



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

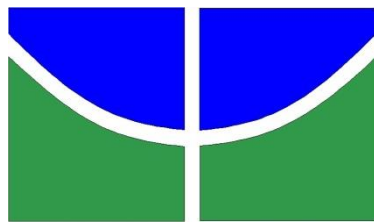
**MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS  
DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ**

**Serena Ferreira Rodrigues**

**Brasília, 14 de maio de 2021**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

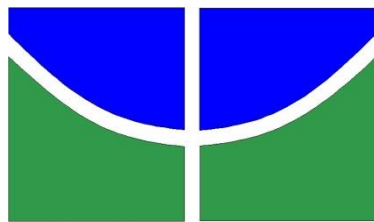
**MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS  
DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ**

**Serena Ferreira Rodrigues**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de Brasília, como  
parte das exigências para obtenção do título  
de Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. Eder Pereira Miguel

Brasília-DF, 14 de maio de 2021



**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade de Tecnologia - FT**  
**Departamento de Engenharia Florestal – EFL**

## **MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ**

Estudante: Serena Ferrerira Rodrigues  
Matrícula: 16/0040141  
Orientador: Prof. Dr. Eder Pereira Miguel

Menção: \_\_\_\_\_

---

Prof. Eder Pereira Miguel  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof. Ricardo Oliveira Gaspar  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal

---

MSc. Mario Lima do Santos  
Universidade de Brasília – UnB  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília-DF, 14 de maio de 2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

RODRIGUES, SERENA FERREIRA

MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ, 2021.

49p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Florestal, 2021).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal

1. *Tectona grandis* L. F.

2. Modelos de Afilamento

3. Modelos Volumétricos

II. Título (série)

I. EFL/FT/UnB

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RODRIGUES, S. F. (2021). **MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 49p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Serena Ferreira Rodrigues

TÍTULO: Modelos volumétricos e de sortimento para plantios de *Tectona grandis* L. f. no sudeste do Pará.

GRAU: Engenheira Florestal ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Serena Ferreira Rodrigues  
serenarodrigues1@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

À minha família. Ao meu pai engenheiro, enfermeiro, advogado, botânico e poeta. E à minha mãe pelo apoio incondicional.

Ao meu orientador, Eder, pela incrível paciência, esforço e colaboração para com a realização desse trabalho.

Ao professor Alexandre Florian da Costa pelo incentivo, gentileza e cuidado.

À professora Heloisa Sinatora Miranda por todo o apoio recebido.

À Flavia e à Milena, por salvarem todos os meus semestres de graduação.

Às minhas amigas Michelle e Fernanda pela compreensão e suporte.

Ao meu amigo Irvin Bryan por ter me mostrado o mundo da sua perspectiva.

(...)

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada, aos meus colegas de graduação e aos funcionários que acompanharam o meu crescimento.

(...)

Ao Gabriel Marques, por ter acreditado no meu potencial.

Ao pessoal da Fazenda União, por todo o carinho e receptividade.

Aos meus colegas de alojamento David, Leonardo e Felipe. Espero encontrá-los novamente!

(...)

Àqueles que de algum modo contribuíram para a realização desse trabalho, sendo por suporte acadêmico ou pessoal.



Sou grata!

## RESUMO

Rodrigues, Serena Ferreira (RODRIGUES, S. F.) **MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE SORTIMENTO PARA PLANTIOS DE *Tectona grandis* L. F. NO SUDESTE DO PARÁ.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Por ser uma espécie de alto valor comercial e com uma ampla gama de aplicabilidades, a *Tectona grandis* L.f. é uma das espécies mais plantadas no mundo. Uma vez que a precificação da sua madeira se dá pela qualidade e bitola das toras, é importante para o planejamento florestal obter com precisão o volume de afilamento para o manejo adequado de florestas dessa espécie. Por esse motivo, objetivo do estudo foi ajustar modelos volumétricos e de afilamento para plantios de *Tectona grandis* L. f. localizados no sudeste do Pará. A base de dados é composta por 207 árvores-amostra, que foram cubadas de acordo com o método de Hohenadl (10 seções), com idades variando entre 4 e 14 anos em diferentes espaçamentos. Foram ajustados quatro modelos volumétricos e um modelo de afilamento. A avaliação da precisão dos modelos foi feita por intermédio da análise gráfica de dispersão dos resíduos (%), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ). Os modelos volumétrico e de afilamento foram validados por meio de um teste “t” de comparação de médias, que não apresentou diferença estatística para nenhum dos modelos testados, a um nível de 5% de significância. Os dois modelos, volumétrico e de afilamento foram comparados por meio de uma Análise de Variância (ANOVA). O modelo que gerou as melhores estatísticas para a estimativa de volume foi o modelo proposto por Schumacher & Hall. Em relação ao modelo de afilamento testado, o modelo do polinômio de 5º Grau, apresentou o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2_{aj}$ ) igual a 0,95 e erro padrão da estimativa percentual de 12,13%. O volume por integração do polinômio de 5º Grau apresentou o  $R^2_{aj} = 0,91$  e  $S_{yx}\% = 14,32$ . A comparação para a estimativa de volume total entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e o modelo de Schoepfer (afilamento) com os dados de volume oriundos da cubagem rigorosa não apresentaram diferença estatísticas entre-si (p-valor = 0,65). Portanto, os dois modelos são considerados adequados para a estimativa de volume total individual para os povoamentos estudados.

**Palavras chave:** Teca; Cubagem; Inventário Florestal; Volumetria; Planejamento.

## ABSTRACT

Rodrigues, Serena Ferreira (RODRIGUES, S. F.) **VOLUMETRIC AND ASSORTING MODELS FOR PLANTING *Tectona grandis* L. F. IN SOUTHEASTERN PARÁ.** Monograph (Bachelor's degree in Forest Engineering) - University of Brasilia, Brasília, DF.

Being a species of high commercial value and with a wide range of applicability, *Tectona grandis* L.f. is one of the most planted species in the world. Since the pricing of its wood is due to the quality and gauge of the loggings, it is important for forest planning to accurately obtain the volume of tapering for the proper management of forests of this species. For this reason, the aim of the study was to adjust volumetric and tapering models for *Tectona grandis* L. f. plantations located in southeastern Pará. The database consists of 207 sample trees, which were cubed according to the Hohenadl method (10 sections), with ages ranging from 4 to 14 years in different spacings. Four volumetric models and one tapering model were adjusted. The evaluation of the precision of the models was made through the graphical analysis of dispersion of the residues (%), adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ) and the standard error of the percentage estimate ( $Sy_x\%$ ). The volumetric and tapering models were validated by means of a "t" test of comparison of means, which showed no statistical difference for any of the tested models, at a level of 5% significance. The two models, volumetric and tapering were compared by means of a Variance Analysis (ANOVA). The model that generated the best statistics for the volume estimate was the model proposed by Schumacher & Hall. Regarding the tapering model tested, the 5th degree polynomial model presented the corrected coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ) equal to 0.95 and standard error of the percentage estimate of 12.13%. The volume by integration of the 5th degree polynomial presented the  $R^2_{aj} = 0.91$  and  $Sy_x\% = 14.32$ . The comparison for the total volume estimate between the Schumacher & Hall volumetric model and the Schoepfer model (tapering) with the volume data from the rigorous cubage showed no statistical difference between them (p-value = 0.65). Therefore, the two models are considered adequate for the estimation of individual total volume for the studied settlements.

**Keywords: Teak; Cubing; Forest Inventory; Volumetry; Planning**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização dos plantios. ....	18
<b>Figura 2</b> - Resíduos em porcentagem para os modelos testados .....	26
<b>Figura 3</b> - Volume estimado x volume observado para o modelo de Schumacher & Hall .....	27
<b>Figura 4</b> - Distribuição gráfica dos resíduos e correlação dos volumes estimados e observados. ....	28
<b>Figura 5</b> - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa dos diâmetros (di) e correlação entre os diâmetros estimados e observados para o polinômio do 5º grau. ....	29
<b>Figura 6</b> - Distribuição gráfica dos resíduos para o modelo de afilamento em relação à altura do fuste. ....	30
<b>Figura 7</b> - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa dos diâmetros (di) e correlação entre os diâmetros estimados e observados para o polinômio do 5º grau. ....	31
<b>Figura 8</b> - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa do volume total. ....	32



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Informações dos povoamentos.....	19
<b>Tabela 2</b> - Frequência das árvores cubadas de <i>Tectona grandis</i> em classes de diâmetro. ....	20
<b>Tabela 3</b> - Modelos Volumétricos Utilizados.....	21
<b>Tabela 4</b> – Informações dos povoamentos.....	24
<b>Tabela 5</b> - Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão para os modelos volumétricos e de afilamento. ....	24
<b>Tabela 6</b> – Teste “t” para validação do modelos volumétrico de Shumacher & Hall .....	28
<b>Tabela 7</b> – Estatísticas de validação para o modelo de afilamento.....	31
<b>Tabela 8</b> - Análise de Variância para as Estimativas de Volume .....	33

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
OBJETIVOS.....	13
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
A Área de Estudo.....	18
Coleta de Dados.....	18
O Ajuste dos Modelos.....	21
A Análise de Dados.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS.....	35
ANEXO.....	42

## INTRODUÇÃO

Atualmente, as florestas plantadas são responsáveis pelo suprimento da demanda de diversos setores da economia brasileira. No último ano, o setor florestal brasileiro foi responsável por 0,9% da arrecadação de tributos federais no país, o que representa um aumento de 3,3% em relação à arrecadação de 2018 (IBÁ, 2020).

O cenário atual é bastante promissor para empresas de base florestal, dado que a alta do dólar e a tendência mundial de produção sustentável abre espaço para novas empresas do ramo se inserirem em mercados cada vez maiores e mais competitivos. Em 2020, o setor de árvores plantadas registrou um crescimento em receita bruta de 12,6% superior ao ano de 2019 (IBÁ, 2021). Por esse motivo, pequenas e médias empresas florestais do Brasil se encontram em fase de expansão, investindo cada vez mais em produtos com maior valor agregado e em uma maior diversificação na sua cartela de produtos.

Por ser uma espécie de alto valor comercial e com uma ampla gama de aplicabilidades, a *Tectona grandis* L.f. é uma das espécies mais plantadas no mundo. Uma vez que as florestas naturais da espécie estão em declínio, e a demanda mundial pela sua madeira apresenta crescimento constante, o reflorestamento de *T. grandis* se apresenta como uma ótima alternativa para investidores florestais do mundo inteiro (KOLLERT & WALOTEK, 2015).

Por esse motivo, os produtores brasileiros investiram em grandes extensões de plantios de *Tectona* no país. Entretanto, embora seja uma excelente opção de empreendimento, os plantios de *T. grandis*, são bastante sensíveis às condições edafoclimáticas, intraespecíficas e silviculturais, gerando variações na produtividade e crescimento dos povoamentos, o que dificulta a utilização de uma norma geral para a estimativa da produção dos plantios da espécie, e o desenvolvimento de técnicas arrojadas de quantificação da produção florestal e do estoque de produtos na floresta torna-se cada vez mais necessário.

Em um empreendimento florestal, as decisões tomadas pelo Engenheiro Florestal devem ser baseadas em análises criteriosas sobre os padrões de crescimento do plantio e condições do povoamento (AVERY & BURKHART, 2002; SCHUCHOVSKI et al., 2019). A obtenção dos dados sobre a produção de um povoamento é uma atividade extremamente importante para um planejamento florestal eficiente. Tal fato, permite um melhor gerenciamento da atividade florestal e garante a sustentabilidade do empreendimento florestal, visto que fornece informações quantitativas sobre a floresta, auxiliando não só na definição de planos de manejo, mas também nas análises econômicas e de regulação florestal (BINOTI et al., 2013; CHAVES, 2013; SILVA, 2017).

