



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical

Mestrado e Doutorado

UNIFAP / EMBRAPA-AP / IEPA / CI-Brasil

ALINNY DA SILVA LIMA SARMENTO

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE  
CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

MACAPÁ, AP

2015

ALINNY DA SILVA LIMA SARMENTO

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE  
CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBIO) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Tropical.

Orientador: Dr. Marcelino Carneiro Guedes

MACAPÁ, AP  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

634.575

S246e

Sarmiento, Alinny da Silva Lima.

Equações de volumes para estimativa de biomassa de castanha-da-Amazônia / Alinny da Silva Lima Sarmiento; orientador, Marcelino Carneiro Guedes. -- Macapá, 2015.

46 f.

Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical.

1. Catanha-do-brasil. 2. Bertholletia excelsa. 3. Catanha-do-Pará. 4. Resex Cajari. 5. Cubagem rigorosa I. Guedes, Marcelino Carneiro, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

**ALINNY DA SILVA LIMA SARMENTO**

**EQUAÇÕES DE VOLUME PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE  
CASTANHA-DA-AMAZÔNIA**

---

Orientador: Prof. Dr. Marcelino Carneiro Guedes  
Empresa Brasileira de Pesquisas Agroflorestais – Embrapa Amapá

---

Examinador: Alan Cavalcanti Da Cunha  
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP

---

Examinador: Eleneide Doff Sotta  
Empresa Brasileira de Pesquisas Agroflorestais – Embrapa Amapá

Aprovada em 29 de Maio de 2015, Macapá, AP, Brasil

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus, Amado da minha alma, que me ensina por meio da Sua Palavra a ser um ser humano melhor, não para agradar pessoas, mas simplesmente para conhecê-Lo com intimidade ... Sua Presença é real!

Ao meu esposo Michael Sarmiento, que sempre me apoiou e fez o possível para que eu concluísse o mestrado, mesmo nos meus momentos de fragilidade e desmotivação. Sou grata por seu amor, cuidado e dedicação. Amo ser casada com você, e sei que é para sempre, pois estamos firmados na rocha (Jesus Cristo).

Ao meu 1º filho, Alexsandro Davi, tão amado e esperado. Deus, obrigada por honrar a minha vida nos mínimos detalhes.

Aos meus familiares Aurinilza, João, Estelen, Eulan, Elanny e Adailan, vocês trazem alegria para o meu coração.

Ao meu orientador Marcelino Guedes, o qual tenho um carinho muito grande, que admiro e respeito por ser um profissional tão dedicado àquilo que acredita, você é um exemplo para mim.

Às pessoas que me ajudaram nessa caminhada: Lana Patrícia (Deus usou você!), Mariane Nardi, Ediglei, Carlão, Enoque, Jonas, Robson Lima, Amiraldo, e tantos outros que indiretamente contribuíram para a conclusão do meu trabalho... Obrigada de coração!

À EMBRAPA pelo apoio logístico e infraestrutura na execução da pesquisa.

Ao IEF (Instituto Estadual de Florestas do Amapá) pelo apoio financeiro e logístico para a execução do trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Quero agradecer de modo geral, a tudo que aconteceu, pois foi importante para o meu crescimento, e à todos que participaram de mais uma etapa da minha vida, sei que grandes coisas ainda estão por vir, pois isso ainda **É só o começo!**

*Ao Michael Sarmiento e ao nosso filho, Alexsandro Davi, vocês são o meu bem mais precioso.*

*DEDICO*

## RESUMO

Lima, Alinny da Silva Sarmiento. Equações de volume para estimativa de biomassa de castanha-da-amazônia. Macapá, 2015. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

O estudo foi desenvolvido na Reserva Extrativista do Rio Cajari, localizada no sul do Amapá, com o objetivo de estudar o volume das castanheiras e ajustar uma equação específica para sua estimativa de maneira indireta. Como o corte das castanheiras é proibido, para a cubagem rigorosa do volume, foram utilizadas 24 castanheiras (unidades amostrais) já caídas ou derrubadas. A cubagem foi realizada pelo método Smalian combinado com Hohenald. Foram ajustados 13 modelos matemáticos (4 de simples entrada e 9 de dupla entrada) via análise de regressão, para estimar o volume comercial com casca das árvores. O volume real obtido das 24 castanheiras foi de 436,44 m<sup>3</sup>, com 18,19 m<sup>3</sup> e erro padrão de 2,40 m<sup>3</sup>. Para os modelos de simples entrada, a equação de Koperzky-Gehrhardt ( $R^2_{aj} = 0,86$ ;  $Sy_x(x) = 23,88\%$ ) reportou o melhor ajuste. Para os de dupla entrada, o melhor foi o de Schumacher-Hall, em sua estrutura não linear ( $R^2_{aj} = 0,90$ ;  $Sy_x(x) = 20,3\%$ ). Não houve diferença significativa entre as duas equações ( $T = 0,0563$ ;  $p = 0,955$ ;  $GL = 46$ ). Modelos de simples e dupla entrada apresentaram bons ajustes para estimativa do volume comercial das castanheiras a partir da medição do diâmetro e altura. No entanto, a equação de Koperzky-Gehrhardt pode ser indicada como procedimento mais viável para estudar o volume de castanheiras, pois usa apenas a variável diâmetro foi utilizada como preditora. A inclusão da altura no melhor modelo de dupla entrada gera uma diminuição de 4% no erro das estimativas, mas como a variável altura é mais susceptível a erros de medição durante o inventário, recomenda-se a utilização do modelo de simples entrada.

Palavras-chave: castanha-do-brasil; *Bertholletia excelsa*; castanha-do-pará; Resex Cajari; Cubagem rigorosa.

## ABSTRACT

Lima, Alinny da Silva Sarmento. Volume equations for biomass estimating of Amazon nut. Macapá, 2015. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

The study was realized in the Cajari River Extractive Reserve, located in the south of Amapá, to develop the specific Amazon nut volume equation. As the Amazon nut slash is prohibited, for the strict cubage were used 24 Amazon nut trees (sample units) have fallen or felled. The cubage was held by Smalian method combined with Hohenald. We adjusted 13 mathematical models (4 single-entry and 9 double-entry), via regression analysis, to estimate the commercial volume with bark of trees. The actual volume obtained from 24 Amazon nut trees was 436.44 m<sup>3</sup>, with average of 18.19 m<sup>3</sup> and a standard error of 2.40 m<sup>3</sup>. For the simple-entry models, the Koperzky-Gehrhardt equation reported the best fit ( $R^2_{aj} = 0.86$ ;  $Sy_x(x) = 23.88\%$ ). For the double-entry, Schumacher-Hall model, in his structure no linear, was the best ( $R^2_{aj} = 0.90$ ;  $Sy_x(x) = 20.3\%$ ). There was no significant difference between the two equations ( $T = 0.0563$ ;  $p = 0,955$ ;  $GL = 46$ ). Single and double input models showed good fits to estimate the Amazon nut timber volume, with data of diameter and height. Therefore, the Koperzky-Gehrhardt may be indicated as more viable procedure for studying Amazon nut volume, because only the diameter variable was used as a predictor. Adding height to the best double-entry model, generates a decrease of 4% in the estimates error, but as the variable height is more susceptible to inventory measurement errors, we recommended the use of single input model.

Keywords: Brazil nut; *Bertholletia excelsa*; Para nut; Resex Cajari; strict cubage.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa de Localização da RESEX Cajari no Sul do Estado do Amapá. (Fonte: SEMA-AP, 2008). .....24
- Figura 2 - Esquema de cubagem de árvore caída da espécie *Bertholletia excelsa* Bonpl., dividindo a altura comercial em 10 partes iguais, em floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, RESEX Cajari, Amapá (Fonte: LIMA, 2010). .....25
- Figura 3 - Distribuição residual em m<sup>3</sup>, dos modelos de simples entrada a partir do DAP das castanheiras. ....35
- Figura 4 - Distribuição residual em m<sup>3</sup>, dos modelos de dupla entrada a partir do DAP das castanheiras. ....36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos volumétricos testados para a estimativa do volume comercial com casca da espécie <i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl., em uma Floresta Ombrófila Densa, RESEX Cajari, Amapá. ....	27
Tabela 2 – Variáveis dendrométricas das 24 castanheiras submetidas ao procedimento de cubagem rigorosa. ....	30
Tabela 3 – Ajuste dos modelos de volume de simples entrada para castanheiras localizadas no Sul do Estado do Amapá. ....	33
Tabela 4 - Ajuste dos modelos de volume de dupla entrada para castanheiras localizadas no Sul do Estado do Amapá. ....	34

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 RESERVA EXTRATIVISTA RIO CAJARI (RESEX CAJARI) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 CASTANHEIRA (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.) .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 ESTIMATIVAS DE VOLUME .....</b>	<b>18</b>
<b>3 HIPÓTESE.....</b>	<b>21</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2. CUBAGEM DAS CASTANHEIRAS .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3 MODELOS VOLUMÉTRICOS.....</b>	<b>26</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>7 DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A região amazônica desempenha um importante papel no cenário mundial, e há a necessidade de conservar esse complexo ecossistema contra as pressões sejam de cunho social ou econômico. Isso porque o bioma apresenta um riquíssimo mosaico em biodiversidade, com um enorme potencial genético, que envolve recursos florestais, farmacêuticos e medicinais (Fonseca & Cunha 2013).

