

**EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM PLANTIOS  
COMERCIAIS**

**MARIA CRISTINA BUENO COELHO**

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM**  
**PLANTIOS COMERCIAIS**

**MARIA CRISTINA BUENO COELHO**

**ORIENTADOR: JOSÉ MARCELO IMAÑA ENCINAS**  
**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPG/EFL TD 061/2016**  
**BRASÍLIA, DF, Brasil, Fevereiro 2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**

**EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM PLANTIOS  
COMERCIAIS**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Dr. José Marcelo Imaña Encinas (UnB/EFL)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr. Paulo Renato Schneider (UFSM)**  
(Examinador Externo)

---

**Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana (UFPE)**  
(Examinador Externo)

---

**Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto (UnB/EFL)**  
(Examinador Interno)

---

**Prof. Dr. Ricardo Oliveira Gaspar (UnB/EFL)**  
(Examinador Interno)

---

**Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (UnB/EFL)**  
(Examinador Interno)

Brasília, Fevereiro de 2016.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ce	Coelho, Maria Cristina Bueno EPIDOMETRIA DE <i>Calophyllum brasiliense</i> Camb. EM PLANTIOS COMERCIAIS / Maria Cristina Bueno Coelho; orientador José Marcelo Imaña Encinas. -- Brasília, 2016. 100 p.  Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Florestais) -- Universidade de Brasília, 2016.  1. <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.. 2. Manejo Florestal. 3. Crescimento e Produção. I. Encinas, José Marcelo Imaña, orient. II. Título.
----	--

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

Coelho, M. C. B. (2016). EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM PLANTIOS COMERCIAIS, Brasil. Tese de Doutorado, Publicação PPG EFL. TD 061/2016, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

AUTORA: Maria Cristina Bueno Coelho

TÍTULO: EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM PLANTIOS COMERCIAIS

GRAU: Doutora; ANO: 2016; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Manejo Florestal.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Maria Cristina Bueno Coelho  
Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi  
Fone: (63) 3311-3588 / 9222-8065  
mariacristina@uft.edu.br

**A meus pais, Flávio Maciel Coelho e Marilene Bueno Coelho, que me deram a vida  
Ao meu amor Mauro Luiz Erpen  
Aos meus avós Tracildo, Ana Maria, Otília e Delmar (†)  
A meus irmãos (ãs), cunhados (as) e sobrinhos (as)  
A Cafú, Atena, Pituska, Penélope e Mila (†), Sofia e Mega**

**DEDICO**

**“O verdadeiro mestre é aquele que ensina a viver.”  
(Autor Desconhecido)**

## AGRADECIMENTOS

Deus é o dono de tudo. Devo a Ele a oportunidade que tive de chegar aonde cheguei.

Meu mais profundo agradecimento e respeito a todos que ajudaram para que este trabalho se realizasse. Agradeço:

Ao meu orientador, professor e amigo, Dr. José Marcelo Imaña Encinas, mestre na arte de ensinar e de preparar as pessoas para o futuro.

À empresa JAMP Florestal, por disponibilizar durante sete anos todas as condições para realização deste trabalho, especialmente a Marcelo Bazan, Álvaro Soares e Conrado Bazan.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, pela possibilidade de realização do doutorado, em especial aos professores e funcionários (Francisco Cesar Borges) do curso, pela colaboração e pela amizade.

Aos revisores e membros da comissão examinadora de avaliação Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana, Prof. Dr. José Roberto Rodrigues Pinto, Prof. Dr. Ricardo Oliveira Gaspar e Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira pelas valiosas contribuições.

A todos os colegas do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, em especial a Pierre Farias, Fabiana Campos Ribeiro, Angela Bussinguer, José Raimundo Ludovico, Gileno Azevedo, Glauce Tais Azevedo e Marina Morais Monteiro, pelos momentos agradáveis e pela convivência harmoniosa.

À Universidade Federal do Tocantins (UFT) e aos colegas do curso de Engenharia Florestal, por terem permitido meu afastamento para doutoramento.

Aos acadêmicos do curso de Engenharia Florestal da UFT: Marília Camargo, Denis Veloso, Raylon Miranda, Yasmin Ramos, Suelen F. Goergen, Joao Gabriel Caldas, Gislean Pereira, e os funcionários João e Marclean, por auxílio na coleta de dados.