Uma das informações mais importantes que se pode obter a respeito do potencial produtivo da floresta é o volume. O planejamento das operações de colheita de florestas plantadas é realizado com base nas estimativas de volume dos povoamentos, que geram informações que auxiliam nas tomadas de decisões do engenheiro florestal (FIGUEIREDO et al., 2006).

Entretanto, devido às oscilações no preço de produtos madeireiros, principalmente àqueles de alto valor comercial, os produtores vêm buscando a ampliação das possibilidades de utilização da madeira, visando diversificar a oferta e manter uma maior rentabilidade da atividade florestal e a otimização do uso dos recursos que a floresta oferece (FERREIRA, 2004).

O domínio de técnicas que identifiquem o sortimento da floresta em toras de dimensões pré-definidas possibilita o planejamento da venda da madeira de forma otimizada visando uma maior valoração pelo mercado consumidor, maximizando os lucros (TÉO et al., 2018)

Equações de volume não permitem identificar os multiprodutos da floresta em pé. Por esse motivo, estudiosos de todo o mundo tem se dedicado a desenvolver e aperfeiçoar equações que descrevam a forma dos fustes e que possibilitem quantificar os diferentes produtos que podem ser obtidos a partir da floresta em pé (WARNER et al., 2016; TÉO et al., 2018; DE MORAIS et al., 2020; CHOOCHUEN, 2021).

Uma vez que a *Tectona* é uma madeira de altíssimo valor comercial, e o seu preço é influenciado principalmente por aspectos qualitativos, a utilização de modelos que descrevam a forma do fuste dos indivíduos de *T. grandis* e que possibilitem a quantificação dos multiprodutos para povoamentos de *Tectona grandis* é essencial para um bom planejamento florestal.

## OBJETIVOS

### Objetivo geral

O presente estudo visa estimar o volume de madeira em plantios de *T. grandis* no sudeste do Pará através de modelos volumétricos e de afilamento, comparando os diferentes métodos de estimativa

### Objetivos específicos

- Ajustar e selecionar um modelo volumétrico para a estimativa do volume total em povoamentos de *Tectona grandis* L. F.
- Ajustar o modelo de afilamento proposto por de Schöepfer, e computar suas estatísticas de ajuste e precisão para a estimativa do volume total em povoamentos de *Tectona grandis* L. F.
- Comparar os ajustes do modelo volumétrico selecionado e do modelo de Schöepfer com o volume obtido no processo de cubagem.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### *Tectona grandis* L.f.

A *Tectona grandis* L.f., é uma espécie arbórea pertencente à família botânica Lamiaceae com ocorrência natural no Sul e no Sudeste do continente asiático (SALES et al., 2018). Amplamente utilizada em áreas de reflorestamento, é terceira espécie de folhosas tropicais com maior área plantada no mundo, atrás apenas dos plantios *Eucalyptus* sp. e *Acacia* sp. (BEZERRA et al., 2011), e a mais valiosa (CHOOCHEN, 2021). Com grande adaptabilidade a variados climas, atualmente a *T. grandis* apresenta uma distribuição relativamente ampla, sendo cultivada em diversas regiões da África, Caribe, Ásia e Latino-América (TEWARI & SINGH, 2018).

No Brasil, a cultura da *Tectona grandis* teve início no final da década de 1960, no município de Cáceres, no Mato Grosso, com a finalidade de exploração madeireira, obtendo excelentes resultados devido às ótimas condições edafoclimáticas brasileira conjugadas ao manejo silvicultural diligente, que contribuíram para reduzir o ciclo de produção de 80 anos, na região de origem da *T. grandis*, para apenas 25 anos, em terras mato-grossenses (TSUKAMOTO FILHO et al, 2003).

A *Tectona grandis* é plantada comercialmente nos estados de Mato Grosso, Amazonas, Acre e Pará (IBÁ, 2020), regiões que apresentam condições climáticas semelhantes às de origem da espécie (MORETTI, 2013). Estima-se hoje que em todo o país a área destinada à produção da *T. grandis* corresponda a cerca de 94 mil hectares, de acordo com dados da Indústria Brasileira de Árvores, ano base 2019 (IBÁ, 2020). No mundo, estima-se que a área de plantios de *Tectona* no mundo alcance os 6,8 milhões de hectares, dos quais 88,2% estão na Ásia, 7,8% na África e 4% na América tropical (KOLLERT & KLEINE, 2017).

Sua madeira é apreciada por possuir alta qualidade devido à combinação de características como rusticidade, resistência, durabilidade e beleza, o que a torna uma das mais valiosas madeiras do mundo, com diversificados usos, como na fabricação de mobiliário de luxo, construção naval, elementos estruturais, pisos e laminados (COIMBRA et al., 2014; ORREGO et al., 2021). Além de ser uma madeira de alto valor, seu cultivo apresenta a possibilidade de comercialização de produtos desde os primeiros desbastes, o que a torna um investimento lucrativo aos seus produtores (RESTREPO & ORREGO, 2015).

A *T. grandis* apresenta produtividade muito variável em decorrência de atributos

edáficos e genéticos, assim como dos tratos culturais e silviculturais empregados (REIS & PALUDZYSZYN FILHO, 2011).

### **Modelos Volumétricos**

Até meados da década de 80, a forma mais comum de se realizar o cálculo de volume de uma árvore era pela aplicação do volume do cilindro multiplicado por um fator de forma de 0,7 (ROLIM et al., 2006). A partir dos anos 90, o avanço tecnológico e a popularização da informática intensificaram a quantidade de estudos sobre a aplicabilidade de modelos volumétricos no Brasil (ANDRADE, 2017).

Modelos volumétricos são equações cujos parâmetros são determinados através de análises de regressão. Esses modelos desempenham um papel crucial no manejo florestal, principalmente na quantificação do estoque de madeira, elemento extremamente importante no planejamento da floresta e na sua negociação (LEITE & ANDRADE, 2002).

A importância das equações de volume é evidenciada pela existência de inúmeros modelos volumétricos e pelos diversos estudos que são constantemente desenvolvidos com o objetivo de desenvolver, melhorar a qualidade dos ajustes e predição das equações volumétricas (TEWARI & SINGH, 2018). Equações que forneçam estimativas precisas de volume e sem viés para diversas classes diamétricas são fundamentais para o analista de produção florestal.

Existem diversos modelos volumétricos desenvolvidos para o meio florestal, que são bastante difundidos pela sua eficiência (MEDEIROS, 2018), entretanto, nem sempre os modelos já consagrados se ajustam adequadamente a todas as condições encontradas nos povoamentos florestais de diferentes espécies, condições locais, e manejos silviculturais, dado que esses fatores são determinantes na forma de crescimento das árvores (VENDRUSCOLO, 2014).

Para o ajuste das equações volumétricas faz-se necessário o conhecimento do volume real dos indivíduos feito por amostragem. Existem diversos métodos de obtenção do volume real das árvores, sendo a cubagem rigorosa o mais utilizado pela sua praticidade (OLIVEIRA, 2010).

Os modelos volumétricos mais conhecidos são equações lineares e não lineares, que

supõem a normalidade dos erros, e utilizam variáveis independentes de fácil mensuração, como o diâmetro à altura do peito e a altura total, em função da variável dependente - o volume (MIGUEL et al., 2014; SALES et al., 2015).

Nos últimos 50 anos, os modelos volumétricos mais avaliados no Brasil foram: Schumacher&Hall, Stoate, Spurr, Meyer, Naslund, Ogaya, Takata e Honer (ANDRADE, 2017). Esses modelos se popularizaram pela facilidade de obtenção das variáveis utilizadas para o ajuste dos modelos, visto que necessitam apenas dos dados de diâmetro à altura do peito e volume para o cálculo de suas estimativas.

Uma vez ajustadas, essas equações permitem o conhecimento da produção em volume de grandes áreas por extrapolação. Por esse motivo, é fundamental a utilização de uma equação volumétrica que apresente boas estatísticas de precisão. Tendo isso em vista, vários estudos foram realizados nas mais variadas condições de povoamentos florestais com o intuito de melhorar a qualidade dos ajustes e facilitar a quantificação do volume da floresta em pé (MIGUEL et al., 2012; MIRANDA et al., 2014; LEAL et al., 2015; SILVA et al., 2017; CERQUEIRA et al., 2017; TEWARI & SINGH, 2018).

### **Modelos de Afilamento**

Devido à natureza do crescimento secundário das árvores, os indivíduos de todas as espécies arbóreas apresentam um decréscimo natural do diâmetro ao longo do tronco. Essa característica é conhecida no meio florestal como o afilamento do fuste. Esse afilamento tem efeito direto no volume das árvores, sendo o seu conhecimento de fundamental importância em inventários florestais para quantificar os multiprodutos da madeira (DE MENDONÇA et al., 2007), e pode ser expresso por diversas funções matemáticas que descrevem a tendência dessa variação (KOHLENER et al., 2013).

Funções de afilamento são equações que descrevem a forma e o afilamento do fuste das árvores e representam a variação diamétrica ao longo de sua extensão em função do diâmetro à altura do peito e da altura total (KOHLENER et al., 2013). As funções de afilamento são uma excelente opção para quantificação dos multiprodutos da madeira dos povoamentos florestais (DE SOUZA et al., 2008). Uma vez definido um modelo matemático para o afilamento, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco. Desta maneira a natureza do algoritmo viabiliza a obtenção das estimativas de volume necessárias à



multiplicidade de usos da madeira (QUEIROZ, 2006), e é por isso que diversos autores têm empreendido esforços no estudo desse tipo de função (DE MENDONÇA et al., 2007; DE SOUZA et al., 2008; KOHLER et al., 2013; TÉO et al., 2018).

A utilização de modelos lineares, principalmente os polinomiais, é muito difundida no meio florestal brasileiro, principalmente por conta da facilidade de ajuste e convergência, o que não ocorre com os modelos não lineares (PIRES & CALEGARIO, 2007).

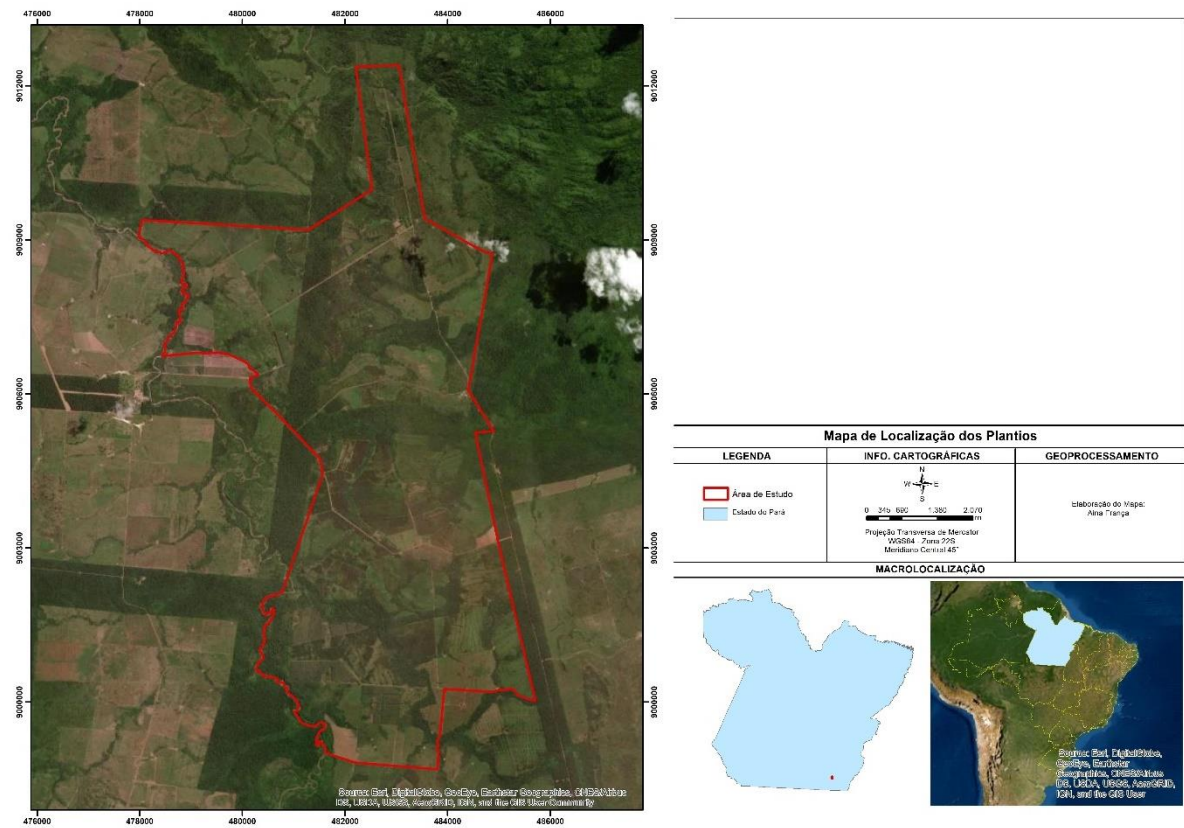
A primeira tentativa para expressar o afilamento do fuste de árvores foi feita por Hojer em 1903 (QUEIROZ, 2006), e desde então diversos tipos de modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos, devido a sua importância na quantificação do volume individual das árvores e de seus subprodutos.