Para se conservar essa diversidade, atualmente, um dos fatores de grande relevância é justamente a manutenção da floresta em pé, por meio do fortalecimento da economia florestal e geração de renda para a população local, a partir do uso sustentável dos produtos da floresta. A utilização de práticas de manejo florestal, podem otimizar o uso do recurso natural sem comprometer a sua regeneração e estabilidade ecológica. O uso sustentável dos recursos florestais, conforme Klimas *et al.* (2007) além de conciliar a conservação da floresta com a viabilidade econômica, também freia o desmatamento ilegal.

A dinâmica do desmatamento ocorre por diversos fatores de ordem social, econômica, ambiental, política e moral, envolvendo atores como extrativistas, madeireiros, agricultores familiares, garimpeiros, colonos, grileiros, grandes empresas ou pecuaristas. Esses fatores se diferenciam conforme as regiões ou locais, dependendo do contexto (Abdala 2015).

O fato é que não há como evitar o avanço do desmatamento na Amazônia apenas com políticas de comando e controle. Exemplo disso, é que, de 2012 a 2013, mesmo com toda a estrutura montada para vigilância da Amazônia, segundo dados do IPAM (2014), o desmatamento aumentou 28%. É imperativo que sejam priorizadas outras alternativas como a conservação da floresta pelo seu uso.

Portanto, são necessários estudos que agreguem valor aos serviços ecossistêmicos e aos produtos madeireiros e não madeireiros, tornando a atividade florestal competitiva economicamente com aquelas que dependem do desmatamento. Nesse sentido, outras atividades devem ser valorizadas, como por exemplo, o extrativismo para a intensificação do aproveitamento dos ativos florestais não-madeireiros, os chamados produtos da sociobiodiversidade (Abdala 2015).

No sul do Estado do Amapá, por exemplo, o extrativismo da castanha-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é predominante e importante para aquela região. No entanto, mesmo com a importância socioeconômica da cadeia de valor da

castanha e de algumas políticas diretas para subvenção à produção já existentes, porém, a atividade ainda precisa de incentivos e políticas mais concretos e eficazes. Para Sawyer (2009), o problema é que o extrativismo ainda é visto como uma atividade complementar à agricultura, em que o poder público gasta o mínimo ou nada, não valorizando e/ou valorando essas atividades.

Nesse caso é necessário desenvolver, além do manejo, outras políticas e estudos voltados à valoração da produção da castanha e dos serviços ambientais prestados pelos castanheiros, como a manutenção do carbono estocado com o desmatamento evitado. É necessário fomentar e fortalecer ainda mais a atividade castanheira, haja vista essas árvores não podem ser exploradas para fins madeireiros, conforme Lei Federal nº 5.975 de 2006.

O primeiro passo para que isso aconteça é conhecer o potencial florestal, o quanto aquela floresta possui de produtos não madeireiros, de biomassa, de estoque de carbono, entre outros. Essas informações permitirão direcionar o manejo florestal e nortearão a implementação de políticas públicas para efetivar sua conservação (Scolforo *et al.* 2008; Amaro 2010; Aparício 2013).

Para conhecer o estoque de carbono na floresta, torna-se necessário estimar sua biomassa, principalmente aquela estocada na madeira do tronco das grandes árvores. Para isso, os estudos mais comuns são os de quantificação da volumetria a partir do desenvolvimento de equações para diferentes tipos de florestas ou povoamentos florestais (Aparício 2013).

Esses estudos podem ocorrer a partir de estimativas de volume de árvores individuais, obtidas por meio de cubagem, seja da árvore derrubada ou em pé (Oliveira *et al.* 2009). As equações, de simples entrada e dupla entrada, podem ser geradas a partir de modelos lineares, não lineares, simples e múltiplos (Amaro 2010). Nesses modelos, o volume é a variável dependente que pode ser associada à variáveis independentes, como por exemplo, o DAP (diâmetro a altura do peito) e altura (Machado *et al.* 2002).

Apesar das estimativas volumétricas e alguns modelos serem consolidados na ciência florestal, na Amazônia não existem equações de volume que representem a maioria das espécies arbóreas. Também não existem informações sobre a adequação das equações às diferentes tipologias florestais, ou às condições inerentes a cada local (Thomas *et al.* 2006; Hiramatsu 2008; Colpini *et al.* 2009; Rocha 2011).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. RESERVA EXTRATIVISTA RIO CAJARI (RESEX CAJARI)

As Reservas Extrativistas (RESEX), que de acordo com o SNUC (2000), são áreas utilizadas por populações extrativistas tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, complementarmente, na agricultura e na criação de animais de pequeno porte. Têm como objetivos básicos proteger os meios de vida e a cultura dessas populações, de forma a garantir o uso sustentável dos recursos naturais. Além de ser uma das formas de proteção do bioma amazônico e resguardo da legitimidade das populações locais Também protege as famílias que vivem do extrativismo contra os conflitos com madeireiros e grileiros (Sousa & Ferreira 2006).

A RESEX do Rio Cajari, foi criada por meio do Decreto nº 99.145 de 1990, possui uma área de 501.771 ha e está situada no extremo sul do estado do Amapá, abrangendo os municípios de Laranjal do Jari, Mazagão e Vitória do Jari.

As comunidades da reserva vivem da coleta e beneficiamento da castanha-da-amazônia no alto rio Cajari (áreas de terra firme), da extração do palmito e do fruto do açaí no médio (várzea e campos inundados) e baixo rio Cajari (várzeas e igapós), além da pesca e do manejo do camarão na foz do rio Cajari e nos rios Ariramba e Ajuruxi (Drumond *et al.* 2008).

Atualmente a Resex Cajari possui, aproximadamente, 50 comunidades, 13 delas vivendo da extração da castanha (Jesus *et al.* 2013), representando o principal produto da economia familiar extrativista na região sul do Amapá.

A área que hoje compreende a Reserva Extrativista Rio Cajari foi habitada historicamente por índios Waiano e Apalai. No século XIX muitos nordestinos vieram para trabalhar na extração da borracha e também se estabeleceram na região, passando a praticar também o extrativismo da castanha (Paiva 2009).

Essa área passou a ser dominada por um comerciante que administrava a extração da castanha, e que depois vendeu o empreendimento a um grupo de empresários, que mantiveram o comércio e a estrutura do extrativismo. No entanto, esses empresários direcionaram as atividades para o fomento da produção agrícola (Drumond *et al.* 2008).

Segundo os mesmos autores, no final do século XIX esse empreendimento foi vendido à Daniel Ludwig, que tinha o objetivo de estabelecer uma produção agrícola e florestal de larga escala para atender demandas das grandes cidades, chamado de

Projeto Jari. Com a instalação do empreendimento de Ludwig e posterior construção da rodovia em 1986, ligando o sul do Amapá à capital Macapá, as atividades agrícolas tornaram-se mais rentáveis em relação ao extrativismo, vindo a se tornar a atividade econômica de maior importância na época (Sousa & Ferreira 2006).

Com a implantação do Projeto Jari, muitos conflitos ocorreram com as comunidades locais (agroextrativistas) em função dos interesses contrastantes. A partir de então, as comunidades passaram a se organizar em associações, cooperativas e a estabelecer alianças para fortalecer o movimento contra o empreendimento. A proposta de criação de Reservas Extrativistas aconteceu no I Encontro Anual dos Seringueiros, em 1985, sob a liderança de Chico Mendes. Após o seu assassinato e com as fortes reações e pressões nacionais e internacionais. Isso fez com que o governo brasileiro transformasse essas áreas em RESEX, como forma de garantir a legitimidade do uso da terra das comunidades tradicionais. E a RESEX Cajari foi uma das primeiras reservas criadas no Brasil.

As intervenções nos ambientes da RESEX-CA estão estabelecidas no Plano de Utilização da reserva extrativista (PU). Este instrumento de gestão tem como fundamento fazer a junção dos conhecimentos e experiências dos moradores da reserva extrativista, com os preceitos legais de intervenção na fauna e flora protegidas, que se encontram definidos em lei (Sousa & Ferreira 2006).

A população está organizada em associações e cooperativas, como por exemplo, Cooperativa Mista de Produtores e Extrativistas do Rio Iratapuru (COMARU), Associação dos Trabalhadores e Agroextrativistas da Reserva do Rio Cajari (ASTEX-CA), Associação dos Moradores do Rio Cajari (AMAEX-CA), Associação dos Trabalhadores dos Rios Muriacá e Cajari (AMAER-CA), Cooperativa dos Produtores agroextrativistas da Reserva do Rio Cajari (COOPER-CA) e cooperativa Mista dos Trabalhadores Agroextrativistas do Alto Cajari (COOPERALCA).

Muitos projetos já foram desenvolvidos na reserva visando criar oportunidades sociais e econômicas para aquela população. O mais recente foi o projeto Carbono Cajari – agroextrativismo da castanha na Resex do Cajari, patrocinado pelo Programa Petrobras Ambiental, tendo como proponente a Associação dos Trabalhadores Agroextrativistas do Alto Cajari (ASTEX-CA). Seu objetivo geral foi trabalhar com os castanheiros a fixação de carbono e emissões evitadas pela conservação das

florestas e da biodiversidade associada ao bioma amazônico, contribuindo no combate ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

Essa iniciativa prevê o fortalecimento do extrativismo e da cadeia de valor da castanha-da-amazônia, aliando desenvolvimento sustentável e conservação dos recursos naturais em uma Unidade de Conservação federal, por reconhecer que a atividade castanheira é fundamental para manter os estoques de carbono e os serviços ecossistêmicos da floresta (Jesus *et al.* 2013).

