:10)	Aos 7 anos, 30%	Aos 7, 16, 24 meses e aos 72 meses até 6 m
3	14	3004	2									
3	13	4002	3									
3	9	8027	3	3,30x2,65	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Não	100 g de NPK (02:20:15) +micro	Não	Aos 7 e 16 meses
3	8	9004	3									
4	16	1018	1	3,30x2,85	Pastagem nativa	Sim	100 g de NPK (04:30:10)	Não	70 g de NPK (04:30:10)	70 g de NPK (04:30:10)	Aos 7 anos, 30%	Aos 7, 16 e 24 meses
4	15	2014	2									
4	14	3001	2									
4	13	4015	2									

Em que: Núcleo: 1 – Serra-da-lua; 2 – Jacitara; 3 – Santa Cecília; 4 Mucajaí; Idade – em anos;

Obs.: Todos os talhões foram gradeados. Não houve incidência de incêndio em nenhum dos talhões.

Apêndice 2. Equações ajustadas para o peso fresco acima do solo para *A. mangium*.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj.	R	Syx (Kg)	Syx (%)	Incerteza (95%)																																																												
1	$\beta_0$	0,365953		0,96	0,98	47,82	1,76	3,46																																																												
	$\beta_1$	2,322782							2	$\beta_0$	-50,9254	0,00000	0,96	0,98	50,30	1,86	3,64	$\beta_1$	1,127341	0,00000	3	$\beta_0$	106,2327	0,04661	0,96	0,98	47,98	1,77	3,47	$\beta_1$	-17,5133	0,00323	$\beta_2$	1,565445	0,00000	4	$\beta_0$	0,356584		0,96	0,98	48,04	1,77	3,47	$\beta_1$	2,293789		$\beta_2$	0,042882		5	$\beta_0$	55,75248	0,00000	0,92	0,96	68,50	2,53	4,95	$\beta_1$	0,055382	0,00000	6	$\beta_0$	0,262875		0,92	0,97
2	$\beta_0$	-50,9254	0,00000	0,96	0,98	50,30	1,86	3,64																																																												
	$\beta_1$	1,127341	0,00000						3	$\beta_0$	106,2327	0,04661	0,96	0,98	47,98	1,77	3,47	$\beta_1$	-17,5133	0,00323		$\beta_2$	1,565445	0,00000						4	$\beta_0$	0,356584		0,96	0,98		48,04	1,77	3,47						$\beta_1$	2,293789		$\beta_2$	0,042882		5	$\beta_0$	55,75248	0,00000	0,92	0,96	68,50	2,53	4,95	$\beta_1$	0,055382	0,00000	6	$\beta_0$	0,262875		0,92	0,97
3	$\beta_0$	106,2327	0,04661	0,96	0,98	47,98	1,77	3,47																																																												
	$\beta_1$	-17,5133	0,00323																																																																	
	$\beta_2$	1,565445	0,00000																																																																	
4	$\beta_0$	0,356584		0,96	0,98	48,04	1,77	3,47																																																												
	$\beta_1$	2,293789																																																																		
	$\beta_2$	0,042882																																																																		
5	$\beta_0$	55,75248	0,00000	0,92	0,96	68,50	2,53	4,95																																																												
	$\beta_1$	0,055382	0,00000																																																																	
6	$\beta_0$	0,262875		0,92	0,97	69,77	2,57	5,05																																																												
	$\beta_1$	0,843795																																																																		