Embora existam modelos de afilamento já consagrados no meio florestal, não existe nenhum modelo que obtenha o melhor desempenho para todas as espécies e condições apresentadas pelas árvores (LEAL et al., 2017). Por esse motivo, os modelos de afilamento devem ser continuamente testados e estudados por meio de análises estatísticas a fim de identificar o modelo mais apropriado para as necessidades do plantio em estudo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### A Área de Estudo

O estudo foi realizado em povoamentos de *Tectona grandis* L.f. de uma empresa florestal localizada no município de Cumaru do Norte, na região sudeste do estado do Pará, entre as coordenadas 9° 1' S e 8°58'S e 51°14' O e 51° 9'O, a uma altitude de 300m (**Figura 1**). O tipo de solo predominante na região é o Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2016), com baixos teores de fertilidade natural. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo 'Aw', caracterizado por 2 estações bem definidas: um inverno seco e um verão úmido, com pluviosidade média anual entre 1500 mm e 2000 mm e uma variação de temperatura que vai de 19 a 33 °C.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

O empreendimento possui uma área de aproximadamente 2207,41 hectares de *T. grandis*, distribuídos em 24 povoamentos de material genético variado, que mistura indivíduos clonais e seminais. As informações a respeito dos tratos silviculturais são desconhecidas, uma vez que não foram reportadas pela empresa até o ano de 2019.

### Coleta de Dados

O planejamento da coleta de dados foi realizado com o auxílio dos dados obtidos em inventário florestal, realizado em 442 parcelas permanentes, retangulares, com áreas de 500 m<sup>2</sup> (20m x 25m), espalhadas em diferentes talhões, com idades entre 4 e 14 anos, medidas em dezembro de 2020. Originalmente essas parcelas foram lançadas de maneira aleatória, a cada 5 hectares. Em todas as parcelas, foram coletados os dados de circunferência à altura do peito (CAP), com o auxílio de uma fita métrica e a alturas comercial e total de todas as árvores, com o auxílio de um hipsômetro digital da marca Opti-Logic Insight 400 LH Rangefinder. Informações referentes à idade e espaçamento dos povoamentos estão apresentadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Informações dos povoamentos

<b>Povoamento</b>	<b>Ano de Plantio</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Idade (anos)</b>
1	2006	3 x 4	14
2	2007	3 x 4	13
3	2008	3 x 4	12
4	2008	4 x 4	12
5	2008	3,5 x 4	12
6	2009	3 x 4	11
7	2010	4 x 4	10
8	2011	4 x 4	9
9	2011	4 x 5	9
10	2011	4 x 8	9
11	2011	4,5 x 5	9
12	2011	5 x 5	9
13	2012	4 x 4	8
14	2012	5 x 5	8
15	2012	4 x 5	8
16	2012	5 x 6	8
17	2012	4,5 x 5	8
18	2013	4 x 4	7
19	2013	3,5 x 4	7
20	2013	4 x 5	7
21	2014	4 x 4	6
22	2015	4 x 4	5
23	2015	3 x 4	5
24	2016	4 x 4	4

A partir dos dados obtidos, foram selecionadas aleatoriamente 207 árvores desbastadas nos povoamentos, para serem submetidas à cubagem rigorosa, de acordo com o método de Hohenadl (10 seções), com casca. Visto que a *T. grandis* é uma espécie de alto valor comercial, a obtenção de uma base de dados satisfatória estratificada por idade é bastante dificultosa, uma

vez que as empresas possuidoras dos plantios não disponibilizam árvores para a cubagem rigorosa que não sejam de oriundas de desbastes. Portanto, a idade das árvores cubadas está condicionada à disponibilidade de indivíduos desbastados nos povoamentos.

As medidas dos diâmetros relativos foram tomadas a 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total das árvores, e o diâmetro a 1,3 m para o ajuste dos modelos volumétricos e de afilamento, com o auxílio de uma suta. Foram medidas também as alturas total e comercial das árvores cubadas com uma fita métrica.

A determinação do volume total das árvores foi feita pelo método de Hohenadl, descrito pela **Equação 1**.

$$V = \left(\frac{h}{10}\right) (g_{00,5} + g_{10,5} + g_{20,25} + g_{30,35} + g_{40,45} + g_{50,55} + g_{60,65} + g_{70,75} + g_{80,85} + g_{90,95}) \quad (1)$$

Onde:  $g_{0,i}$  representa a área transversal ( $m^2$ ), obtida a 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total (h).

Dentre as 207 árvores cubadas, foram removidas dos ajustes os indivíduos que não possuem dimensões e valor comerciais ( $DAP < 8$ ).

A amostra das árvores cubadas rigorosamente foi baseada na distribuição diamétrica dos povoamentos, onde os dados de DAP observados foram agrupados em classes com amplitude de 3,0 cm de diâmetro. A distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro pode ser observada na **Tabela 2**.

**Tabela 2** - Frequência das árvores cubadas de *Tectona grandis* em classes de diâmetro.

Classe de DAP (cm)	%	Quantidade
0-9	0,53%	2
9-12	1,55%	4
12-15	4,77%	10
15-18	14,24%	29
18-21	24,12%	49
21-24	26,92%	54
24-27	19,54%	40
27-30	5,64%	12
30-33	1,99%	4
33-36	0,44%	1
36-39	0,15%	1
39-42	0,02%	1
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>207</b>

*DAP = diâmetro à altura do peito (1,3m)*

## O Ajuste dos Modelos

Os dados obtidos na cubagem rigorosa foram utilizados para ajustar as equações de volume e o modelo de afilamento descritos na **Tabela 3**.

**Tabela 3** - Modelos Volumétricos Utilizados.

Modelo	Autor	Modelos Volumétricos
1	Schumacher&Hall	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(HT) + \varepsilon$
2	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \beta_2 \cdot DAP^2 HT + \beta_3 \cdot HT + \varepsilon$
3	Naslund	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \beta_2 \cdot DAP^2 HT + \beta_3 \cdot DAP \cdot HT^2 + \beta_4 \cdot HT^2 + \varepsilon$
4	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \beta_3 \cdot DAP \cdot HT + \beta_4 \cdot DAP^2 \cdot HT + \varepsilon$
Modelo	Autor	Modelo de afilamento
	Schöpfer	$di/DAP = [\beta_0 + \beta_1(hi/HT) + \beta_2(hi/HT)^2 + \beta_3(hi/HT)^3 + \beta_4(hi/HT)^4 + \beta_5(hi/HT)^5 + \varepsilon$

$V =$  Volume ( $m^3$ );  $\beta_i =$  Coeficientes dos modelos;  $\varepsilon =$  erro aleatório associado ao modelo;  
 $di =$  diâmetro comercial correspondente a qualquer altura especificada (cm);  
 $hi =$  altura comercial especificada (m);  $HT =$  altura total (m);  $DAP =$  diâmetro à altura do peito (cm).

## A Análise de Dados

A detecção dos outliers foi realizada pelo Teste Generalizado ESD ( $\alpha=0,05$ ), que detecta um ou mais valores discrepantes (outliers) em um conjunto de dados univariado, de distribuição normal. Dado um limite  $r$  no número máximo de outliers, o teste generalizado ESD essencialmente realiza  $r$  testes por separado, um teste para um outlier, outro teste para dois outliers, e assim por diante, até a  $r$  outliers (OLIVEIRA et al, 2014). O número máximo de outliers para o teste ESD foi definido em 5 amostras. Os outliers detectados foram verificados e removidos, e novas estatísticas de precisão foram calculadas de acordo com a base de dados tratada.

Após o tratameto dos dados, 9 indivíduos foram retirados da base de dados, totalizando 199 indivíduos a serem utilizados no ajuste e validação dos modelos (**Anexo 1**). Dentre os 199 indivíduos, 70% foram utilizados no ajuste e seleção dos modelos e 30% para compor a base de dados de validação. A seleção desses indivíduos foi feita de forma aleatória e de forma que os dados não se sobreescrevessem, prejudicando a qualidade das análises; totalizando então, 139 árvores utilizadas para o ajuste dos modelos e 60 árvores para a validação.

Para a seleção do melhor modelo volumétrico, foram observados os seguintes critérios

estatísticos: análise gráfica de dispersão dos resíduos (%), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e o erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}$  %).

$$R^2_{aj} = \frac{n-1}{n-p-1} * \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \quad (1)$$

Em que:  $R^2_{aj}$  = Coeficiente de determinação ajustado; n = número de observações; p = número de variáveis independentes do modelo;  $SQ_{res}$  = Soma do quadrado dos resíduos;  $SQ_{total}$  = Soma do quadrado total.

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{x}} * 100 \quad (2)$$

Em que:  $S_{yx}$  (%) = Erro padrão da estimativa em porcentagem;  $S_{yx}$  = erro absoluto da estimativa ( $m^3$ );

Onde:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-p}} \quad (3)$$

$S_{yx}$  ( $m^3$ ) = Erro padrão da estimativa absoluto ( $m^3$ );  $y_i$  = valor observado ( $m^3$ );  $\hat{y}$  = valor estimado ( $m^3$ ).

Uma vez que em modelos logaritimizados o cálculo da simples exponenciação não é suficiente para minimizar a discrepância logarítmica (SILVA et al., 2011), o modelo de Schumacher&Hall teve suas estimativas recalculadas por meio do Fator de Meyer (**Equação 4**)

$$Fm = e^{(QM_{res} * 0,5)} \quad (4)$$

Em que:

Fm = Fator de Meyer;  $QM_{res}$  = Quadrado Médio do Resíduo.

O modelo de afilamento utilizado, o Polinômio de 5º Grau, é um dos modelos mais utilizados no Brasil para estimar o perfil do fuste das árvores de diferentes espécies. Esse modelo é definido pela **Equação 5**.

$$\frac{di}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h}\right)^{pn} + \varepsilon \quad (5)$$

Onde:  $\beta_i$  = parâmetros a serem estimados, com  $i = 0, 1, 2, 3, 4$  e  $5$ ;  $d_i$  = diâmetros (cm) medidos às alturas  $h_i$  ao longo do fuste; DAP = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);  $h$  = altura total (m);  $h_i$  = altura nas quais foram medidos os diâmetros  $d_i$ ;  $\varepsilon$  = erro da estimativa

Para a obtenção do volume total individual para o modelo de afilamento realizou-se o procedimento de integração numérica, onde o volume é definido pela integral das áreas seccionais ( $g_i$ ) entre o limite inferior ( $h_1$ ) e superior ( $h_2$ ) segundo MIGUEL et al. (2011), sendo que o resultado dessa operação para o polinômio de Polinômio do 5º Grau apresenta a seguinte equação de estimativa para o volume total:

$$V = K \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 \delta h \quad (6)$$

Onde:  $K = \pi/40000$ ;  $d_i$  = diâmetro correspondente a qualquer altura  $h_i$  ao longo do fuste;  $\delta$  = coeficientes.