## **2.2. CASTANHEIRA (*Bertholletia excelsa* Bonpl.)**

A *Bertholletia excelsa* Bonpl. é conhecida vulgarmente como castanha-do-pará, castanha-do-brasil e mais recentemente como castanha-da-amazônia. Essa nova denominação busca representar a verdadeira distribuição geográfica da espécie, que ocorre na Amazônia de modo geral, em países como a Venezuela, Peru, Bolívia, Colômbia e em outros estados da Amazônia brasileira, como o Pará, Amazonas, Roraima, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amapá.

No Amapá, as áreas de maior produção de castanha ficam na região sul do estado, principalmente nas terras altas, sendo a região do Jari a que detém o maior potencial produtivo, destacando-se os vales dos rios Maracá, Iratapuru e Cajari (Silva 2006).

A espécie se desenvolve bem em regiões com clima quente e úmido e em áreas de terra firme, não suportando local com grande retenção de água. São encontradas em solos argilosos ou argilo-arenosos, podendo também se desenvolver em solo concrecionário laterítico (piçarra) (Müller *et al.* 1995). Os mesmos autores ressaltam que as maiores concentrações de castanheiras estão onde há predomínio de tipos climáticos tropicais chuvosos com ocorrência de períodos de estiagem definidos. De acordo com Locatelli *et al.* (2005), a espécie é encontrada em solos que são profundos, apresentando textura média, bem drenados, com topografia levemente ondulada, e não susceptíveis a inundações, corroborando com o que foi apresentado por Müller *et al.* (1995).

As castanheiras chegam a atingir, quando adultas, de 50m até 60m de altura, diâmetro de 2m até 4m, e idade estimada em mais de 800 anos, apresentando boa produção de frutos (Müller *et al.* 1995; Vilhena 2004). Sua madeira, com densidade



de 0,70 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>, apresenta boas propriedades como resistência ao ataque de xilófagos, e qualidade para a construção civil e naval (Chaves 2007). Até a década de 90 era muito procurada por madeireiros, pelo fato da sua madeira ser resistente, de boa qualidade e fácil processamento. No entanto, em algumas regiões da Amazônia o corte intensivo devastou castanhais (Vieira *et al.* 2008).

Em 1994 foi expedido o Decreto Federal nº 1.282, que proibiu o corte de castanheiras nativas. Depois em 2006 esse decreto foi regulamentado pelo Decreto nº 5.975, que acrescentou a proibição não só às castanheiras nativas, mas também às plantadas e regeneradas.

Atualmente, a espécie só pode ser explorada como produto florestal não madeireiro, por meio da coleta de seus frutos, que são usados principalmente para o consumo humano. Esse consumo pode ser *in natura* ou como produtos produzidos a partir da amêndoa (semente), como por exemplo, biscoito, farinha, tortas e outros subprodutos como o óleo e o leite.

A produção de frutos é muito variável e essa variação ocorre devido às condições ambientais, dos diferentes anos e até entre os indivíduos de uma mesma população (Kainer *et al.* 2007). Para Wadt *et al.* (2003), a variação na produção é comum quando se trata de espécies nativas, por não haver nenhum controle de idade ou material genético dos indivíduos analisados.

A estrutura diamétrica de populações de castanheiras em florestas densas em final de sucessão, normalmente apresenta castanheiras com elevados diâmetros, mas poucos jovens ou regenerantes. No entanto, a agricultura itinerante de corte e queima em passado não muito remoto na Resex Cajari, tem favorecido a formação e renovação dos castanhais na região, conforme constatado por Guedes *et al.* (2014).

Ao contrário do que muitos pensam, a agricultura itinerante favorece a renovação dos castanhais, pois há maior densidade de regenerantes de castanheiras nessas áreas de roça e capoeira em início de sucessão, onde também apresentam maior desenvolvimento, do que dentro da floresta em final de sucessão (Guedes *et al.* 2014). Todavia, esse favorecimento das castanheiras pela agricultura não ocorre quando há mecanização das áreas, que danificam os regenerantes e os impedem de rebrotar, por isso, projetos de larga escala para praticar a agropecuária extensiva não tem efeito benéfico.

### 2.3. ESTIMATIVAS DE VOLUME

Para se estimar o potencial de uma floresta é comum utilizar técnicas de inventário, em que uma amostra da população serve como base para se fazer algumas inferências como, por exemplo, diâmetro e altura média, frequência, volume, árvores por hectare, entre outros (Barros & Silva Junior 2009).

No caso de estimativas de volume, pode-se fazer com a árvore em pé, em que as medidas de DAP (Diâmetro à Altura do Peito) e altura comercial (HC) e total (HT) são identificadas com o auxílio de equipamentos, ou com a árvore abatida. Nesse caso, faz-se a cubagem rigorosa, medindo variáveis como diâmetro e comprimentos das seções ao longo do tronco (Oliveira *et al.* 2009).

Na cubagem rigorosa existem metodologias específicas ou combinadas para que se determine o volume real ( $V_{real}$ ) de uma árvore, pode-se citar as fórmulas Huber (1), Newton (2) e Smalian (3), expressas da seguinte forma, respectivamente.

$$V_{real}: g_m \times L \quad (1)$$

Em que:  $V_{real}$  = volume real comercial ( $m^3$ );  $g_m$  = área da seção mediana ( $m^2$ );  $L$  = comprimento da tora (m).

$$V_{real}: (g_1 + 4g_m + g_2)/6 \times L \quad (2)$$

Em que:  $V_{real}$  = Volume real comercial ( $m^3$ );  $g_1$  = área seccional da base da tora;  $g_m$  = área seccional do meio da tora ( $m^2$ );  $g_2$  = área seccional do topo da tora ( $m^2$ );  $L$  = comprimento da tora (m).

$$V_{real}: \frac{(g_1 + g_2) \times L}{2} \quad (3)$$

Em que:  $V_{real}$  = volume real comercial ( $m^3$ );  $g_1$  = área seccional da base da tora ( $m^2$ );  $g_2$  = área seccional do topo da tora ( $m^2$ );  $L$  = comprimento da tora (m).

O volume de Huber (1) é calculado por meio do produto da área seccional no meio da seção, multiplicado pelo comprimento da seção. Pelo método de Newton (2), o volume é calculado a partir da medição das áreas seccionais extremas e do meio e multiplicado pelo comprimento da seção. Já o de Smalian (3) o volume é calculado

por meio do produto da média aritmética obtida dos extremos das áreas seccionais, multiplicado pelo comprimento da seção.

A partir dessas informações é possível utilizar técnicas matemáticas para estimar o volume, a partir de variáveis que são de mais fácil mensuração e determinação. Schröder *et al.* (2013) citam os modelos baseados no fator de forma, e funções de afilamento, e aqueles com equações de volume, sendo necessário um banco de dados para desenvolver as técnicas. O fator de forma é um fator de redução que é multiplicado pelo volume cilíndrico, calculado a área basal e altura total, resultando no volume total da árvore. O método de função de afilamento, que também é a lógica do método anterior, consiste na descrição da mudança da dimensão do diâmetro ao longo de diferentes alturas.

Quanto às equações ou modelos, na ciência florestal existem alguns bem consolidados para estimativa de volume, sendo que as equações são ajustadas a partir de um grupo de dados amostrais (Schröder *et al.* 2013). Esses modelos podem ser de simples entrada e dupla entrada, dentre esses há os lineares, não lineares, simples e múltiplos, sendo sempre o volume a variável dependente (Amaro 2010).

Os modelos de simples entrada são mais práticos e econômicos, pois utilizam apenas uma variável independente para estimar o volume comercial ou total. Já nos modelos de dupla entrada, são usadas duas variáveis independentes, normalmente são o DAP combinado ou não com a altura.

Conforme Thomas *et al.* (2006), apesar das equações gerais serem eficazes na estimativa de volume, nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições. Os autores recomendam que sejam testados e ajustados estatisticamente, modelos específicos para identificar o melhor ajuste para cada ambiente. Isso porque, existem diferentes fisionomias florestais em função de fatores climáticos, edáficos e fisiográficos, e as equações acabam sendo muito específicas conforme a região e espécies usadas no estudo (Thomas *et al.* 2006; Scolforo *et al.* 2008; Amaro 2010;).

Por isso, é necessário submeter os dados amostrais, variável dependente e independentes, a uma análise de regressão, para se obter os parâmetros ou coeficientes que irão ajustar os modelos capazes de estimar o volume de cada árvore e do povoamento florestal (Amaro 2010).

Para definir a equação mais adequada a um tipo de floresta ou espécie, toma-se por base o Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{aj}$ ), pois este expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão, o Erro Padrão da Estimativa

(Syx) e Erro Padrão da Estimativa em porcentagem (Syx%), que representa a dispersão entre os valores observados e estimados (Schröder et al. 2013). Pode-se usar também análise de resíduos. Nesse caso, na comparação, o modelo que apresentar  $R^2_{aj}$  mais próximo de 1, menor Syx ou Syx% e melhor distribuição de resíduos será o mais adequado para aquela região, fitofisionomia ou espécie.

Por algumas vezes é possível que duas ou mais equações sejam adequadas para aquela base de dados amostrais, gerando dúvida sobre qual seria a melhor. Nesse caso é necessário fazer testes para compará-las, pode-se usar, por exemplo, o Teste t ou o Qui-quadrado. Scolforo *et al.* (2008) afirma que a escolha das equações é uma fase muito importante, pois erros de tendência de estimativas de volume de árvores acarretarão erros na estimativa da população, o que pode gerar informações sub ou superestimadas.

Entende-se que no primeiro momento, conhecer o volume real ( $V_{real}$ ) por meio de cubagem, seja da árvore em pé ou abatida, é primordial, pois esses dados amostrais servem de base na determinação de uma equação específica e consolidada. Após isso, somente com informações do DAP (Diâmetro à Altura do Peito) e/ou altura, pode-se estimar o volume individual das árvores ou do povoamento florestal, com precisão e dentro dos erros aceitáveis, apenas substituindo-os nas equações a serem ajustadas conforme os dados disponíveis (Silva *et al.* 2011).