Aos professores Juliana Barilli, Marcos Gionglo e Júlio Cezar Viana, colegas e amigos de tantas jornadas.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por ter concedido a bolsa para realização de doutorado Sanduíche na Costa Rica, em Turrialba.

Ao meu coorientador Doutor (PhD) Ronnie de Camino Velozo e ao CATIE-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Turrialba – Costa Rica), por terem proporcionado contato com comunidades científicas, cito: SINAC vinculado ao

MINAE (Maria Isabel Chavarría Espinoza), CODEFORÇA e FUNDECOR, e pesquisadores internacionais entre eles: Roger Villalobos (CATIE); Diego Delgado R. (CATIE); Jean Pierre Morales (CATIE), conceituados em várias áreas da Engenharia Florestal. Também a Marcela Duran B. (CATIE), por ter sido sempre tão disponível em todas minhas solicitações.

Agradeço também a Elias de Melo (CATIE); Marylin Villalobos, Suelen Castro de Souza, Kauê Souza, Lu Lopes e Júlia Camargo, por me fazerem companhia e ajudado a diminuir a saudade do Brasil. Agradeço por terem dado a oportunidade de conhecer este país que é “PURA VIDA”.

Ao professor Dr. Otacílio Antunes Santana, por auxiliar nas análises estatísticas e na interpretação dos dados.

Ao meu marido Mauro Luiz Erpen, companheiro incansável com garra para lutar a vida inteira. Agradeço pela imensa paciência e pela compreensão.

A toda minha família, na representação de meus pais, pelo incentivo no estudo e pela compreensão por minhas ausências, proporcionando-me todo o apoio do qual necessitei.

## RESUMO

### EPIDOMETRIA DE *Calophyllum brasiliense* Camb. EM PLANTIOS COMERCIAIS

**Autor:** Maria Cristina Bueno Coelho

**Orientador:** Dr. José Marcelo Imaña Encinas

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais**

**Brasília, DF, Fevereiro de 2016.**

A viabilidade técnica de plantios comerciais de *Calophyllum brasiliense* Cambess. foi avaliada na empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. no município de Dueré, estado do Tocantins no período de 2009 a 2014 a partir da instalação de um inventário florestal sistemático contínuo. Foram amostrados 384 indivíduos em 35 ha distribuídos em 96 subparcelas (0,96% de intensidade amostral) de 32m<sup>2</sup>. O plantio apresentou baixa variabilidade (CV < 20%) para variável HT (CV = 14,82%) e para variável DAP (CV= 18,60%) aos 74 meses de idade. Também apresentou distribuição normal de frequência ( $\geq 68\%$  dois indivíduos devem estar entre o intervalo de mais ou menos um desvio padrão da média) aos 74 meses tanto para a variável HT (68,70%) quanto para variável DAP (70,51%). A densidade do povoamento de 1.250 árvores/ha (espaçamento de 4 x 2m) mostrou que, aos 74 meses de idade, tem um crescimento da HT médio de 5,43 m (variando de 8,20 a 2,80m) com IMA de 0,88m e em DAP uma média de crescimento médio de 7,47 (variando de 12,96 a 3,5 cm) cm com IMA de 1,21 cm e com IMA em volume de 5,33 m<sup>3</sup>haano. As curvas de produção para HT, DAP e volume feitas a partir do agrupamento dos IMA apresentou forma linear de crescimento indicando que o povoamento está em fase inicial de crescimento. A variação do crescimento da altura dominante pela idade foi determinada a partir da capacidade produtiva, onde foram construídas de cinco curvas de índice de sítio do tipo monomórficas, respectivamente de 1 a 9 m na idade índice de 74 meses (idade mais velha do povoamento) com intervalo de 2 m de forma a cobrir toda a amplitude de alturas totais observadas na área de estudo. Todos estes valores analisados em conjunto indicam que a espécie é viável para ser utilizada em plantios comerciais no estado do Tocantins.