Resolvendo a integral da **Equação 6**, obtém-se a **Equação 7**:

$$\begin{aligned} V = K * DAP^2 * & \left[ c_0^2 h_i + c_0 c_1 h_i^2 + \left( \frac{2}{3} c_0 c_2 + \frac{1}{3} c_1^2 \right) h_i^3 + \left( \frac{1}{2} c_0 c_3 + \frac{1}{2} c_1 c_2 \right) h_i^4 + \right. \\ & + \left( \frac{2}{5} c_0 c_4 + \frac{2}{5} c_1 c_3 + \frac{1}{5} c_2^2 \right) h_i^5 + \left( \frac{1}{3} c_0 c_5 + \frac{1}{3} c_1 c_4 + \frac{1}{3} c_2 c_3 \right) h_i^6 + \\ & + \left( \frac{2}{7} c_1 c_5 + \frac{2}{7} c_2 c_4 + \frac{1}{7} c_3^2 \right) h_i^7 + \left( \frac{1}{4} c_2 c_5 + \frac{1}{4} c_3 c_4 \right) h_i^8 + \\ & \left. + \left( \frac{2}{9} c_3 c_5 + \frac{1}{9} c_4^2 \right) h_i^9 + \frac{1}{5} c_4 c_5 h_i^{10} + \frac{1}{11} c_5^2 h_i^{11} \right]_{h_1}^{h_2} \quad (7) \end{aligned}$$

Em que:  $c_0 = \beta_0$ ;  $c_1 = \beta_1/Ht$ ;  $c_2 = \beta_2/H2t$ ; ...;  $c_5 = \beta_5/H5t$ ;  $K$ ,  $h_i$ ,  $\varepsilon$  e DAP foram definidos anteriormente.

Essa equação é bastante útil, pois também pode ser utilizada para calcular e definir o volume por sortimento de produtos, uma vez que nos permite calcular o volume em qualquer secção da árvore, a partir das estimativas do perfil do fuste. No presente trabalho, o sortimento de produtos foi calculado a partir da equação ajustada de afilamento.

A validação do modelo volumétrico selecionado e do modelo de afilamento foi realizada através do Teste-t de Student a um nível de 5% de significância. O teste t de Student é um teste paramétrico de comparação de médias que é utilizado para determinar a existência de diferença estatística entre grupos de dados independentes

As estimativas de volume do melhor modelo volumétrico e do modelo do Polinômio do 5º Grau, foram submetidos a uma análise de variância para verifica a eficiência das duas metodologias preditivas, a um nível de significância de 5% de probabilidade de erro, sendo que as hipóteses foram formuladas:

H0: Não houve diferença significativa na estimativa do volume por meio da equação volumétrica ou de função de afilamento.

H1: Houve diferença significativa na estimativa do volume por meio da equação volumétrica ou de função de afilamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cubagem dos indivíduos foi realizada em talhões que estavam sendo submetidos a desbastes o que traz algumas limitações à base de dados. A variação em altura total, por exemplo, obteve um coeficiente de aproximadamente 12%, e alturas maiores que 20 metros não foram representadas. Na **Tabela 4** estão resumidas algumas informações referentes ao conjunto de árvores cubadas.

**Tabela 4** – Informações dos povoamentos.

	Mínimo	Médio	Máximo	CV (%)
<b>DAP (cm)</b>	9,0000	21,4417	39,6000	21,3904
<b>HT (m)</b>	10,1000	15,2094	19,9000	12,3768
<b>HC (m)</b>	4,4000	11,2994	16,0200	20,3423
<b>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</b>	0,0329	0,2494	0,8355	48,0694

*DAP = diâmetro à altura do peito (1,3m); HT= altura total (m); HC altura comercial (m); CV = coeficiente de variação*

O tratamento dos dados resultou na retirada de 4 árvores que não possuíam dimensões comerciais e 5 outliers na base de dados total, totalizando 199 árvores que foram utilizadas para o ajuste dos modelos volumétricos e de afilamento.

A **Tabela 5** resume os parâmetros estimados e as estatísticas de precisão do ajuste dos modelos volumétricos e de afilamento utilizados para o conjunto de dados.

**Tabela 5** - Coeficientes ajustados e estatísticas de precisão para os modelos volumétricos e de afilamento.



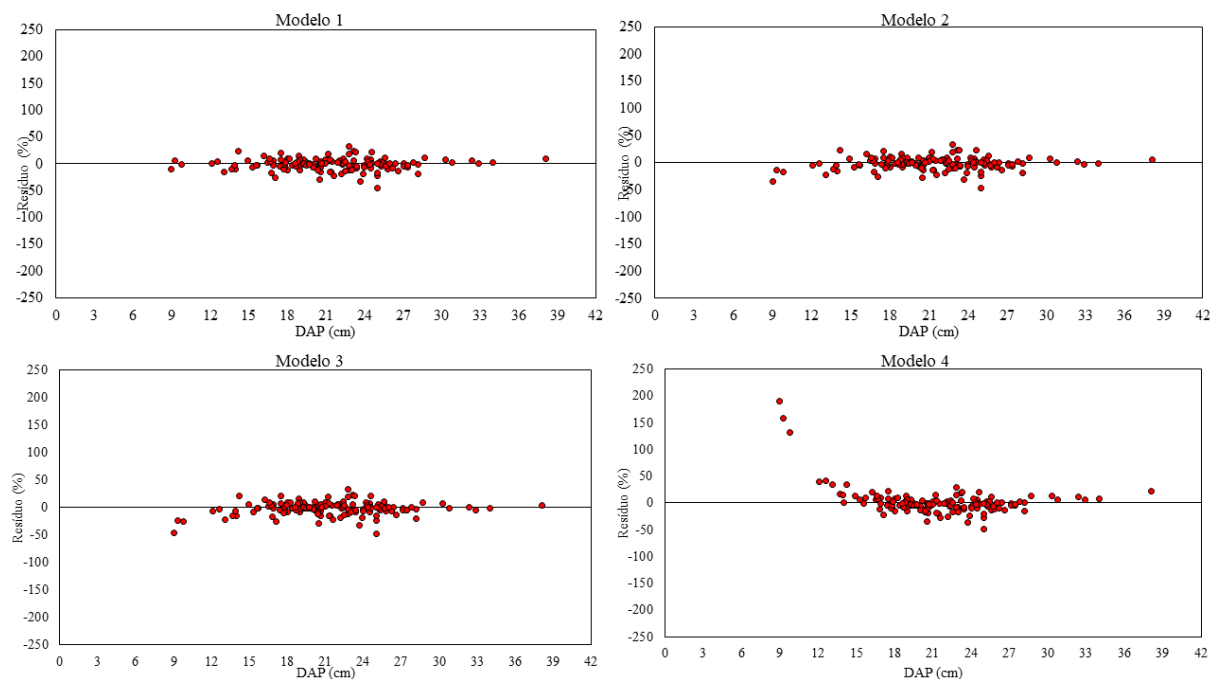
Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (%)	Fm
1	-9,784	1,759	1,080				0,939	12,029	1,006
2	0,004	-2,3E-05	3,2E-05	0,001			0,914	11,783	
3	0,028	-4,0E-04	7,8E-05	-1,4E-06	-2,3E-05		0,915	11,77	
4	-0,184	0,015	2,4E-05	-1,7E-04	3,1E-05		0,864	14,878	
<b>5º Grau</b>	1,206	-2,817	7,475	-12,255	8,416	-1,931	0,956	11,826	

$\beta_i$  = coeficientes dos modelos;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  (%) = erro padrão da estimativa em porcentagem; FM = fator de correção de Meyer

As estatísticas de regressão obtidas para os ajustes das funções indicam que os modelos volumétricos se adequam aos dados de maneira semelhante. Os modelos testados apresentaram coeficientes de determinação corrigidos ( $R^2_{aj}$ ) entre 0,86 e 0,94 e erros padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}$  %) entre 11 e 15%.

Essas estatísticas apresentaram valores inferiores aos encontrados por De Moraes et al. (2020) para a mesma espécie em Alta Floresta (MT), que ajustando os modelos 1, 2 e 4, obteve os valores de  $R^2_{aj}$  entre 93,7 e 97,1, com o  $S_{yx}$  (%) variando entre 9,3 e 9,6, e superiores aos encontrados por Telles Antonio et al. (2018), que no ajuste dos modelos 2, 3 e 4 para plantios de *T. grandis* no México encontrou valores para  $R^2_{aj}$  entre 82 e 83.

Dentre os modelos ajustados, o modelo 1 apresentou as melhores estatísticas de precisão. Entretanto, são necessárias análises mais criteriosas, que subsidiem a escolha do modelo mais adequado, uma vez que as estatísticas de precisão de forma isolada não garantem uma conclusão satisfatória sobre o desempenho dos modelos (MIRANDA et al., 2014). Por esse motivo, a escolha do modelo volumétrico deve ser feita considerando também a análise gráfica dos resíduos a fim de que ocorra melhor seleção dos ajustes. A **Figura 2** mostra a distribuição gráfica dos resíduos (%) para as estimativas de volume para o banco de dados utilizado.



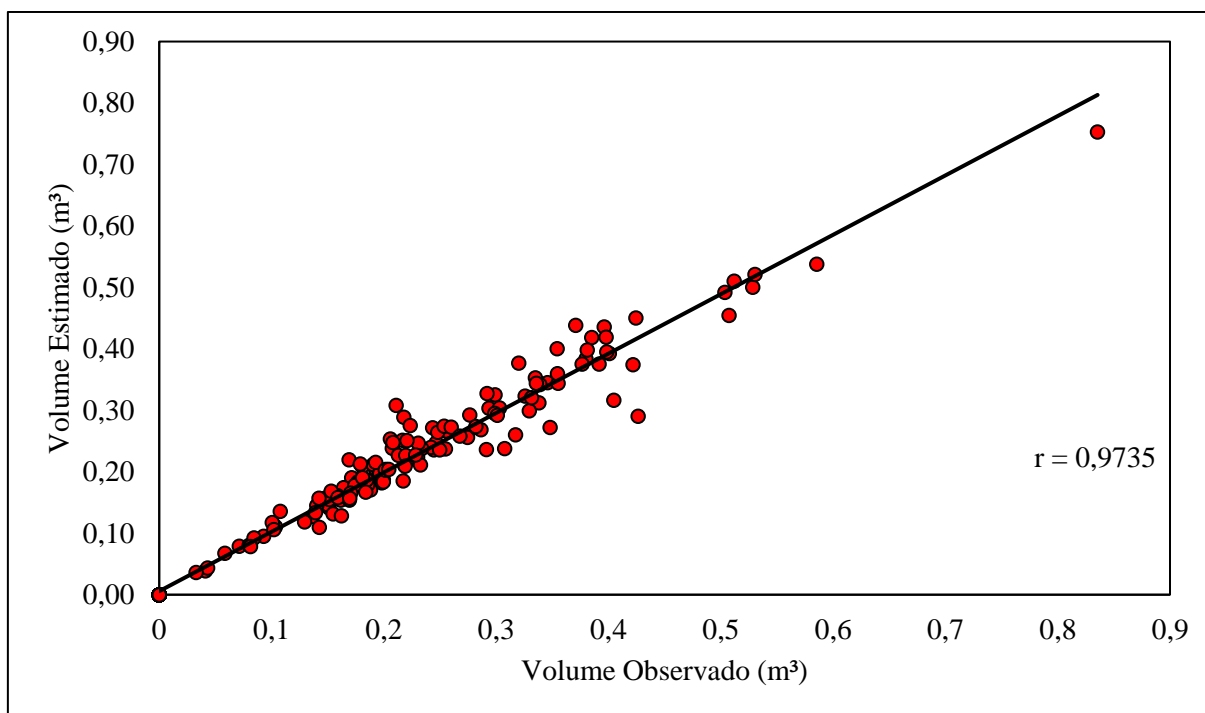
**Figura 2** - Resíduos em percentagem para os modelos testados

Analisando os gráficos de dispersão dos resíduos, o modelo 4 apresenta a pior distribuição, com uma tendência em subestimar o volume de árvores de menores dimensões. Por sua vez, os modelos 2 e 3 apresentaram tendência a superestimar o volume das árvores de menores dimensões. Esse mesmo tipo de deficiência do modelo de Meyer e de Stoaate em estimar o volume nas menores classes diamétricas também foi encontrada por outros autores (MIGUEL & LEAL, 2012).