### 3. HIPÓTESE

- No caso da castanheira, equações específicas para estimar o volume, tanto de dupla como de simples entrada, apresentam bons ajustes, pois as árvores apresentam fuste retilíneo e forma bem definida.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. GERAL**

Quantificar o volume de madeira estocado em castanheira-da-amazônia, a partir de equações matemáticas previamente selecionadas.

### **4.2. ESPECÍFICOS**

- Ajustar equações de volume específicas para castanheiras, comparando modelos de simples e dupla entrada para ajuste das equações volumétricas.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi desenvolvido na Reserva Extrativista do Rio Cajari, localizada no sul do Amapá, que abrange os municípios de Laranjal do Jari, Vitória do Jari e Mazagão (Figura 1).

Na parte alta da Resex Cajari, onde estão os castanhais, segundo a classificação fisionômico-ecológico da vegetação (IBGE 2012), podem ser encontradas as florestas ombrófila densa e ombrófila aberta, assim como áreas de transição com o cerrado. Nessa região, os tipos florestais ocorrem tanto em baixos platôs quanto em regiões submontana, quando considerado o relevo (Funi 2009).

A área abrange diversos domínios geomorfológicos e tipos de solos como os Latossolos amarelo e vermelho amarelo (RADAMBRASIL 1974). Na sua maioria, os solos apresentam textura entre média a argilosa, fertilidade natural baixa, concreções e vulnerabilidade à erosão.

O clima na RESEX Cajari apresenta alta pluviosidade, com poucas variações de temperatura. A precipitação anual fica em torno de 2.300 mm, sendo mais concentrada nos meses de dezembro a junho, com período tipicamente seco (precipitação < 100 mm por mês) de setembro a novembro (Souza & Cunha 2010).

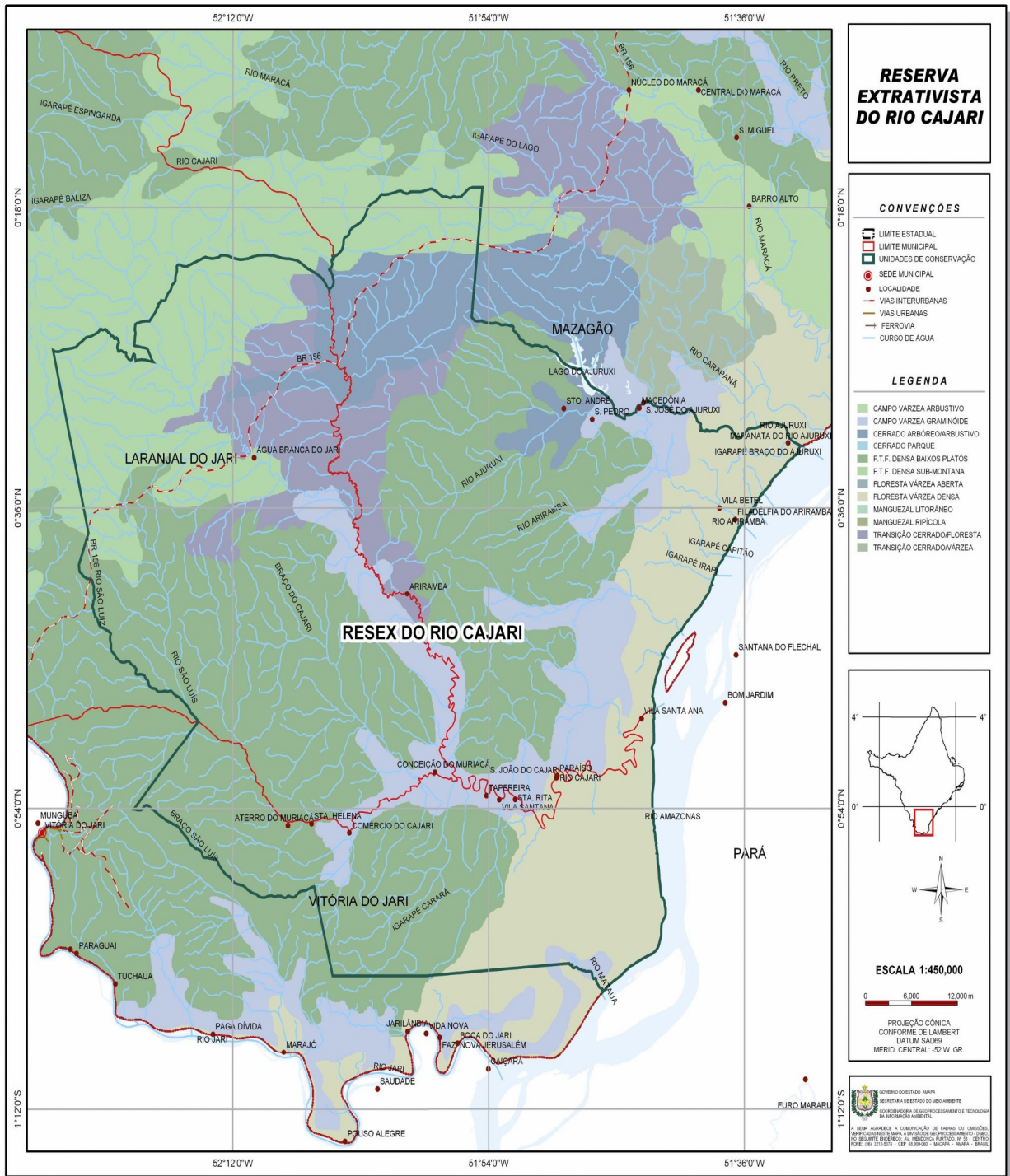


Figura 1 - Mapa de Localização da RESEX Cajari no Sul do Estado do Amapá. (Fonte: SEMA 2008).



## 5.2. CUBAGEM DAS CASTANHEIRAS

Para a estimativa de volume, foram usados indivíduos que caíram de forma natural (20 árvores) ou que foram derrubados pela Isolux Corsán (4 árvores), empresa responsável pela construção da Linha de Transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus. Essa empresa foi licenciada para abrir uma faixa de supressão de 7 m sob a linha de transmissão. A autorização para as atividades referentes a esse estudo foi expedida pelo ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (*Processo 42858-2*).

Para a determinação de uma equação de volume para os troncos das castanheiras, 24 árvores (unidades amostrais) foram selecionadas.

Essas árvores tiveram seus volumes obtidos por meio de cubagem rigorosa, pelo método Smalian combinado com Hohenald, com medição do diâmetro na base e no topo de cada uma das 10 seções (definidas pela divisão do comprimento comercial do tronco em 10 partes iguais) e também pela medição do DAP (Lima 2010) (Figura 2).

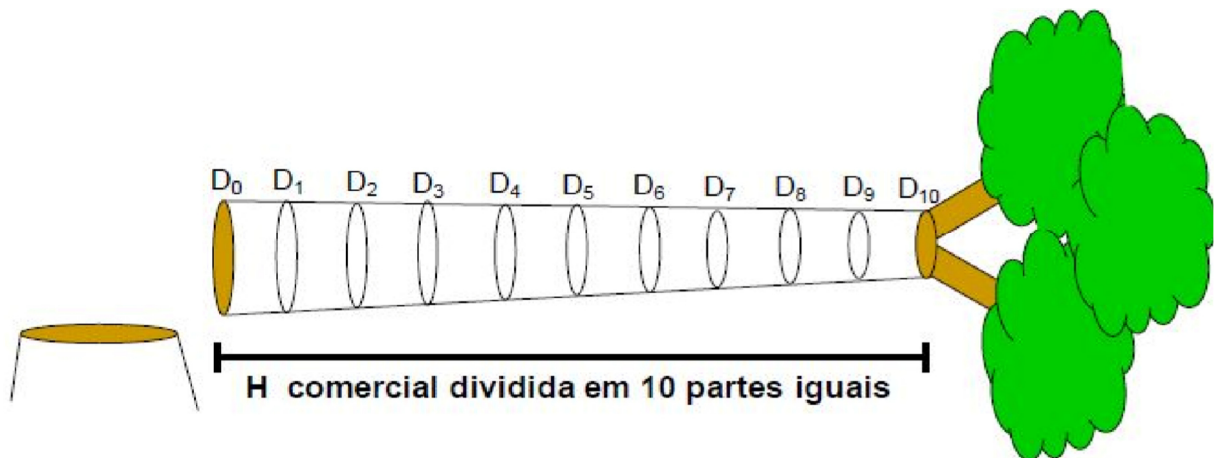


Figura 2 - Esquema de cubagem de árvore caída da espécie *Bertholletia excelsa* Bonpl., dividindo a altura comercial em 10 partes iguais, em floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, RESEX Cajari, Amapá (Fonte: Lima 2010).

Fórmula de Smalian combinado com Hohenald:

$$V_{\text{com}} = \left\{ \left( \frac{D_0^2 + D_1^2}{2} \right) + D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + D_4^2 + D_5^2 + D_6^2 + D_7^2 + D_8^2 + D_9^2 \right\} * \frac{H_c}{10}$$

Em que:  $V_{\text{com}}$  = volume comercial;  $D_n$  = diâmetro das seções;  $H_c$  = Altura comercial.