**Palavras chave:** crescimento, *Calophyllum brasiliense* Cambess, capacidade produtiva.



## ABSTRACT

### SPIROMETRY *Calophyllum brasilienses* Camb. IN COMMERCIAL PLANTATIONS

**Author:** Maria Cristina Bueno Coelho  
**Advisor:** Dr. José Marcelo Imaña Encinas  
**Graduate Program in Forest Sciences**  
**Brasilia DF, February 2016**

The Commercial planting technique Feasibility *Calophyllum brasiliense* Cambess, was evaluated in the JAMP Agricultural and Reforestation Company Ltda. In the municipality of Dueré, Tocantins state in the Period of 2009-2014 From The installation of an ongoing systematic forest inventory. 384 individuals were sampled in 35/ ha distributed in 96 subparelas (0.96% of sampled intensity) of 32 m<sup>2</sup>. The planting showed low variability (CV < 20%) to variable HT (CV = 14.82%) and to variable DAP (CV = 18.60%) after 74 months of age. It also showed normal frequency distribution (≥ 68% Two individuals should be within the range of more or less one average standard deviation) at 74 months, both for a variable HT (68.70%) and variable DAP (70.51 %) the density of the population of 1,250 trees / ha (spacing 4 x 2m) showed that at 74 months of age has a growth HT measuring 5.43 m (ranging from 8.20 to 2.80m) with IMA 0,88m of DAP and an average growth of 7.47 (ranging from 12.96 to 3.5 cm) cm with IMA of 1.21 cm and volume of IMA in 5.33 m<sup>3</sup> / ha / year. Production curves HT, and volume of DAP Made to the IMA grouping From presented linear growth indicating That settlement is in early stages of growth. The Variation of Growth dominant height by age was determined From the Productive capacity, where it was built five site index curves of monomorphic type, respectively 1 to 9 m at Age of 74 months index (Oldest age of the population) with an Interval of 2m to cover entire range of total heights observed in the studied area. All these values taken together indicate that the specie is feasible to be used in commercial plantations in the state of Tocantins .

**Keywords:** Growth, *Calophyllum brasiliense* Cambess, Productive capacity.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótese.....	4
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Características gerais da espécie.....	5
2.1.1 Características ecológicas.....	5
2.1.2 Reprodução e fenologia .....	6
2.1.3 Ocorrência natural.....	6
2.1.4 Exigências nutricionais da espécie.....	7
2.1.5 Sementes e germinação .....	8
2.1.6 Aspectos silviculturais.....	9
2.1.7 Usos da madeira.....	10
2.2 Crescimento e produção.....	12
2.2.1 Crescimento em altura .....	15
2.2.2 Crescimento em diâmetro .....	17
2.2.3 Crescimento em volume .....	18
2.2.4 Produção.....	21
2.3 Relação Hipsométrica.....	22
2.4 Incremento.....	24
2.5 Classificações de sítios florestais.....	26
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 Área de estudo.....	33
3.1.1 Tratos Culturais no plantio e manutenção do povoamento.....	37
3.2 Coleta de dados.....	38
3.3 Dinâmica do crescimento do povoamento.....	41