Apêndice 3. Equações ajustadas para o peso fresco abaixo do solo para *A. mangium*.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub> (Kg)	S <sub>yx</sub> (%)	Incerteza (95%)																																																												
1	$\beta_0$	0,045404		0,91	0,96	11,95	2,93	5,75																																																												
	$\beta_1$	2,388124							2	$\beta_0$	-6,40565	0,00006	0,91	0,95	12,18	2,99	5,86	$\beta_1$	-0,44868	0,00000	3	$\beta_0$	-6,40565	0,12524	0,91	0,95	12,18	2,99	5,86	$\beta_1$	-0,44868	0,32648	$\beta_2$	0,18296	0,00000	4	$\beta_0$	0,048504		0,91	0,96	11,98	2,94	5,76	$\beta_1$	2,464056		$\beta_2$	-0,11171		5	$\beta_0$	7,312124	0,00245	0,85	0,93	15,21	3,73	7,31	$\beta_1$	0,00858	0,00000	6	$\beta_0$	0,034423		0,86	0,94
2	$\beta_0$	-6,40565	0,00006	0,91	0,95	12,18	2,99	5,86																																																												
	$\beta_1$	-0,44868	0,00000						3	$\beta_0$	-6,40565	0,12524	0,91	0,95	12,18	2,99	5,86	$\beta_1$	-0,44868	0,32648		$\beta_2$	0,18296	0,00000						4	$\beta_0$	0,048504		0,91	0,96		11,98	2,94	5,76						$\beta_1$	2,464056		$\beta_2$	-0,11171		5	$\beta_0$	7,312124	0,00245	0,85	0,93	15,21	3,73	7,31	$\beta_1$	0,00858	0,00000	6	$\beta_0$	0,034423		0,86	0,94
3	$\beta_0$	-6,40565	0,12524	0,91	0,95	12,18	2,99	5,86																																																												
	$\beta_1$	-0,44868	0,32648																																																																	
	$\beta_2$	0,18296	0,00000																																																																	
4	$\beta_0$	0,048504		0,91	0,96	11,98	2,94	5,76																																																												
	$\beta_1$	2,464056																																																																		
	$\beta_2$	-0,11171																																																																		
5	$\beta_0$	7,312124	0,00245	0,85	0,93	15,21	3,73	7,31																																																												
	$\beta_1$	0,00858	0,00000																																																																	
6	$\beta_0$	0,034423		0,86	0,94	15,23	3,74	7,32																																																												
	$\beta_1$	0,860268																																																																		

Apêndice 4. Equações ajustadas para o peso fresco do tronco de *A. mangium*.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub> (Kg)	S <sub>yx</sub> (%)	Incerteza (95%)																																																												
1	$\beta_0$	0,158717		0,96	0,98	41,58	2,04	4,00																																																												
	$\beta_1$	2,508074							2	$\beta_0$	-66,3083	0,00000	0,96	0,98	43,68	2,14	4,20	$\beta_1$	0,939532	0,00000	3	$\beta_0$	66,11137	0,15288	0,96	0,98	41,81	2,05	4,02	$\beta_1$	-14,7565	0,00434	$\beta_2$	1,308674	0,00000	4	$\beta_0$	0,113064		0,97	0,99	35,25	1,73	3,39	$\beta_1$	2,209961		$\beta_2$	0,466307		5	$\beta_0$	18,51421	0,00511	0,96	0,98	41,85	2,05	4,02	$\beta_1$	0,047105	0,00000	6	$\beta_0$	0,091427		0,96	0,98
2	$\beta_0$	-66,3083	0,00000	0,96	0,98	43,68	2,14	4,20																																																												
	$\beta_1$	0,939532	0,00000						3	$\beta_0$	66,11137	0,15288	0,96	0,98	41,81	2,05	4,02	$\beta_1$	-14,7565	0,00434		$\beta_2$	1,308674	0,00000						4	$\beta_0$	0,113064		0,97	0,99		35,25	1,73	3,39						$\beta_1$	2,209961		$\beta_2$	0,466307		5	$\beta_0$	18,51421	0,00511	0,96	0,98	41,85	2,05	4,02	$\beta_1$	0,047105	0,00000	6	$\beta_0$	0,091427		0,96	0,98
3	$\beta_0$	66,11137	0,15288	0,96	0,98	41,81	2,05	4,02																																																												
	$\beta_1$	-14,7565	0,00434																																																																	
	$\beta_2$	1,308674	0,00000																																																																	
4	$\beta_0$	0,113064		0,97	0,99	35,25	1,73	3,39																																																												
	$\beta_1$	2,209961																																																																		
	$\beta_2$	0,466307																																																																		
5	$\beta_0$	18,51421	0,00511	0,96	0,98	41,85	2,05	4,02																																																												
	$\beta_1$	0,047105	0,00000																																																																	
6	$\beta_0$	0,091427		0,96	0,98	42,07	2,06	4,04																																																												
	$\beta_1$	0,933356																																																																		