O modelo 1 não apresentou tendência na estimativa dos volumes e, dentre os modelos ajustados, apresentou o melhor conjunto de fatores (coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa percentual e distribuição de resíduos). Portanto, o modelo escolhido como de melhor ajuste foi o modelo 1 (Schumacher & Hall).

Em estudos realizados com o emprego de diversos modelos volumétricos para *Tectona grandis*, Cerqueira et al. (2007) obteve resultados semelhantes, utilizando os mesmos modelos, onde o melhor ajuste também foi atribuído ao modelo de Schumacher & Hall. Esse resultado corrobora o encontrado por outros autores que também testaram diversos modelos volumétricos para *Tectona grandis* e constataram que o modelo de Schumacher & Hall foi o mais adequado (DE MORAIS et al., 2020; SILVA et al., 2017; VENDRUSCOLO et al., 2014; TONINI et al., 2009; PASSOS et al., 2006). O modelo de Schumacher & Hall tem sido o mais difundido no meio florestal por apresentar melhores ajustes com estimativas não tendenciosas nas estimativas de volume (CAMPOS & LEITE, 2013).

Na **Figura 3**, verifica-se o gráfico de correlação entre o volume estimado e o volume observado para o modelo volumétrico selecionado. O valor de correlação ( $r$ ) obtido é de 0,97, o que indica alta correlação entre as variáveis, indicando a qualidade da regressão (CAMPOS & LEITE, 2013).



**Figura 3** – Correlação entre o volume estimado e o volume observado para o modelo de Schumacher & Hall

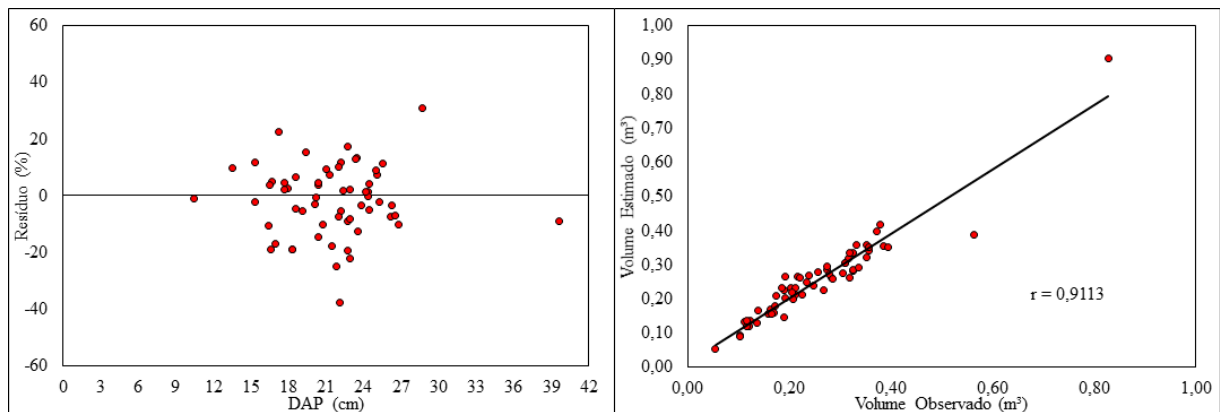
A validação do modelo de Schumacher & Hall apresentou estatísticas aceitáveis para o ajuste dos dados. O coeficiente de determinação corrigido ( $R^2_{aj}$ ) apresentou o valor de 0,91 e o erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}$  %) obtido foi de 14,50%. Embora as estatísticas de precisão para o ajuste dos dados de validação tenha se apresentado ligeiramente pior que o ajuste do modelo, o teste de médias (teste t) para os volumes estimados pelo modelo 1 e conjunto de dados de validação, não apresentou diferença significativa uma vez que o P encontrado é maior que o nível de significância requerido ( $\alpha=0,05$ ) (**Tabela 6**).

**Tabela 6** – Teste “t” para validação do modelo volumétrico de Schumacher & Hall

Teste-t: duas amostras presumindo  
variâncias diferentes

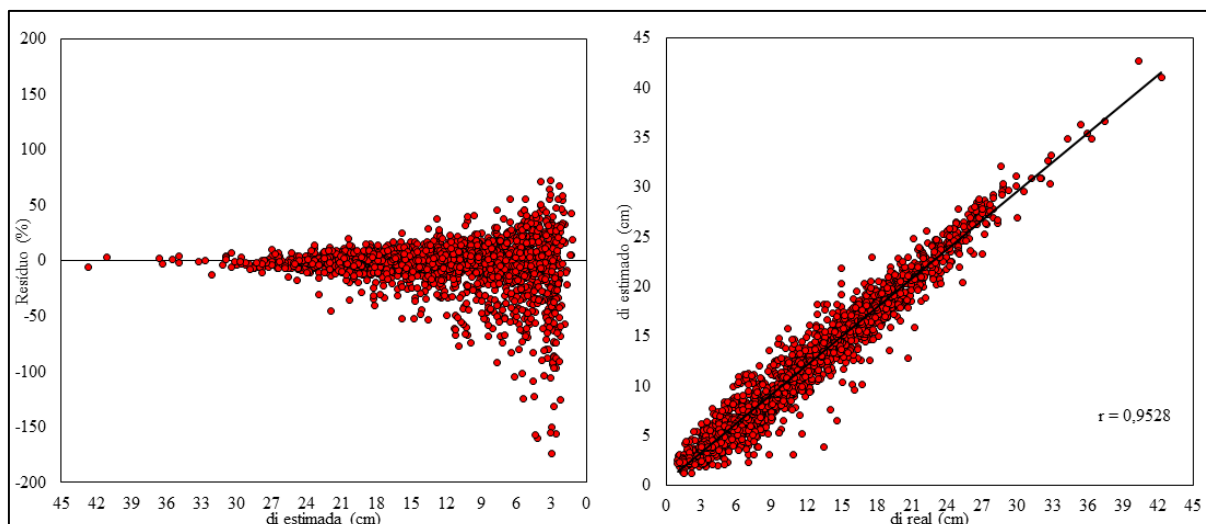
	<i>Vol. Estimado (Validação) (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Vol. Estimado (Ajuste) (m<sup>3</sup>)</i>
Média	0,2550245	0,22855391
Variância	0,014273352	0,010870405
Observações	60	60
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	116	
Stat t	1,293076335	
P(T<=t) uni-caudal	0,099276996	
t crítico uni-caudal	1,658095744	
P(T<=t) bi-caudal	0,198553993	
t crítico bi-caudal	1,980626002	

Na **Figura 4** está apresentada a distribuição gráfica dos resíduos para os dados de validação e o gráfico de correlação entre o volume estimado e o observado para os dados utilizados.

**Figura 4** - Distribuição gráfica dos resíduos e correlação dos volumes estimados e observados.

### Modelo de Afilamento

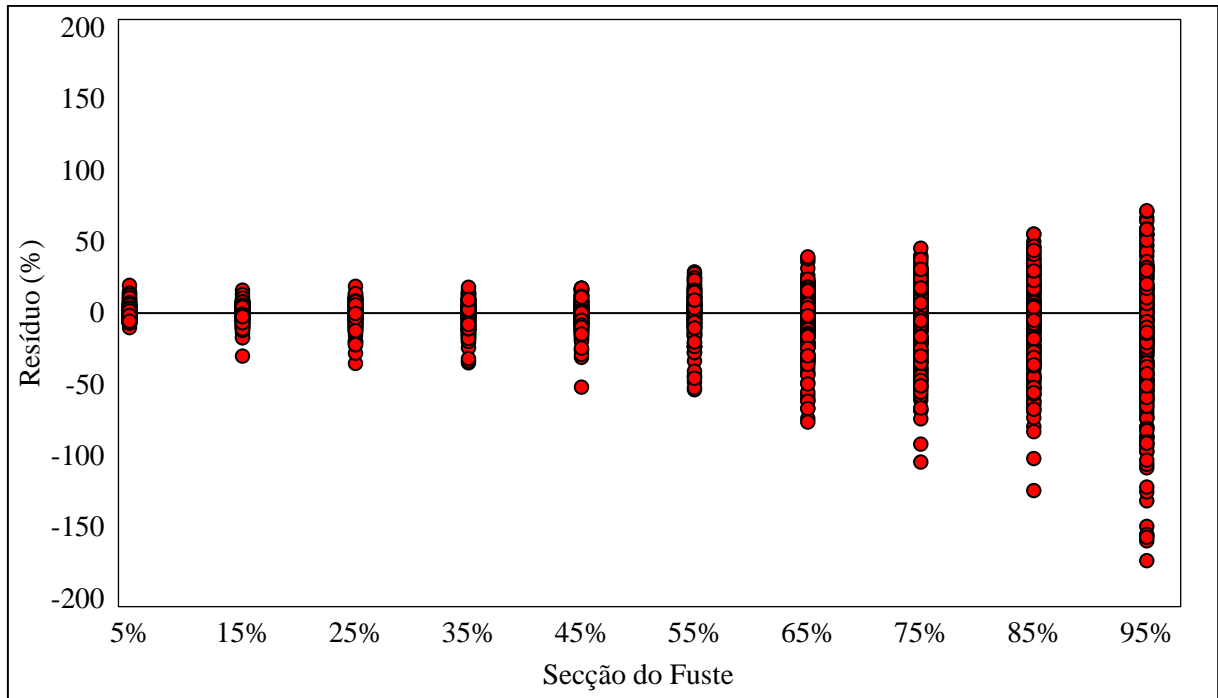
A **Figura 5** mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa dos diâmetros (di) nas diferentes alturas ao longo do fuste da árvore e a correlação entre o diâmetro estimado e observado.



**Figura 5** - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa dos diâmetros (di) e correlação entre os diâmetros estimados e observados para o polinômio do 5º grau.

Analisando a distribuição gráfica dos resíduos, é possível perceber que a equação descreve com maior eficácia os diâmetros na base dos fustes, uma vez que apresenta uma forte tendência a superestimar os diâmetros menores que 15,5 cm. Esse comportamento no ajuste foi encontrado por Amaral (2014) para os modelos de Damaerschalk e Leite e Garcia, por Favalessa et al. (2012), para os modelos de Clark e Hradetzky, mas não para o modelo de Schöpfer. Esse comportamento no ajuste dos dados pode ser explicado pela diversidade de povoamentos utilizados na base de dados desse estudo, uma vez que há uma grande variedade de idades, espaçamentos iniciais de plantio e tratamentos silviculturais nos plantios estudados. De todo modo, o objetivo do trabalho consistiu em ajustar uma única equação de afilamento que pudesse ser utilizada para todos os plantios da empresa, o que foi cumprido, de acordo com as análises estatísticas.