### 5.3. MODELOS VOLUMÉTRICOS

Foram ajustados 13 modelos matemáticos via análise de regressão, para estimar o volume comercial com casca das árvores e determinar a melhor equação de simples entrada e de dupla entrada (Barros & Silva Junior 2009; Encinas *et al.* 2009; Leite & Rezende 2010). Dos modelos selecionados, 4 são de simples entrada, em que o DAP (Diâmetro à Altura do Peito) é a variável independente, e 9 (nove) de dupla entrada, tendo o DAP e altura comercial do fuste (HC), combinadas ou não, como variáveis independentes. Os coeficientes dos modelos foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (Schneider *et al.* 2009).

Na Tabela 1 estão descritos os modelos volumétricos de simples e dupla entradas, selecionados e submetidos a ajustes e análises estatísticas.

Tabela 1 – Modelos volumétricos testados para a estimativa do volume comercial com casca da espécie *Bertholletia excelsa* Bonpl., em uma Floresta Ombrófila Densa, RESEX Cajari, Amapá.

VI	Autor	Equação	
DAP	Koperzky-Gehrhardt	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \xi_i$	(4)
	Hohenald-Krenn	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \xi_i$	(5)
	Husch	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \xi_i$	(6)
	Brenac	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 (1/d) + \xi_i$	(7)
DAP/ HC	Spurr	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \xi_i$	(8)
	Stoate	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + \xi_i$	(9)
	Näslund	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 d h^2 + \beta_4 h^2 + \xi_i$	(10)
	Meyer	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \xi_i$	(11)
	Meyer modificada	$V_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + \xi_i$	(12)
	Spurr (Ln)	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h) + \xi_i$	(13)
	Schumacher-Hall (Ln)	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + \xi_i$	(14)
	Schumacher-Hall	$V_i = \beta_0 (d^{\beta_1}) (h^{\beta_2}) + \xi_i$	(15)
Ogaya	$V_i = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h) + \xi_i$	(16)	

Em que: VI = Variáveis independentes; ln = logaritmo neperiano;  $V_i$  = volume ( $m^3$ );  $d$  = diâmetro medido a 1,3 m do solo (cm);  $h$  = altura do fuste (m);  $\beta_i$  = parâmetros a serem estimados;  $\xi_i$  = erro aleatório.

#### 5.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para determinação da melhor equação de simples entrada e de dupla entrada foram feitas comparações dos coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$  e  $S_{yx}\%$ ), e valor de F. Abaixo são descritos os critérios estatísticos:

Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aju}$ ), nesta análise quanto mais próximo de 1 (um) for o  $R^2_{aju}$ , melhor será a equação.

$$R^2_{aju} = R^2 - \left[ \frac{K-1}{N-K} \right] (1-R^2)$$

Em que:  $R^2$  = Coeficiente de determinação;  $K$  = número de coeficientes da equação;  $N$  = número de observações.

Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{real} - V_{est})^2}{n-p}}$$

Em que:  $V_{real}$  = volume individual real em  $m^3$ ;  $V_{est}$  = volume individual estimado em  $m^3$ ;  $n$  = número de árvores amostradas;  $p$  = número de parâmetros no modelo; e  $\bar{Y}$  = média aritmética do volume real.

Erro padrão da Estimativa em Porcentagem ( $S_{yx}\%$ ):

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100$$

Em que:  $S_{yx}$  = Erro padrão da Estimativa;  $\bar{Y}$  = média aritmética do volume real.

Para os modelos logarítmicos o erro padrão da estimativa foi corrigido na escala original da variável dependente, por meio do Índice de Furnival (IF ou IF%). Esse índice permite a comparação de equações ponderadas ou não, com as variáveis dependentes, transformadas ou não (Schneider *et al.* 1978; Silva & Bailey 1991).

Índice de Furnival Absoluto:

$$IF = f'(V_{real})^{-1} \exp\left(\frac{n-p}{2n}\right) * S_{yx}$$

Em que:  $f'(V_{real})^{-1}$  = derivada da variável dependente em relação ao volume dos indivíduos;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa.

Índice de Furnival em Porcentagem:

$$IF = \frac{IF}{Y} * 100$$

Em que: IF = Índice de Furnival Absoluto; Y = média aritmética do volume real.

Também se considerou a análise dos resíduos a partir do Desvio Médio Percentual (DMP) e distribuição gráfica dos resíduos, gerada a partir dos valores observados e estimados do volume, com intuito de verificar a magnitude de subestimativa ou superestimativa dos volumes estimados pelos modelos.

Foi empregado o teste t pareado, considerando variâncias equivalentes para comparar as estimativas realizadas para a melhor equação de simples e dupla entrada em relação ao volume real obtido por meio de cubagem, bem como comparar os ajustes dos modelos selecionados para indicar a viabilidade de uso de uma equação de simples entrada.

Para os ajustes e análises estatísticas na comparação dos modelos foi utilizada a versão trial do Software Statistica 8.0 (STATSOFT 2012).

## 6. RESULTADOS

O escopo de atuação dos modelos que serão avaliados pode ser visualizado na Tabela abaixo (Tabela 2), onde são apresentados os principais atributos das castanheiras que foram submetidas à cubagem rigorosa.

O volume real obtido das 24 árvores amostradas de castanheira foi de 436,44 m<sup>3</sup> com uma média de 18,19 m<sup>3</sup> e um erro padrão da média de 2,40 m<sup>3</sup>. As maiores castanheiras apresentaram altura total de 48 m, demonstrando a capacidade dessa espécie para ficar acima do dossel superior da floresta.

Tabela 2 – Variáveis dendrométricas das 24 castanheiras submetidas ao procedimento de cubagem rigorosa.

<b>Castanheira</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>HC (m)</b>	<b>HT (m)</b>	<b>Vreal</b>
1	89,2	26,9	44,6	12,63
2	95,5	18,1	35,8	7,62
3	126,6	28	48	25,66
4	138	19,7	38,2	16,54
5	134,9	28,5	43,7	22,12
6	133	23	51,8	18,83
7	167	22,5	48,5	24,01
8	153	24,5	40,5	27,36
9	116	26	38,93	13,04
10	91,6	30	38,71	5,01
11	81,1	33,2	46	10,04
12	116,2	23	34,4	9,73
13	100,5	19	35,8	10,78
14	149	15,8	38,5	17,90
15	91	22,17	40,97	11,79
16	144,1	19,5	39,5	19,81

17	168	19,6	37,71	36,69
18	154	17,7	33,3	18,55
19	99	27	38,5	16,49
20	139	21,5	41,5	21,66
21	225	22,3	40,2	60,29
22	84,5	25	35	8,46
23	69,9	13,7	29,7	4,19
24	130	20,8	32,8	17,21
MÉDIA				18,19
ERRO PADRÃO DA MÉDIA				2,40
TOTAL				436,44

Em que: DAP = Diâmetro à altura do Peito; HC = Altura comercial em metros; HT = Altura total em metros; Vreal = Volume real em m<sup>3</sup>.

Nas Tabelas 3 e 4, tem-se que os valores de F, obtidos da análise de variância, que foram altamente significativos para valores de  $\alpha = 1\%$ , indicando uma relação probabilística entre o volume e o conjunto de variáveis independentes para cada modelo.

Analisando separadamente os modelos de simples entrada (Tabela 3), a variação total dos dados explicada pela regressão reportou um bom ajuste, indicando um valor de  $R^2_{aj} = 0,77$  para a equação de Brenac a um valor de 0,86 para a equação de Koperzky-Gehrhart.

Os valores de erro padrão, absoluto e percentual, para as equações de Husch e Brenac foram superiores, apresentando ligeira tendenciosidade, com subestimativas dos volumes totais em torno de 3,27% e 3,05%, as maiores entre os modelos de simples entrada. Entretanto, segundo Rolim *et al.* (2006), esses resultados também sugerem cautela no seu uso, devendo ser testado com maior número de árvores dentro da amplitude dendrométrica coletada.

Para os modelos de dupla entrada (Tabela 4) não há diferenças significativas nos valores de coeficiente de determinação ajustado, pois todos os ajustes apresentaram valores aceitáveis dentro dos padrões estatísticos de mensuração floresta.

A equação de Schumacher-Hall, em sua estrutura não linear, reportou o melhor ajuste ( $R^2_{aj} = 0,90$ ;  $Sy_x(x) = 20,3\%$ ) tanto quando comparado com as equações de dupla entrada, quanto, principalmente quando avaliado em relação às de simples entrada.

A comparação do volume real com o volume obtido pela equação de Koperzky-Gehrhardt demonstrou que não existe diferença significativa, ( $T = -0,0012$ ;  $p > 0,0001$ ;  $GL = 46$ ) indicando a aceitação da hipótese nula de que os volumes são similares do ponto de vista estatístico. Assim, o modelo de simples entrada de Koperzky-Gehrhardt pode ser indicado para estimar o volume de castanheira, por meio apenas da variável  $DAP^2$ , desde que se aceite a probabilidade de erro associada às estimativas com o modelo.

A comparação do volume real com o volume obtido pela equação de Schumacher-Hall também demonstrou não existir diferença estatística ( $T = 0,0532$ ;  $p > 0,0001$ ;  $GL = 46$ ), indicando a aceitação da hipótese nula de que os volumes são similares. Por fim, comparando o volume obtido pela equação de Koperzky-Gehrhardt com o volume obtido pela equação de Schumacher-Hall também não houve diferença significativa ( $T = 0,0563$ ;  $p > 0,0001$ ;  $GL = 46$ ). Desta forma, aceita-se a hipótese nula de que os volumes gerados, tanto pela equação de simples entrada quanto pela equação de dupla entrada são similares, podendo ser indicada ambas para estimar o volume de castanheira, desde que, sejam considerados aceitáveis os erros associados às estimativas.