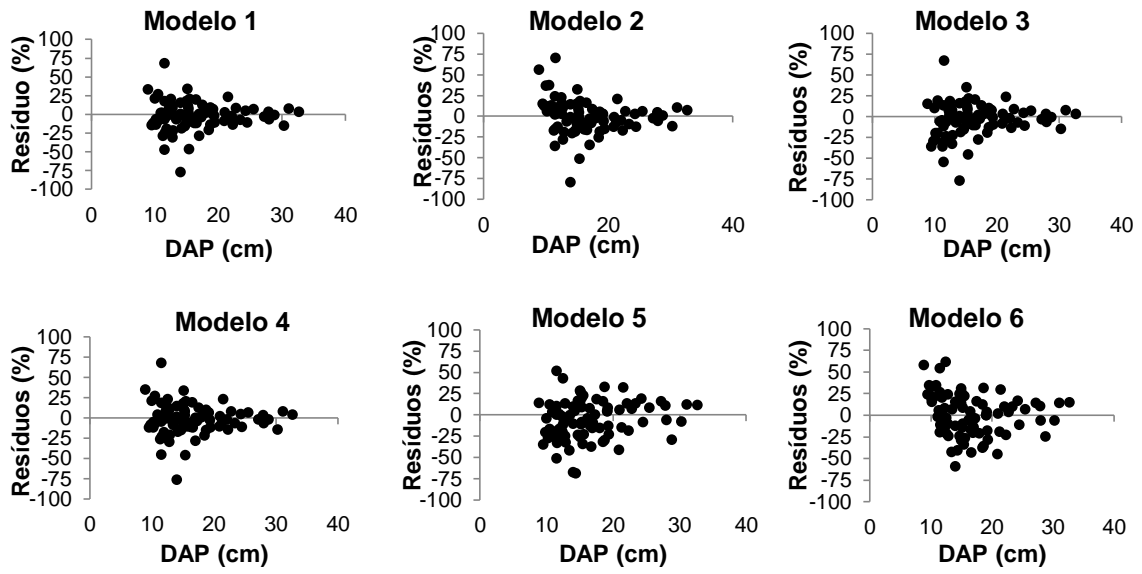
Apêndice 5. Equações ajustadas para o peso fresco dos galhos de *A. mangium*.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	S <sub>yx</sub> (Kg)	S <sub>yx</sub> (%)	Incerteza (95%)																																																												
1	$\beta_0$	0,646712		0,51	0,83	29,50	5,57	10,92																																																												
	$\beta_1$	1,577299							2	$\beta_0$	14,55402	0,01039	0,51	0,72	29,34	5,54	10,86	$\beta_1$	0,140176	0,00000	3	$\beta_0$	24,98686	0,44175	0,51	0,72	29,50	5,57	10,92	$\beta_1$	-1,16261	0,74400	$\beta_2$	0,16926	0,06359	4	$\beta_0$	0,627371		0,64	0,88	25,42	4,80	9,41	$\beta_1$	2,573755		$\beta_2$	-1,14043		5	$\beta_0$	31,36977	0,00000	0,38	0,62	33,08	6,25	12,25	$\beta_1$	0,006061	0,00000	6	$\beta_0$	1,075916		0,38	0,78
2	$\beta_0$	14,55402	0,01039	0,51	0,72	29,34	5,54	10,86																																																												
	$\beta_1$	0,140176	0,00000						3	$\beta_0$	24,98686	0,44175	0,51	0,72	29,50	5,57	10,92	$\beta_1$	-1,16261	0,74400		$\beta_2$	0,16926	0,06359						4	$\beta_0$	0,627371		0,64	0,88		25,42	4,80	9,41						$\beta_1$	2,573755		$\beta_2$	-1,14043		5	$\beta_0$	31,36977	0,00000	0,38	0,62	33,08	6,25	12,25	$\beta_1$	0,006061	0,00000	6	$\beta_0$	1,075916		0,38	0,78
3	$\beta_0$	24,98686	0,44175	0,51	0,72	29,50	5,57	10,92																																																												
	$\beta_1$	-1,16261	0,74400																																																																	
	$\beta_2$	0,16926	0,06359																																																																	
4	$\beta_0$	0,627371		0,64	0,88	25,42	4,80	9,41																																																												
	$\beta_1$	2,573755																																																																		
	$\beta_2$	-1,14043																																																																		
5	$\beta_0$	31,36977	0,00000	0,38	0,62	33,08	6,25	12,25																																																												
	$\beta_1$	0,006061	0,00000																																																																	
6	$\beta_0$	1,075916		0,38	0,78	33,31	6,29	12,33																																																												
	$\beta_1$	0,486868																																																																		