Na **Figura 6** é possível visualizar a distribuição dos erros em porcentagem em relação à altura do fuste.



**Figura 6** - Distribuição gráfica dos resíduos para o modelo de afilamento em relação à altura do fuste.

De maneira geral, o modelo do 5º Grau demonstrou dificuldade na estimativa dos diâmetros nas porções superiores do fuste, onde é perceptível a instabilidade do modelo. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da altura comercial média dos indivíduos cubados ser encontrada à altura de 72,7% do fuste, restando os galhos para as porções superiores da árvore. De acordo com Queiroz (2006), a ocorrência de maiores resíduos geralmente ocorre nas porções superiores do fuste, onde as variações dos diâmetros no processo de cubagem são bruscas, principalmente por conta das ramificações dos galhos superiores. De acordo com Gordon (1983), o Polinômio de 5º grau apresenta uma tendência a superestimar os diâmetros acima de 80% da altura total do fuste. Esse fato também foi observado por Figueiredo et al. (2006), onde o modelo de Schöpfer também encontrou dificuldades na estimativa dos diâmetros das extremidades para *Tectona grandis*.

A validação do ajuste do modelo de afilamento obteve o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2_{aj}$ ) igual a 0,94 e o erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}$  %) igual a 12,82%. Na **Tabela 7** está verificada-se o resultado do teste de médias (teste “t”) que compara a estimativa dos dados estimados pelo model, com as observações oriundas do processo de cubagem para validação.

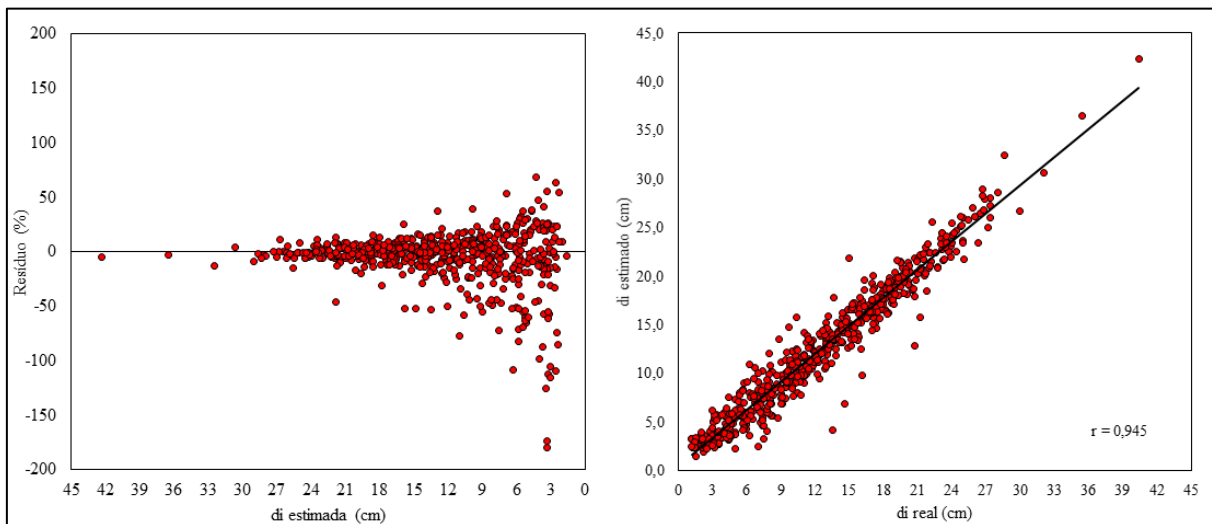
**Tabela 7** – Estatísticas de validação para o modelo de afilamento.

Teste-t: duas amostras presumindo variâncias diferentes

	<i>di estimado (Validação) (cm)</i>	<i>di estimado (Ajuste) (cm)</i>
Média	12,69682313	12,11670624
Variância	45,89417839	45,55797723
Observações	587	587
Hipótese da diferença de média	0	
Graus de liberdade	1172	
Stat t	1,469730101	
P(T<=t) uni-caudal	0,070951624	
t crítico uni-caudal	1,646154806	
P(T<=t) bi-caudal	0,141903248	
t crítico bi-caudal	1,961990163	

Não houve diferença significativa entre as estimativas para os dados de ajuste e validação, uma vez que o valor P encontrado é maior que o nível de significância ( $\alpha=0,05$ ).

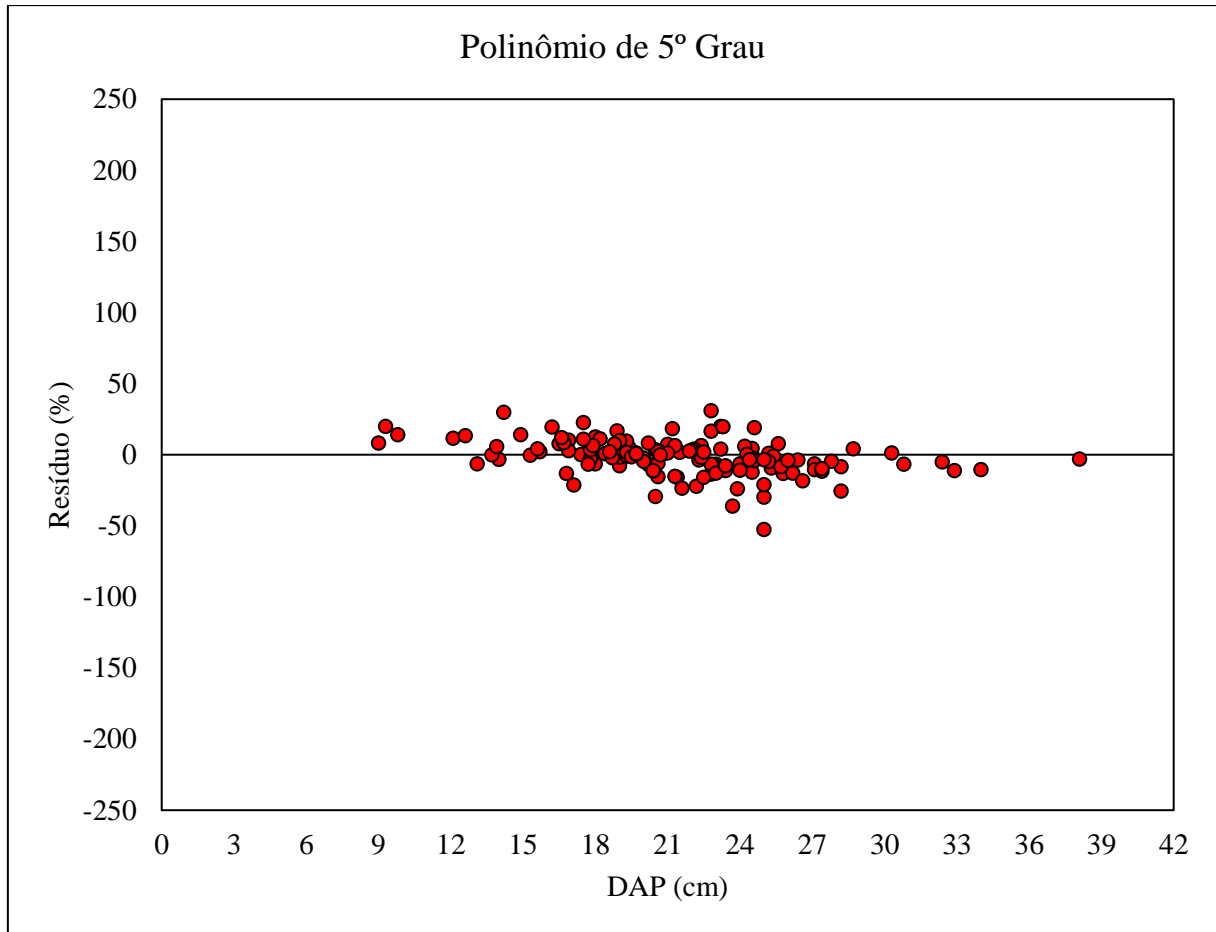
Na **Figura 7** está apresentada a distribuição gráfica dos resíduos para os dados de validação e o gráfico de correlação entre o volume estimado e o observado para os dados utilizados.



**Figura 7** - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa dos diâmetros (*di*) e a correlação entre os diâmetros estimados e observados para o polinômio do 5º grau.

O cálculo do volume total por meio da integração da equação de afilamento obteve um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,93 e um erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}$  %) de 13,10. A distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total,

utilizando o modelo de afilamento está exposta na **Figura 8**.



**Figura 8** - Distribuição gráfica dos resíduos em porcentagem para a estimativa do volume total.

A análise dos resíduos demonstra que o volume total estimado pela integração da equação do modelo de afilamento apresenta uma tendência a subestimar o volume de árvores de menores dimensões, enquanto superestima o volume de árvores de maiores dimensões. Essa mesma tendência no ajuste do modelo de quinto grau também foi encontrada por Queiroz (2006).

Sequencialmente foram comparados os valores obtidos para o cálculo das duas metodologias de obtenção de volume total: o volume oriundo do modelo de Schumacher & Hall, o volume da equação de afilamento de Schöpfer com o volume observado no processo de cubagem rigorosa para as árvores da validação. Na **Tabela 8**, encontra-se o resultado da análise de variância que compara as estimativas do modelo volumétrico e as estimativas de volume por meio da integração da função de afilamento definida por Schöpfer.



**Tabela 8** - Análise de Variância para as Estimativas de Volume.

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Vol. Observado (m <sup>3</sup> )	60	15,2999	0,255	0,01476
Schumacher&Hall (m <sup>3</sup> )	60	15,3015	0,25502	0,01427
5° Grau (m <sup>3</sup> )	60	15,612	0,2602	0,01832

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,00108	2	0,00054	0,0341	0,96648	3,04701
Dentro dos grupos	2,79353	177	0,01578			
Total	2,79461	179				

*SQ* = soma de quadrados; *gl* = graus de liberdade; *MQ* = quadrado médio

Os resultados obtidos na análise de variância (**Tabela 8**), o Polinomial de 5° grau e o modelo volumétrico de Schumacher&Hall não apresentaram diferença significativa entre se, assim como não diferiram do volume da cubagem rigorosa, uma vez que o valor-P encontrado é maior que o nível de significância ( $\alpha=0,05$ ). Desse modo, foi aceita a hipótese de nulidade em ambos os casos, ou seja, os volumes estimados por ambas as equações e o volume obtido na cubagem rigorosa pelo método de Hohenadl não diferiram entre si a 5% de probabilidade de erro. Portanto, os dois modelos são considerados adequados para a estimativa de volume total individual para os povoamentos estudados. Leite et al. (2011), comparando os mesmos modelos por meio de um teste "t" também chegou às mesmas conclusões, onde não houve diferença estatística entre os dois métodos de estimativa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os quatro modelos volumétricos ajustados, o modelo de Schumacher-Hall foi o mais eficiente para estimar o volume total com casca para *Tectona grandis* e é recomendado para auxiliar nos inventários florestais e estimativa do volume de madeira em povoamentos da espécie no Sudeste do Pará e regiões semelhantes.

O ajuste do modelo de afilamento utilizado se mostrou satisfatório para a base de dados utilizada, podendo ser utilizado para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste, assim como, uma vez integrada sua função utilizada para estimativa do volume total.

Comparando as estimativas obtidas das equações do modelo volumétrico e de afilamento por análise de variância, os volumes estimados não diferiram dos valores obtidos na cubagem rigorosa, indicando que ambos os modelos podem ser utilizados para estimativa do volume total individual da população.