Quanto ao critério do  $R^2_{aj}$ , a precisão das equações de volume foi maior nos modelos de dupla entrada, do que nos de simples entrada, com exceção de Spurr (Ln) e Schumacher-Hall (Ln). Barros e Silva Junior (2009), trabalhando em uma floresta tropical densa, na região oeste do estado do Pará, observou o mesmo padrão.



Tabela 3 – Ajuste dos modelos de volume de simples entrada para castanheiras localizadas no Sul do Estado do Amapá.

AUTORES	$V_{est}$ (m <sup>3</sup> )	F	R <sup>2</sup> aj	Syx (IF)	Syx(%) (IF%)	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Koperzky-Gehrhardt	436,54	147,32	0,86	4,34	23,88	-0,34226 <sup>ns</sup>	0,00110*	
Hehenald-Kren	437,30	78,98	0,87	4,22	23,23	13,04412 <sup>ns</sup>	-0,2034 <sup>ns</sup>	0,00182*
Husch	422,17	85,52	0,79	6,74	37,07	-6,3844*	1,9032*	
Brenac	423,13	40,93	0,78	6,75	37,12	-8,03467 <sup>ns</sup>	2,18774 <sup>ns</sup>	33,32044 <sup>ns</sup>

$V_{est}$  = Volume estimado em m<sup>3</sup>; F= valor obtido da análise de variância; R<sup>2</sup>aj= Coeficiente de correlação ajustado; Syx e Syx(%)= Erro padrão da estimativa ; IF e IF(%)= Índice de Furnival;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = Coeficientes de regressão; <sup>ns</sup>= não significativo ( $p < 0,01$ ) ; \* = significativo ( $p < 0,01$ ).

Tabela 4 - Ajuste dos modelos de volume de dupla entrada para castanheiras localizadas no Sul do Estado do Amapá.

AUTORES	$V_{est}$ (m <sup>3</sup> )	F	R <sup>2</sup> aj	Syx (IF)	Syx(%) (IF%)	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
Spurr	419,07	199,61	0,90	3,80	20,88	-1,22652 <sup>ns</sup>	0,00005*				
Stoate	435,42	64,82	0,89	3,86	21,22	-0,70894 <sup>ns</sup>	0,00029 <sup>ns</sup>	0,00004 <sup>ns</sup>	-0,0254 <sup>ns</sup>		
Naslund	436,44	49,44	0,89	3,84	21,11	0,28354 <sup>ns</sup>	-0,0002 <sup>ns</sup>	0,00008 <sup>ns</sup>	-0,0002 <sup>ns</sup>	0,01430 <sup>ns</sup>	
Meyer	436,44	39,78	0,89	3,84	21,10	70,86251 <sup>ns</sup>	-1,3641 <sup>ns</sup>	0,00634 <sup>ns</sup>	0,0545 <sup>ns</sup>	-0,0002 <sup>ns</sup>	-2,8122 <sup>ns</sup>
Meyer modificada	436,44	50,64	0,90	3,80	20,88	9,22831 <sup>ns</sup>	-0,1791 <sup>ns</sup>	0,00109 <sup>ns</sup>	0,00089 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	
Spurr (Ln)	420,18	97,34	0,81	6,40	35,18	-9,2951*	0,94804*				
Schumacher -Hall (Ln)	423,41	53,07	0,82	6,07	33,38	-8,4601*	1,9639*	0,5746*			
Schumacher -Hall	432,16	256,26	0,90	3,69	20,30	0,00004 <sup>ns</sup>	2,16792*	0,77237 <sup>ns</sup>			
Ogaya	443,90	387,14	0,90	3,74	20,56	0,00032 <sup>ns</sup>	0,00004*				

$V_{est}$  = Volume estimado em m<sup>3</sup>; F= valor obtido da análise de variância; R<sup>2</sup>aj= Coeficiente de correlação ajustado; Syx e Syx(%)= Erro padrão da estimativa ; IF e IF(%)= Índice de Furnival;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  = Coeficientes de regressão; <sup>ns</sup>= não significativo (p<0,01) ; \* = significativo (p<0,01).

Na distribuição residual (Figuras 3 e 4) dos ajustes pode ser analisada a homogeneidade de variância e a independência dos resíduos em relação ao diâmetro. Também pode ser analisada a precisão da estimativa e o erro associado, sendo que quanto mais próximos os resíduos estiverem da linha do zero, maior a precisão e menor o erro. Em todas as análises, também podem ser verificadas as diferenças da amplitude, que podem gerar super ou subestimativas.

Para as equações de simples entrada (Figura 3), ocorre uma maior dispersão em torno da reta de erro percentual, comprovando a necessidade de inclusão da variável altura nos modelos.

Para as estimativas obtidas pelas equações de dupla entrada (Figura 4), a nuvem de pontos se distribui com menor amplitude, destacando-se as equações de Schumacher-Hall e Ogaya, de estrutura não linear.

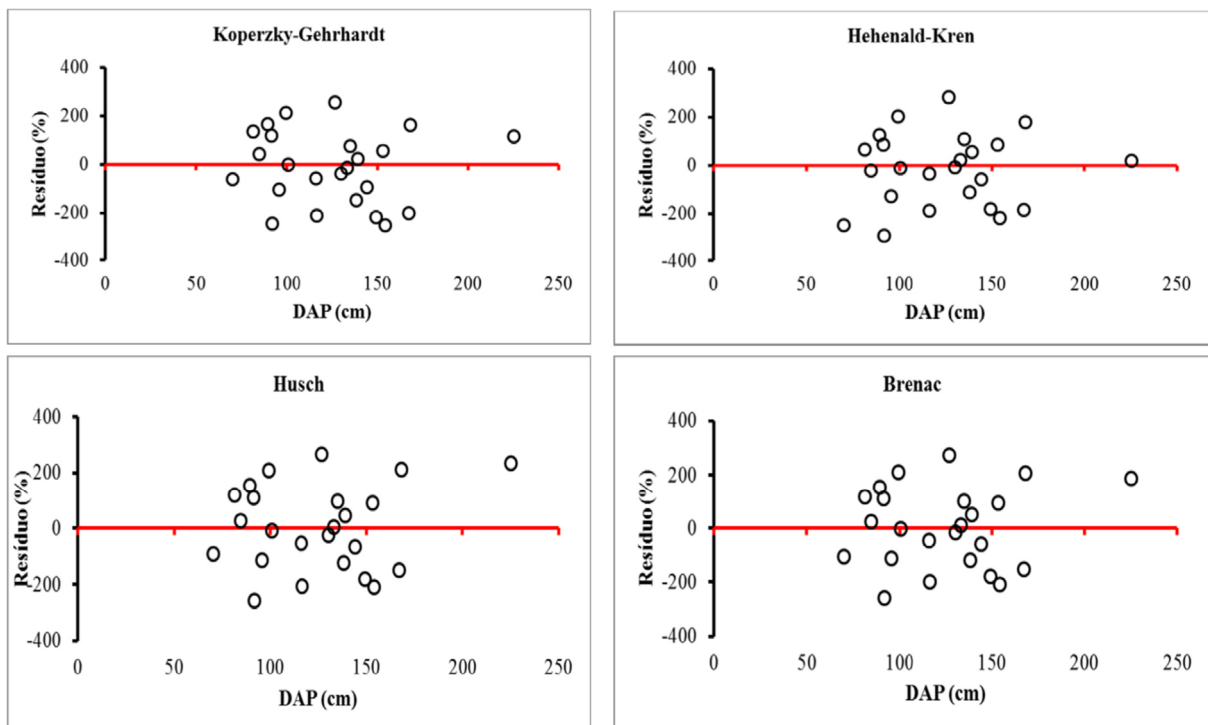


Figura 3 - Distribuição residual em  $m^3$ , dos modelos de simples entrada a partir do DAP das castanheiras.