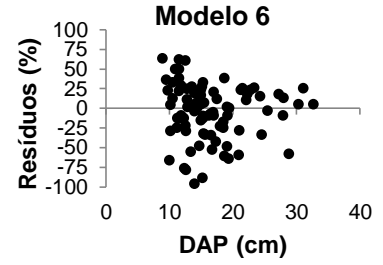
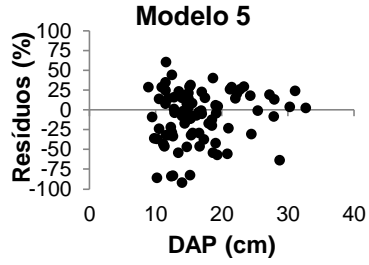
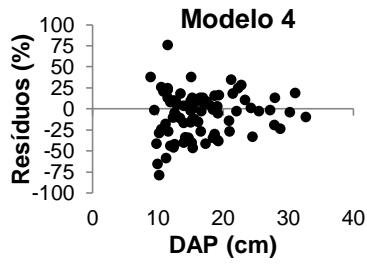
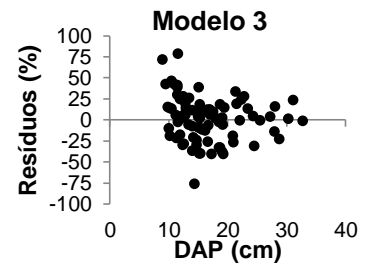
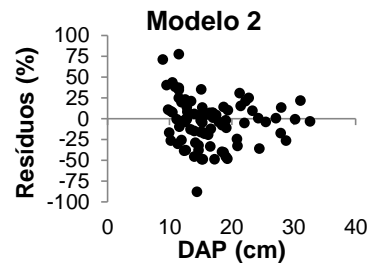
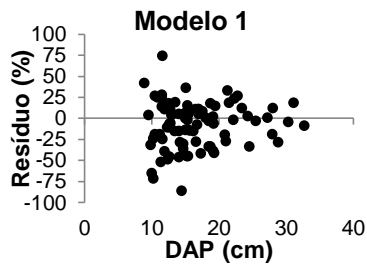
Apêndice 6. Equações ajustadas para o peso fresco das folhas de *A. mangium*.

Modelo	$\beta$	Estimativa	Valor-p	R <sup>2</sup> aj	R	Syx (m <sup>3</sup> )	Syx (%)	Incerteza (95%)																																																												
1	$\beta_0$	0,049127		0,65	0,86	7,53	5,30	10,39																																																												
	$\beta_1$	2,002089							2	$\beta_0$	0,828814	0,56147	0,65	0,81	7,51	5,29	10,37	$\beta_1$	0,047632	0,0000	3	$\beta_0$	15,13444	0,06618	0,66	0,82	7,42	5,22	10,24	$\beta_1$	-1,59419	0,077659	$\beta_2$	0,087512	0,00022	4	$\beta_0$	0,056031		0,69	0,88	7,14	5,03	9,85	$\beta_1$	2,611985		$\beta_2$	-0,75377		5	$\beta_0$	5,868506	0,000019	0,56	0,75	8,42	5,93	11,62	$\beta_1$	0,002216	0,00000	6	$\beta_0$	0,061976		0,55	0,82
2	$\beta_0$	0,828814	0,56147	0,65	0,81	7,51	5,29	10,37																																																												
	$\beta_1$	0,047632	0,0000						3	$\beta_0$	15,13444	0,06618	0,66	0,82	7,42	5,22	10,24	$\beta_1$	-1,59419	0,077659		$\beta_2$	0,087512	0,00022						4	$\beta_0$	0,056031		0,69	0,88		7,14	5,03	9,85						$\beta_1$	2,611985		$\beta_2$	-0,75377		5	$\beta_0$	5,868506	0,000019	0,56	0,75	8,42	5,93	11,62	$\beta_1$	0,002216	0,00000	6	$\beta_0$	0,061976		0,55	0,82
3	$\beta_0$	15,13444	0,06618	0,66	0,82	7,42	5,22	10,24																																																												
	$\beta_1$	-1,59419	0,077659																																																																	
	$\beta_2$	0,087512	0,00022																																																																	
4	$\beta_0$	0,056031		0,69	0,88	7,14	5,03	9,85																																																												
	$\beta_1$	2,611985																																																																		
	$\beta_2$	-0,75377																																																																		
5	$\beta_0$	5,868506	0,000019	0,56	0,75	8,42	5,93	11,62																																																												
	$\beta_1$	0,002216	0,00000																																																																	
6	$\beta_0$	0,061976		0,55	0,82	8,56	6,03	11,81																																																												
	$\beta_1$	0,667817																																																																		