Para os referidos plantios, sugere-se um banco de dados mais robusto a fim de melhorar as estimativas. Recomenda-se também estudos adicionais mais representativos que considerem a distribuição hipsométrica e de idade dos plantios na frequência de árvores cubadas.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Luísa Gurjão de Carvalho. **Modelagem do afilamento de fuste com casca, sem casca, cerne e medula de *Tectona grandis* L.F. (TECA) na otimização de multiprodutos.** 2014. 31 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ANDRADE, Valdir Carlos Lima de. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements.** 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

BEZERRA, A. F. et al. Análise da viabilidade econômica de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes no Mato Grosso. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 583-592, 2011.

BINOTI, D. H. B; BINOTI, M. L. M. S; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013

CAMPOS, O. J. **Cubagem de árvores.** 2014. 87p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-Graduação em Matemática. Florianópolis, SC, 2014.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 548p.

CERQUEIRA, Clebson Lima et al. Modelagem da altura e volume de *Tectona grandis* L.f. na mesorregião Nordeste do Pará. Pesquisas Agrárias e Ambientais. **Nativa**, Sinop, v. 5, p. 606-611, 2017.

CHAVES, A. G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de *Tectona grandis* Linn. f. até a idade de rotação.** 2013. 72p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato

Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2013.

CHOOCHUEN, Thanapol; SUKSAVATE, Warong; MEUNPONG, Pontheop. Development of a taper equation for teak (*Tectona grandis* Lf) growing in Western Thailand. **Environment and Natural Resources Journal**, p. 176-185, 2021.

COIMBRA, E. C.; VAZQUEZ, G. H.; NOGUEIRA, T. O. Superação da dormência e o uso de fungicida em diásporos de teca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1281-1286, 2014.

DE MENDONÇA, A. R. et al. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 71-82, 2007.

DE MORAIS, A. C.; SOARES, T. S.; CRUZ, E. S. Height, volume and form factor equations for *Tectona grandis* Lf in Alta Floresta (MT). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 1, n. 1, p. 27-37, 2020.

DE SOUZA, C. A. M. et al. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Ciência Rural**, v. 38, n. 9, p. 2506-2511, 2008.

EMBRAPA. **Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do Pará**. 1ª ed. Pará, 2016. 306p.

FAVALESSA, Cyro Matheus Cometti et al. Funções de afilamento não segmentadas e segmentadas para *Tectona grandis* na região centro-sul matogrossense. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 373-373, 2012.

FERREIRA, Maria Zélia. **Study of taper functions to represent the profile and the volume of the trunk of *Pinus taeda* L.** 2004. 200 p. Dissertation (Master's degree in Forestry Engineering) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 465-482, 2006.

GORDON, A. Comparison of compatible polynomial taper equations. **New Zeland Journal of Forestry Science**, v.13, n.2, p.146-155, 1983.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Brazilian tree industry annual report - base year 2020. Associação Brasileira de Árvores, p. 124, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Brazilian tree industry annual report - base year 2019. Associação Brasileira de Árvores, p. 80, 2020.

KOLLERT, Walter; WALOTEK, Przemyslaw Jan. Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban. **Planted Forests and Trees Working Paper**, v. 49, n. 49, p. 20, 2015.

KOLLERT, W.; KLEINE, N. The global teak study. Analysis, evaluation and future potential of teak resources. **IUFRO World Series**, v. 36, 2017.

KOHLER, S. V. et al. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* por classes de idade. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 470-479, 2013.,

LEAL, F. A.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Validação de funções de taper na estimativa de diâmetro, altura e volume em um povoamento comercial de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 35, n. 3, p. 449-460, 2017.

LEAL, F. A et al. Amostragem de Árvores de Eucalyptus na Cubagem Rigorosa para Estimativa de Modelos Volumétricos. **Rev. Bras. Biom**, v. 33, n. 1, p. 91-103, 2015.

LEITE, H. et al. Classificação da Capacidade Produtiva de Povoamentos de Eucalipto Utilizando Diâmetro Dominante. **Silva Lusitana**, v. 19, n. 2, 2011.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L.; Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

MEDEIROS, Paulo César Alves de Oliveira. **Modelos volumétricos e fator de forma na estimativa do volume de árvores em cerrado sensu stricto**. 2018. 57 f. Dissertação (mestrado Acadêmico) – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi – Curso de Pós graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2018.

MIGUEL, Eder Pereira et al. MODELAGEM NA PREDIÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL EMPLANTIO DE EUCALYPTUS UROGRANDIS. **Rev. Bras. Biom**, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.. Seleção de equações volumétricas para a predição do volume total de *Eucalyptus urophylla* ST Blake na região norte do estado de Goiás. *Enciclopédia biosfera*, v. 8, n. 14, 2012.

MIGUEL, E. P. et al. Modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de goiás. **Revista Floresta** 41: 355-368. 2011.

MIRANDA, Dirceu Lucio Carneiro; PARO, Bruno Alonso Veneran; COSTA, Guilherme Rodrigues. Estimativa do volume em árvores de *Hymenaea coubaril* e *Trattinnickia burserifolia* no norte de Mato Grosso. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 219-223, 2014.

MORETTI, M.S. Sistema Agroflorestal com Teca (*Tectona grandis* L.f.) no Município de Figueirópolis D' oeste, Estado de Mato Grosso. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

OLIVEIRA, O. M. **Verificação da acurácia do método de pressler na estimativa do volume de árvores em pé**. 2010. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. 2010.

OLIVEIRA, C. D. et al. Detecção de fraudes, anomalias e erros em análise de dados contábeis: Um estudo com base em outliers. **Revista Eletrônica do Departamento de Ciências**

**Contábeis & Departamento de Atuária e Métodos Quantitativos (REDECA)**, v. 1, n. 1, p. 102-127, 2014.

ORREGO, S. et al. Modeling height growth for teak plantations in Colombia using the reducible stochastic differential equation approach. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 3, p. 1035-1045, 2021.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JÚNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação Silvicultural de *Tectona grandis* L. f., em Cáceres – MT, Brasil: Resultados Preliminares. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.

PIRES, L.M & CALEGARIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não-lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvores. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 845-852, 2007.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 2006. 136p. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2006.

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Estado da arte de plantios com espécies florestais de interesse para o Mato Grosso. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.

RESTREPO, H. I.; ORREGO, S. A. A comprehensive analysis of teak plantation investment in Colombia. **Forest Policy and Economics**, v. 57, p. 31-37, 2015.

ROLIM, S.G.; COUTO, H.Z.T. do; JESUS R.M. de; FRANÇA, J.T.; Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, vol.36 (1), p.107-114, 2006.

SALES, N. I. S. et al. Patogenicidade e transmissão de fungos associados às sementes de *Tectona grandis* L. f. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 970-978, 2018.

SCHUCHOVSKI, M. S.; ARCE, J. E.; DE OLIVEIRA, E. B.. Altura dominante e índice de sítio para *Pinus taeda* em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

SILVA, G. C. C. **Modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos de eucalipto desbastado e não desbastado**. 2017. 129 p. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

SALES, Nathana Izabela Silva et al. Patogenicidade e transmissão de fungos associados às sementes de *Tectona grandis* Lf. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 970-978, 2018.

SILVA, F. R. et al. DETERMINAÇÃO DE EQUAÇÃO VOLUMÉTRICA E HIPSOMÉTRICA PARA UM PLANTIO DE *Tectona grandis* LF EM ALTA FLORESTA-MT. **REVISTA DE CIÊNCIAS AGROAMBIENTAIS**, v. 14, n. 2, 2016.

SILVA, Fernando da; DALLA CORTE, Ana Paula Aula; SANQUETTA, Carlos Roberto. Taper functions to describe the stem profile and total bole volume for *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in the Triangulo Mineiro. Volume 91, Pags. 367-376, 2011.

SOUZA, Carlos Alberto Martinelli de et al. Avaliação de modelos de afilamento segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 453-463, 2008.

TELLES ANTONIO, Ricardo et al. Ajuste y selección de modelos matemáticos para predecir el volumen fustal de *Tectona grandis* L. f. en Nuevo Urecho, Michoacán, México. **Madera y bosques**, v. 24, n. 3, 2018.

TÉO, Saulo Jorge; MIGUEL, Eder Pereira; NASCIMENTO, Rodrigo Geroni Mendes. Modelos de afilamento e forma dos fustes de eucalipto, em diferentes qualidades de sítio. **Nativa**, Sinop, v. 6, p. 831-841, 2018.

TEWARI, Vindhya Prasad; SINGH, Bilas. Total Wood Volume Equations for *Tectona Grandis* Linn F. Stands in Gujarat, India. **Journal of forest and environmental science**, v. 34, n. 4, p. 313-320, 2018.



TONINI, Helio; COSTA, Mirian Cristina Gomes; SCWENGBER, Luiz Augusto Mello. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 05, 2009.

TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda et al . Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Rev. Árvore**, Viçosa , v. 27, n. 4, p. 487-494, Aug. 2003 .

VENDRUSCOLO, Diogo et al. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

WARNER, Andrew J.; JAMROENPRUCKSA, Monton; PUANGCHIT, Ladawan. Development and evaluation of teak (*Tectona grandis* Lf) taper equations in northern Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, v. 50, n. 5, p. 362-367, 2016.

## ANEXO

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m³)	Retirar?	Critério	Porção Comercial
1	16	12,8	21	0,2420	NÃO		80,0
2	13,7	10,96	19,5	0,1742	NÃO		80,0
3	11,9	9,52	20,1	0,1641	NÃO		80,0
4	14,5	10,15	22,1	0,2497	NÃO		70,0
5	14,7	10,29	13,9	0,1022	NÃO		70,0
6	16	12,8	27,8	0,4009	NÃO		80,0
7	15,2	13,68	23,5	0,3246	NÃO		90,0
8	14,27	8,562	12,1	0,0801	NÃO		60,0
9	14,65	10,255	14,2	0,1427	NÃO		70,0
10	6,5	3,9	12,7	0,0444	SIM	Sem Dimensões Comerciais	60,0
11	11,1	6,66	14	0,0715	NÃO		60,0
12	10,8	7,56	25,6	0,2231	NÃO		70,0
13	12,2	8,54	20,2	0,1839	NÃO		70,0
14	16,3	13,04	24,6	0,3259	NÃO		80,0
15	16,5	13,2	16,7	0,1695	NÃO		80,0
16	17,4	12,18	24,4	0,3391	NÃO		70,0
17	15,5	13,95	21,3	0,2548	NÃO		90,0
18	13,8	11,04	13,5	0,1025	NÃO		80,0
19	16,3	11,41	15,6	0,1402	NÃO		70,0
20	16	14,4	24,6	0,4047	NÃO		90,0
21	15	12	23,8	0,2748	NÃO		80,0
22	13,8	11,04	22,8	0,2913	NÃO		80,0
23	14	8	17,2	0,1895	NÃO		57,1

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
24	13,5	7,55	23,2	0,3077	NÃO		55,9
25	17,5	14	22,2	0,3255	NÃO		80,0
26	15,2	8,5	23,3	0,3481	NÃO		55,9
27	17	11,9	20,4	0,2480	NÃO		70,0
28	15,2	12	22,7	0,3191	NÃO		78,9
29	14,5	13	28,7	0,5639	NÃO		89,7
30	17,3	15,57	25,1	0,3850	NÃO		90,0
31	16,7	14	22,8	0,4264	NÃO		83,8
32	15,6	12,48	14,9	0,1366	NÃO		80,0
33	17,3	15,57	25,2	0,3548	NÃO		90,0
34	18	14,4	25,2	0,3916	NÃO		80,0
35	13,3	7,98	13,7	0,0845	NÃO		60,0
36	11,4	4,56	9,8	0,0432	NÃO		40,0
37	13,1	7,86	12,6	0,0815	NÃO		60,0
38	10,9	7,63	15,7	0,0929	NÃO		70,0
39	10,1	7,07	18	0,1221	NÃO		70,0
40	15,1	12,08	23,2	0,2864	NÃO		80,0
41	17,3	13,84	21,3	0,2839	NÃO		80,0
42	17,4	13,92	24,5	0,3577	NÃO		80,0
43	16,6	11,62	18	0,1713	NÃO		70,0
44	15,3	12,24	22,5	0,2678	NÃO		80,0
45	16,2	11,34	22,4	0,2824	NÃO		70,0
46	15,5	9,3	23	0,2006	SIM	Outlier	60,0
47	14,6	10,22	25	0,2987	NÃO		70,0
48	14,7	10,29	19	0,1770	NÃO		70,0
49	14,3	10,01	29,1	0,3251	SIM	Outlier	70,0
50	14,1	9,87	20,7	0,2044	NÃO		70,0