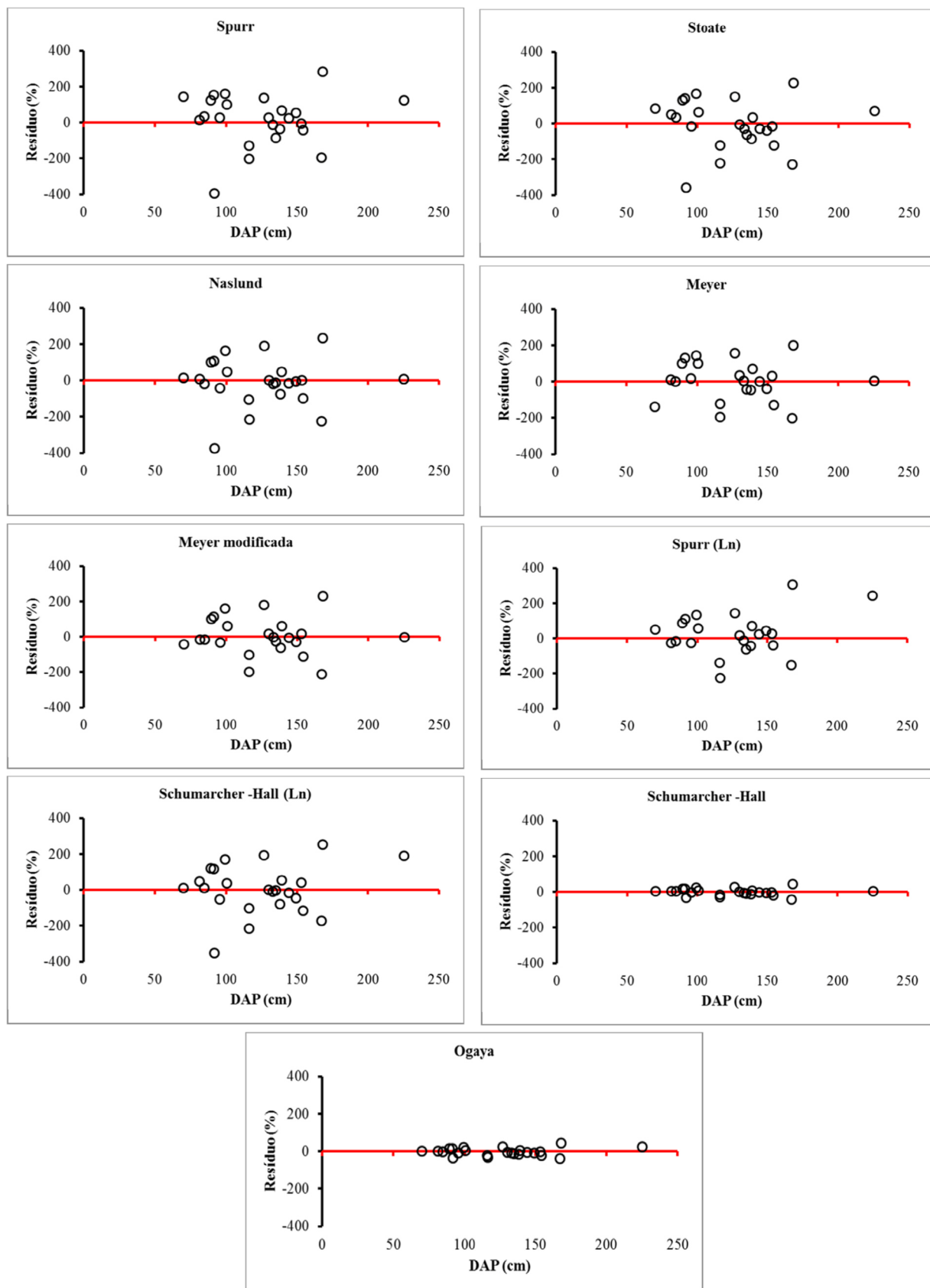


Figura 4 - Distribuição residual em  $m^3$ , dos modelos de dupla entrada a partir do DAP das castanheiras.

No presente estudo, as equações de Koperzky–Gehrhardt e Schumacher-Hall (aritmética), são as que permitem obter estimativas mais precisas dos volumes, pois foram as que apresentaram melhores ajustes estatísticos, conforme observado na Tabela 3 e 4, e nas figuras 3 e 4.

Para a equação de simples entrada os parâmetros estatísticos foram:  $F = 147,32$ ;  $R^2_{aj} = 0,86$ ;  $S_{yx} = 4,34 \text{ m}^3$ ;  $S_{yx}(\%) = 23,88\%$ .

Modelo Koperzky–Gehrhardt (4):

$$V = -0,34226 + 0,00110 \cdot d^2$$

Para a equação de dupla entrada os parâmetros estatísticos foram:  $F = 256,26$ ;  $R^2_{aj} = 0,90$ ;  $S_{yx} = 3,69 \text{ m}^3$ ;  $S_{yx}(\%) = 20,30\%$ .

Modelo Schumacher-Hall não linear (15):

$$V = 0,00004 (d^{2,1679}) \cdot (h^{0,77237})$$

## 7. DISCUSSÃO

Verifica-se que a variação diamétrica das castanheiras cubadas (69,9 cm a 225 cm) (Tabela 2), permite a utilização das equações ajustadas para árvores com essa mesma variação. O escopo envolve as castanheiras adultas, definidas por Wadt *et al.* (2005), como aquelas com diâmetro acima de 50 cm de DAP. Essa variação abrange a maioria das castanheiras dos castanhais existentes no sul do Amapá em floresta madura, sendo as castanheiras mais importantes em termos de estoque de carbono.

Esse potencial é significativo e importante, pois a castanheira está entre as 20 espécies que apresentam hiperdominância de biomassa florestal, isso quer dizer que uma única espécie ou algumas podem representar o maior percentual de biomassa e estoque de carbono de uma determinada floresta (Fauset *et al.* 2015), e segundo inventário feito na RESEX Cajari, a área apresenta mais de 79.000 castanheiras

adultas. Essas informações permitem valorar ainda mais a atividade extrativista no local, haja vista, só pode ser explorada como produto florestal não-madeireiro.

Quanto aos parâmetros estatísticos, referentes a Tabela 3 e 4 indicam a necessidade e importância da inclusão da variável altura nos modelos, fornecendo resultados mais precisos na quantificação do volume. No entanto, essas avaliações devem ser cuidadosas, por causa dos erros embutidos na medição da altura.

Ainda comparando as tabelas 3 e 4, nota-se que, do ponto de vista estatístico, para a espécie castanheira, nas equações que não têm variável dependente transformada para logaritmo, os resultados, para as de dupla entrada, apresentaram-se menos tendenciosos. Entretanto, o bom ajuste encontrado pelas equações de simples entrada, principalmente as de Koperzky-Gehrhardt ( $V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \xi_i$ ) e Hohenald-Krenn ( $V_i = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \xi_i$ ), pode ser explicado pela forte correlação da variável diâmetro com o volume, o que também é importante para inventários florestais.

No caso do resíduos das equações (Figura 3 e 4), eles se comportam de forma aleatória, ou seja, seguem um padrão de alternância ao longo do eixo, a condição de independência é satisfeita. Isto pode traduzir o fato de existir uma relação linear entre as variáveis ou então, constam no modelo uma ou várias variáveis independentes que influenciam significativamente a variável dependente e, portanto também os erros.

Diversos estudos sobre determinação de equações volumétricas para espécies nativas do Bioma Amazônia já foram desenvolvidos. Por exemplo, para o município de Cotriguaçu - Mato Grosso (floresta nativa do bioma Amazônia), Colpini *et al.* (2009), recomendam a equação de Schumacher-Hall ( $V_i = \beta_0 (d^{\beta_1}) (h^{\beta_2}) + \xi_i$ ), pois esta apresentou maior precisão para estimar o volume em função do diâmetro e da altura total das árvores.

No estudo de Silva *et al.* (2011), em Paragominas/PA, também com espécies nativas, apresentando DAP entre 49 cm a 127 cm, o modelo de Schumacher-Hall ( $V_i = \beta_0 (d^{\beta_1}) (h^{\beta_2}) + \xi_i$ ) apresentou o melhor ajustamento aos dados e gerou as melhores estimativas de volume comercial.

Em uma unidade de Conservação de Uso Sustentável no Estado do Amapá, onde predomina floresta ombrófila densa de baixos platôs e submontana, e também de transição cerrado-floresta, Aparício (2013) desenvolveu um estudo para saber se uma equação volumétrica, a partir de árvores caídas, pode ser utilizada para estimar

com confiança o volume das árvores com DAP variando de 10,3 a 123,4 cm, e alturas comerciais de 3 a 28,9 m. O autor constatou que as equações de simples e dupla entrada apresentaram resultados confiáveis para estimativa de volume, e recomendando para aquele ambiente a equação volumétrica de Schumacher e Hall não linear ( $LnV_i = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h + \xi_i$ ).

Ribeiro *et al.* (2014) trabalhando na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará, testou modelos volumétricos nas espécies Maçaranduba (*Manilkara huberi*), Jarana (*Lecythis lúrida*) e Jatobá (*Hymenaea courbaril*), todas com DAP  $\geq 70$  cm. Dentre os modelos testados os de Schumacher-Hall ( $V_i = \beta_0 (d^{\beta_1}) (h^{\beta_2}) + \xi_i$ ) e Spurr ( $V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \xi_i$ ), na forma logarítmica, foram os que apresentaram melhores estimativas de volume.

Para as equações de Schumacher-Hall ( $V_i = \beta_0 (d^{\beta_1}) (h^{\beta_2}) + \xi_i$ ), a Maçaranduba, Jarana e Jatobá apresentaram valores de  $R^2_{aj}$  de 93,54%, 94,39% e 93,43%, respectivamente. Para a equação de Spurr ( $V_i = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \xi_i$ ) foram de 94,56%, 93,94%, 91,44%. E erro padrão da estimativa abaixo de 16,29%, para os dois modelos. Demonstrado que a equação se ajusta bem à nível de espécie.

Cada estudo tem suas peculiaridades, e os resultados podem variar conforme os ambientes, espécies ou combinações de diversos fatores (Thomas *et al.* 2006; Scolforo *et al.* 2008). Todavia, o modelo de Schumacher-Hall tem sido adequado para diferentes espécies e situações, se consolidando cada vez mais como o modelo mais utilizado na Engenharia Florestal para estimativa de volume comercial. No entanto, para que a precisão do modelo possa ser bem aproveitada, torna-se necessário medições precisas da altura das árvores, tarefa ainda bastante difícil de ser realizada durante os inventários florestais. Além disso, a medição da altura aumenta os custos do inventário, que torna-se bem mais demorado e oneroso.

Assim, desde que apresente ajustes significativos, dependendo da análise do que se perde em termos de capacidade preditiva quando se usa um modelo de simples entrada, que não depende da altura, modelos que utilizam apenas o diâmetro como entrada podem ser recomendados. Esses modelos são mais simples, de mais fácil aplicação e devem ser utilizados quando não for possível obter dados precisos de altura, ou quando o erro embutido na medição da altura for maior do que a diferença no erro padrão da estimativa em relação ao de dupla entrada.