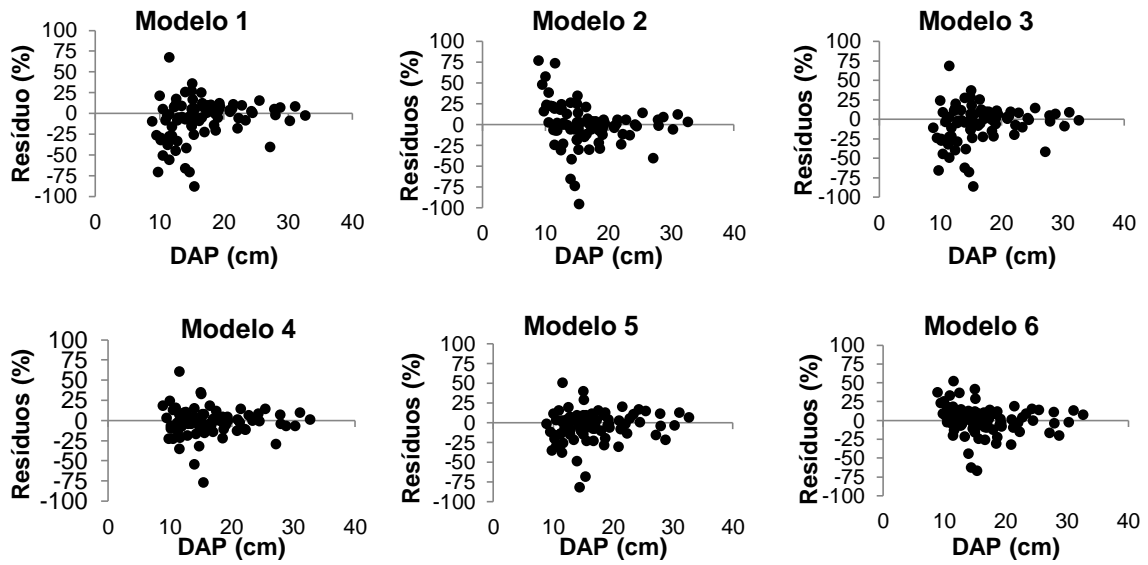
Apêndice 7. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para o peso fresco acima do solo para a *A. mangium*.



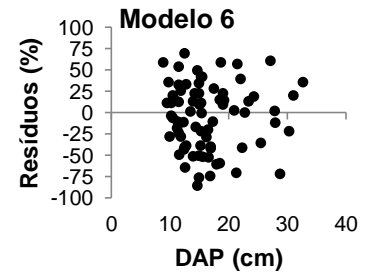
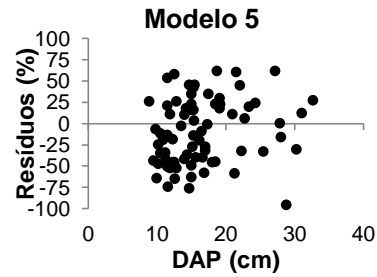
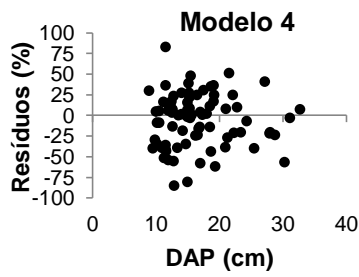
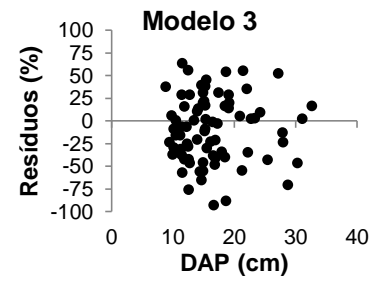
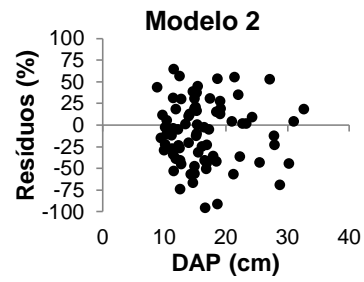
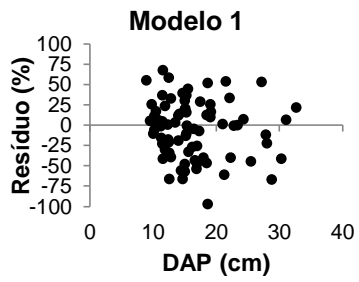
Apêndice 8. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para o peso fresco abaixo do solo para a *A. mangium*.



Apêndice 9. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para o peso fresco do tronco de *A. mangium*.



Apêndice 10. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para o peso fresco dos galhos de *A. mangium*.



Apêndice 11. Distribuição dos resíduos para as equações ajustadas para o peso fresco das folhas de *A. mangium*.