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
51	10,7	5,35	13,1	0,0584	NÃO		50,0
52	14,2	9,94	16,4	0,1230	NÃO		70,0
53	14,4	10,08	22,3	0,2339	NÃO		70,0
54	14,1	9,87	17,7	0,1592	NÃO		70,0
55	16,7	10,02	22,9	0,2764	NÃO		60,0
56	12,8	10,24	22,4	0,2327	NÃO		80,0
57	15,5	12,4	24,4	0,3108	NÃO		80,0
58	15,1	10,57	23,4	0,2599	NÃO		70,0
59	15,2	9,12	25	0,2109	NÃO		60,0
60	14,2	9,94	21,5	0,1906	NÃO		70,0
61	14,4	8,64	23,6	0,2392	NÃO		60,0
62	13	6,5	10,5	0,0545	NÃO		50,0
63	14,8	11,84	27,1	0,3459	NÃO		80,0
64	17	10,2	29,5	0,3807	SIM	Outlier	60,0
65	17,5	14	26,6	0,3545	NÃO		80,0
66	16,1	11,27	23,4	0,3367	NÃO		70,0
67	18,4	14,72	23	0,2918	NÃO		80,0
68	16,3	13,04	22,4	0,2785	NÃO		80,0
69	16,2	11,34	22,1	0,1925	NÃO		70,0
70	15,2	12,16	23,4	0,2538	NÃO		80,0
71	15,7	10,99	22,8	0,2434	NÃO		70,0
72	15,2	12,16	20,2	0,2111	NÃO		80,0
73	14,2	12,78	34	0,5038	NÃO		90,0
74	12,1	10,89	17,5	0,1623	NÃO		90,0
75	15	10,5	16,5	0,1502	NÃO		70,0
76	14,3	11,44	21,8	0,1851	NÃO		80,0
77	15,6	10,92	20,5	0,2302	NÃO		70,0

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
78	14,9	10,43	22,5	0,2207	NÃO		70,0
79	13,26	9,282	18,6	0,1590	NÃO		70,0
80	15,1	10,57	22,9	0,2177	NÃO		70,0
81	16,53	11,571	20,4	0,2033	NÃO		70,0
82	15,15	10,605	17,4	0,1555	NÃO		70,0
83	14,94	10,458	18,9	0,2174	NÃO		70,0
84	13,2	9,24	17,1	0,1079	NÃO		70,0
85	13,35	10,68	23,9	0,2083	NÃO		80,0
86	14,5	10,15	20,6	0,1808	NÃO		70,0
87	15	10,5	18,6	0,1725	NÃO		70,0
88	14	11,2	16,2	0,1548	NÃO		80,0
89	14,7	10,29	19,4	0,1972	NÃO		70,0
90	14,56	11,648	17,5	0,1697	NÃO		80,0
91	15,9	11,13	20,8	0,2118	NÃO		70,0
92	14,75	10,325	26,3	0,3256	NÃO		70,0
93	14,4	11,52	20,5	0,1924	NÃO		80,0
94	15,7	10,99	20,6	0,2131	NÃO		70,0
95	15,54	10,878	21,3	0,2075	NÃO		70,0
96	14,22	11,376	19,3	0,1983	NÃO		80,0
97	15,22	12,176	16,9	0,1514	NÃO		80,0
98	14,88	10,416	22,2	0,2349	NÃO		70,0
99	13,7	10,96	21,5	0,2185	NÃO		80,0
100	11	4,4	9	0,0329	NÃO		40,0
101	15,2	10,64	23	0,2557	NÃO		70,0
102	11,2	4,48	9,3	0,0411	NÃO		40,0
103	13,1	9,17	15,3	0,1037	NÃO		70,0

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
104	3,8	0	3,1	0,0019	SIM	Sem Dimensões Comerciais	0,0
105	6,5	1,3	6,5	0,0142	SIM	Sem Dimensões Comerciais	20,0
106	7	2,1	8	0,0172	SIM	Sem Dimensões Comerciais	30,0
107	16,9	11,83	25,3	0,3351	NÃO		70,0
108	16,9	13,52	21,9	0,2821	NÃO		80,0
109	16,8	11,76	19	0,1905	NÃO		70,0
110	15,4	13,86	24,6	0,3031	NÃO		90,0
111	15	13,5	19	0,1996	NÃO		90,0
112	14,1	8,46	24	0,2480	NÃO		60,0
113	14	11,2	19,3	0,1752	NÃO		80,0
114	15,5	12,4	25	0,3524	NÃO		80,0
115	15,6	10,92	23,7	0,2180	NÃO		70,0
116	16,2	11,34	22,7	0,2562	NÃO		70,0
117	15,2	10,64	22,7	0,2209	NÃO		70,0
118	15,35	10,745	20,5	0,1691	NÃO		70,0
119	14,8	10,36	20,6	0,2193	NÃO		70,0
120	16,1	9,66	21,6	0,2059	NÃO		60,0
121	15,2	12,16	20,4	0,1928	NÃO		80,0
122	17	11,9	22,9	0,2735	NÃO		70,0
123	17,2	13,76	25,3	0,3521	NÃO		80,0
124	16,9	11,83	18,8	0,2191	NÃO		70,0
125	13,7	9,59	25	0,2236	NÃO		70,0
126	13,1	7,86	22,2	0,1789	NÃO		60,0
127	12,6	10,08	20,6	0,1857	NÃO		80,0
128	14,5	11,6	27,4	0,3358	NÃO		80,0

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
129	13,7	10,96	22,4	0,2285	NÃO		80,0
130	13,8	9,66	20,4	0,2075	NÃO		70,0
131	12	8,4	20	0,1589	NÃO		70,0
132	12,7	8,89	20,2	0,1642	NÃO		70,0
133	12,7	7,62	18,8	0,1616	NÃO		60,0
134	12,2	8,54	16,6	0,1296	NÃO		70,0
135	14,4	10,08	25,1	0,2847	SIM	Outlier	70,0
136	16,5	13,2	25,5	0,3956	NÃO		80,0
137	16,1	12,88	24,4	0,3167	NÃO		80,0
138	17,5	15,75	22,9	0,3104	NÃO		90,0
139	18,6	14,88	27,4	0,4245	NÃO		80,0
140	18,7	14,96	26,2	0,3853	NÃO		80,0
141	17,8	14,24	22	0,3010	NÃO		80,0
142	18,3	10,98	25	0,3201	NÃO		60,0
143	14,5	13,05	22,1	0,2447	NÃO		90,0
144	17	11,9	21	0,2744	NÃO		70,0
145	17,5	15,75	21	0,2861	NÃO		90,0
146	17,4	14,55	28,7	0,5073	NÃO		83,6
147	13,3	9,31	22	0,2056	NÃO		70,0
148	14,7	10,29	19,7	0,1959	NÃO		70,0
149	15,2	10,64	19,7	0,2014	NÃO		70,0
150	14,1	10,095	18,3	0,1392	NÃO		71,6
151	13,4	9,38	18,2	0,1694	NÃO		70,0
152	16,6	11,62	17,8	0,1848	NÃO		70,0
153	17,9	14,32	18,6	0,2263	NÃO		80,0
154	17,8	16,02	19,4	0,2679	NÃO		90,0
155	19,9	13,93	25,8	0,3963	NÃO		70,0

Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
156	15,3	10,71	19,3	0,1964	NÃO		70,0
157	13,3	7,98	22,8	0,2197	NÃO		60,0
158	16,3	11,41	19,1	0,1932	NÃO		70,0
159	17,8	14,24	20	0,2306	NÃO		80,0
160	18	14,4	26,2	0,3720	NÃO		80,0
161	17,5	14	26,4	0,3986	NÃO		80,0
162	17	10,2	24,5	0,3193	NÃO		60,0
163	16,2	12,96	21,4	0,2168	NÃO		80,0
164	18,2	10,92	18,3	0,1745	NÃO		60,0
165	14,2	9,94	17,8	0,1482	NÃO		70,0
166	14,3	11,44	17,7	0,1424	NÃO		80,0
167	16,7	11,69	20,8	0,2465	NÃO		70,0
168	17	13,6	21,2	0,3174	NÃO		80,0
169	17	13,6	22	0,3062	NÃO		80,0
170	15,3	12,24	19,7	0,2018	NÃO		80,0
171	18	12,6	26,8	0,3780	NÃO		70,0
172	16,4	13,12	25,4	0,3553	NÃO		80,0
173	15,6	10,92	18,7	0,1812	NÃO		70,0
174	14,5	7,25	16,8	0,1105	SIM	Outlier	50,0
175	14,7	10,29	19	0,1997	NÃO		70,0
176	14	9,8	19,5	0,1794	NÃO		70,0
177	15	10,5	18	0,1882	NÃO		70,0
178	15,2	10,64	18,4	0,1760	NÃO		70,0
179	19,3	14,59	25,7	0,3980	NÃO		75,6
180	17,3	13,84	28,2	0,3710	NÃO		80,0
181	15,9	12,72	24,5	0,3382	NÃO		80,0
182	17,5	15,75	25,6	0,4219	NÃO		90,0



Árvore	HT (m)	HC (m)	DAP (cm)	Vol. Total (m <sup>3</sup> )	Retirar?	Critério	Porção Comercial
183	16,5	14,85	24,3	0,3316	NÃO		90,0
184	18,4	14,72	24,2	0,3571	NÃO		80,0
185	16	14,4	24	0,2935	NÃO		90,0
186	15,6	14,04	24,2	0,3296	NÃO		90,0
187	15,5	12,4	26,5	0,3334	NÃO		80,0
188	15,3	12,24	28,2	0,3800	NÃO		80,0
189	16,9	13,52	27,1	0,3811	NÃO		80,0
190	16,5	13,2	24,5	0,2991	NÃO		80,0
191	17,1	13,68	26	0,3766	NÃO		80,0
192	13,7	9,59	16,6	0,1131	NÃO		70,0
193	12,1	9,68	20,4	0,1532	NÃO		80,0
194	18,6	14,88	30,3	0,5856	NÃO		80,0
195	10,4	8,32	15,3	0,1026	NÃO		80,0
196	13,5	8,1	16,7	0,1392	NÃO		60,0
197	14,2	9,94	15,3	0,1169	NÃO		70,0
198	14,3	11,44	17,7	0,1647	NÃO		80,0
199	13,5	8,1	16,5	0,1363	NÃO		60,0
200	14	9,8	16,9	0,1510	NÃO		70,0
201	14,7	10,29	17,9	0,1704	NÃO		70,0
202	11,9	7,14	16,8	0,1006	NÃO		60,0
203	13,3	7,98	17	0,1169	NÃO		60,0
204	17,5	14	38,1	0,8355	NÃO		80,0
205	17,6	12,32	30,8	0,5304	NÃO		70,0
206	15,5	12,4	32,9	0,5119	NÃO		80,0
207	15,6	14,04	32,4	0,5285	NÃO		90,0
208	19,1	15,28	39,6	0,8279	NÃO		80,0