No caso do presente estudo, a inclusão da altura no melhor modelo de dupla entrada gerou uma diminuição de 4% no erro das estimativas. Mas como a variável altura é mais susceptível a erros de medição, que podem facilmente superar os 4% durante os inventários na floresta nativa, é mais plausível utilizar o modelo de simples entrada.



## 8. CONCLUSÕES

- Modelos de simples e dupla entrada apresentaram bons ajustes para estimativa do volume comercial de castanheiras a partir da medição do diâmetro e altura. A inclusão da altura no melhor modelo de dupla entrada melhora o ajuste e gera uma diminuição do erro das estimativas, em relação ao melhor modelo de simples entrada.
- No entanto, como a medição da variável altura na floresta nativa é mais susceptível a erros de medição, recomenda-se a utilização do modelo de simples entrada de Koperzky–Gehrhardt, para estimar o volume comercial de castanheiras a partir da relação como quadrado do diâmetro.

## 9. REFERÊNCIAS

Abdala, G. C. 2015. Amazônia Brasileira: desafios para uma efetiva política de combate ao desmatamento. WWF Brasil, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Amaro, M. A. 2010. Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no município de Viçosa-MG. Tese de doutorado da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Aparício, P. S. 2013. Subsídios para o manejo sustentável na floresta estadual do Amapá: estrutura e dinâmica. Tese de doutorado da Universidade Federal do Amapá, Amapá.

Barros, P. L. C., and A. T. Silva Júnior. 2009. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no Município de Anapu, oeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental, Oriental. *Revista Ciências Agrárias* **51**:115-126.

Brasil, Decreto Federal nº 1.282, de 19 de outubro de 1994: regulamenta os artigos 15, 19, 20 e 21, da Lei nº 4.771(1), de 15 de setembro de 1965, e dá outras providências. Câmara dos Deputados, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Brasil, Decreto nº 99.145 de 12 de março de 1990: criação da Reserva Extrativista do Rio Cajari. 1990. Presidência da República, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

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 nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, e 3.420, de 20 de abril de 2000, e dá outras providências. Presidência da República, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Brasil, Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000: regulamenta o art. 225, § 1, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Congresso Nacional, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Chaves, N. 2007. Dossiê Técnico: Cultivo da Castanha-do-Brasil. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Colpini, C.; D. P. Travagin, T. S. Soares, and V. S. M. Silva. 2009. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. *Acta Amazônica* **39** (1): 97-104.

Drummond, J. A., T. C. A. C. Dias, and D. M. C. Brito. 2008. Reserva Extrativista Rio Cajari. Pages 72-77 in J. A. Drummond, T. C. A. C. Dias, and D. M. C. Brito. Atlas - Unidades de Conservação do Amapá. MMA/ICMBio/AP-GEA/SEMA, Macapá, Amapá, Brasil.

Encinas, J. I., O. A. Santana, J. E. de Paula, and C. R. Imaña. 2009. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. *Floresta* **39** (1):107-116.

Fauset, H., et al. 2015. Hyperdominance na floresta amazônica ciclagem de carbono. *Nature Communications* **6**: 68-57.

Fonseca, V. M., and A. M. O. Cunha. 2013. Amazônia Brasileira, recursos hídricos e o “novo código florestal”: uma leitura reflexivo – crítica!. *Observatorium: revista eletrônica de geografia* **5(14)**: 40-62.

Funi, C. 2009. Padrões espaciais e temporais do desmatamento na Reserva Extrativista do Rio Cajari, Amapá, Brasil. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Amapá, Amapá.

Guedes, M. C., E.S. Neves, E. Gomes, P. M. Paiva, J. B. Costa, M. F. Freitas, and L. Lemos. 2014. “Castanha na roça”: expansão da produção e renovação dos castanhais em áreas de agricultura itinerante no Amapá. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* **9**: 381-398.

Hiramatsu, N. A. 2008. Equações de volume comercial para espécies nativas na região do Vale do Jari, Amazônia Oriental. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Paraná, Paraná.

[IBGE] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira (Manuais Técnicos em Geociências). IBGE, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

[IPAM] Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2014. O Aumento no Desmatamento na Amazônia em 2013: um ponto fora da curva ou fora de controle?. IPAM/ISA/IMAZON, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Jesus, F.; A. Firmino, J. Costa, and M. C. Guedes. 2013. Atividades produtivas dos castanheiros da RESEX Rio Cajari, Amapá. *Congresso de Ecologia do Brasil XI*: 1-3.

Kainer, K.A., M.D. Malavasi, M.L. Duryea, and E. Silva. 2007. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) seed characteristics, preimbibition and germination. *Seed Science and Technology* **27**: 731-745.

Klimas, C., A. Raposo, L. H. de Wadt, and K. A. Kainer. 2007. *Estudos ecológicos e genéticos para manejo e conservação da andiroba*. Disponível em: <http://www.agenciaamazonia.com.br/materia.php?id=59>. Acesso em: 22 maio 2013.

Locatelli, M., A. H. Vieira, E. P. Martins, V. F. Souza, and R. S. Macedo. 2005. Crescimento em diâmetro de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), cultivada em solo de baixa fertilidade. Circular Técnica **79**: 1-4.

Leite, F. S., and A. V. Rezende. 2010. Estimativa do volume de madeira partindo do diâmetro da cepa em uma área explorada de Floresta Amazônica de terra firme. Ciência Florestal **20(1)**: 71-82.

Lima, A. J. N. 2010. Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do Estado do Amazonas. Tese de doutorado da Universidade Federal do Amazonas, Amazonas.

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

Müller, C. H., F. J. C. Figueiredo, A. K. Kato, J. E. U. Carvalho, R. L. B. Stein, and A. de B. Silva. 1995. A cultura da castanha-do-brasil. Coleção Plantar, Embrapa-SPI, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Oliveira, M. L. R., H. G. Leite, S. L. R. Garcia, J. C. C. Campos, C. P. B. Soares, and R. C. Santana. 2009. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. Revista Árvore **33(1)**: 133-141.

Paiva, P. M. V. 2009. A coleta intensiva e a agricultura itinerante são ameaças para os castanhais do Reserva Extrativista do Rio Cajari?. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Amapá, Amapá.

[RADAMBRASIL]. 1974. Vegetação: Levantamento de Recursos naturais. Projeto RADAMBRASIL **5**: 22.

Ribeiro, R. B. S., J. R. V. Gama, and L. O. Melo. 2014. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. Cerne **20(4)**: 605-612.

Rocha, C. C. C. 2011. Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás. Dissertação de mestrado da Universidade de Brasília, Brasília.

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

Sawyer, D. 2009. Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. Sociedade e Estado **24(1)**: 149-171.

Schneider, P.R., et al. 2009. Análise de regressão aplicada à engenharia florestal. CEPEF/FATEC, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Schröder, T., D. Pereira, and N. S. A Hofiço. 2013. Comparação de Métodos de Estimativa de Volume Total para *Eucalyptus grandis*. Floresta e Ambiente **20(4)**: 480-486.

Scolforo, J. R. et al. 2008. Equações para estimar o volume de madeira das fisionomias, em Minas Gerais. Pages 67-101 in J. R. Scolforo, A. D. Oliveira, and F. W. Acerbi Júnior. Inventário Florestal de Minas Gerais – Equações de Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono para Diferentes Fisionomias da Flora Nativa. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

[SEMA] Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Amapá. 2008. Atlas das Unidades de Conservação do Estado do Amapá. IBAMA/SEMA-AP, Macapá, Amapá, Brasil.

Silva, E. N., A. C. Santana, W. T. Queiroz, and R. J. Sousa. 2011. Estimação de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, Estado do Pará. Amazônia: Cia. e Desenvolvimento **7(13)**: 25-32.

Silva, J. A. A., and R. L. Bailey. 1991. Considerações teóricas sobre o uso correto do índice de furnival na seleção de equações volumétricas. Revista Árvore **15(3)**: 323-327.

Silva, C. N. Homem, meio e o uso dos recursos naturais na Amazônia. 2006. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí **6**: 35-51.

Sousa, W. P., and L. A. Ferreira. 2006. Os sistemas agrários com castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) na região sul do Estado do Amapá. Amazônia - Cia & Desenvolvimento **2(3)**: 217-246.

Souza, E. B., and A. C. Cunha, 2010. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. Pages 177-195 in A. C. Cunha, E. B. Souza, and H. F. A. Cunha. Tempo, clima e recursos hídricos: resultados do Projeto REMETAP no estado do Amapá. IEPA, Macapá, Amapá, Brasil.

[STATSOFT] STATISTICA (Data Analysis Software System), version 8. StatSoft, Inc., 2012.

Thomas, C., C. M. Andrade, P. R. Schneider, and C. A. G. Finger. 2006. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. Ciência Florestal **16(3)**: 319-327.

Vieira, A. H., M. M. Bentes – Gama, A. C. Oliveira, R. B. Rocha, and M. Locatelli. 2008. Comportamento fenológico da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em Porto Velho, Rondônia. Pages 53-58 in L. H. de O. Wadt. Manejo Sustentável de

Produtos Florestais Não-madeireiros na Amazônia. Projeto Kamukaia – EMBRAPA, Rio Branco, Acre, Brasil.

Vilhena, M. R. 2004. Ciência, tecnologia e desenvolvimento na economia da castanha-do-brasil. Dissertação de mestrado da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Wadt, L. H. de O.; K. A. Kainer, and D. A. P. Gomes-Silva. 2003. Estrutura populacional e produtividade de *Bertholletia excelsa* H.B.K. no sudoeste da Amazônia. Pages 89-90 *in* Congresso de Ecologia do Brasil. Sociedade de Ecologia do Brasil, Fortaleza, Ceará, Brasil.