3.4 Relação hipsométrica.....	41
3.5 Determinação de equações de volume.....	42
3.5.1 Validação do modelo volumétrico ajustado.....	44
3.6 Classificação de sítio.....	45
3.7 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio.....	46
3.8 Calculo do incremento .....	46
3.9 Taxa de Mortalidade .....	47
3.10 Seleção dos modelos matemáticos.....	47
3.10.1 Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ).....	47
3.10.2 Coeficiente de variação (CV % ).....	48
3.10.3 Teste F .....	48
3.10.4 Análise gráfica da distribuição dos resíduos .....	49
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
4.1 Dinâmica do crescimento em altura total .....	50
4.2 Incremento médio anual e incremento corrente anual para HT.....	53
4.3 Dinâmica do crescimento em DAP.....	55
4.4 Incremento médio anual e incremento corrente anual para DAP.....	58
4.5 Taxa de mortalidade.....	59
4.6 Relação hipsométrica.....	62
4.7 Volume individual.....	67
4.7.1 Validação da equação volumétrica.....	73
4.8 Determinação da capacidade produtiva.....	74
4.8.1 Construção das curvas de sítio .....	77
4.8.2 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sitio.....	79
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da produção de mudas de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no viveiro e no plantio da empresa JAMP. em Dueré-TO.....	10
Tabela 2: Modelos de equações para determinar a relação hipsométrica em m no plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess., no município de Dueré-TO.....	42
Tabela 3: Modelos de equações para determinação do volume individual em m <sup>3</sup> do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré – TO.....	44
Tabela 4: Modelos Ajustados pelo método da curva-guia para determinação da capacidade produtiva do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré – TO.....	45
Tabela 5: Resultado do coeficiente de variação (%) e desvio padrão para a variável HT média no período de 15 a 74 meses no plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	50
Tabela 6: Frequência absoluta e frequência relativa do plantio comercial para a variável HT da espécie <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no período de 15 a 74 meses em Dueré-TO.....	51
Tabela 7: Cálculo do incremento médio anual e incremento corrente anual em HT média em valores absolutos e percentuais para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	54
Tabela 8: Frequência de indivíduos, DAP médio, desvio padrão e coeficiente de variação no plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	55
Tabela 9: Frequência absoluta e frequência relativa para a variável DAP no plantio comercial da espécie <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no período de 44 a 74 meses em Dueré-TO.....	56
Tabela10: Cálculo do incremento médio anual e incremento corrente anual em valores absolutos e percentuais para DAP no plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	58
Tabela 11: Número de árvores mortas em valores absolutos e percentuais no período de 15 a 74 meses para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	60
Tabela 12: Características da idade (anos), espaçamento (m), plantas vivas (%) altura média (m), DAP (médio), classe de solos de plantios comerciais realizados com <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no Brasil e no Exterior.....	61

Tabela 13: Estimativas dos parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados para descrever a relação hipsométrica para <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	62
Tabela 14: Frequência absoluta das árvores cubadas para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO para classes de DAP com amplitude de 2 cm.....	67
Tabela 15: Valores dos fatores de forma artificial obtidos pela cubagem rigorosa para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess aos 74 meses de idade.....	68
Tabela 16: Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados para descrever o volume individual em m <sup>3</sup> do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO.....	69
Tabela 17: Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados testadas para descrever a capacidade produtiva do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO:.....	75
Tabela 18: Altura dominante por índice de sítio e idade para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess. em Dueré-TO no período de 15 a 74 meses de idade.....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frutos do <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no plantio comercial em Dueré-TO aos 44 meses de idade.....	8
Figura 2: Vista aérea da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. (a) e plantio comercial do <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess. (b) no município de Dueré-TO.....	33
Figura 3: Localização geográfica da área de estudo destacando o estado do Tocantins e o município de Dueré-TO.....	34
Figura 4: Mapa da propriedade da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. com destaque para área de estudo, círculo vermelho.....	34
Figura 5: Vista por satélite da área onde foi realizado o plantio comercial de <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess. em Dueré-TO.....	35
Figura 6: Viveiro de produção das mudas de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. na empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda., onde: vista geral das mudas (a), suporte de colocação dos tubetes (b), bancadas com sombrites (c) e tubetes (d) .....	36
Figura 7: Croqui esquemático sem escala evidenciando a unidade amostral (40 x 32 m) e as quatro subunidades amostrais (4 x 2m cada ) com quatro árvores úteis em cada subunidade.....	39
Figura 8: Exemplo de marcação das árvores do inventário florestal sistemático contínuo no plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	39
Figura 9: Vista geral do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess em Dueré-TO. ao longo do período da pesquisa, sendo: 15 meses de idade (a), 25 meses de idade ( b ) , 36 meses de idade ( c ) , 50 meses de idade ( d ) , 60 meses de idade (e) e 74 meses de idade (f).....	41
Figura 10: Dinâmica do crescimento por classe de HT em função da idade do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no período de 15 a 74 meses de idade no município de Dueré-TO.....	53
Figura 11: Dinâmica do crescimento por classe de DAP em função da idade do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. no período de 44 a 74 meses de idade no município de Dueré-TO.....	57
Figura 12: Curvas de crescimento acumulado para as variáveis DAP médio em cm, altura total média em m e volume médio em m <sup>3</sup> /ha para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. ao longo do período de tempo avaliado em Dueré-TO.....	59

Figura 13: Distribuição percentual dos resíduos do modelo testados para determinar a relação hipsométrica para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO.....	64
Figura 14: Alturas observadas e estimadas pela função hiperbólica para determinação da relação hipsométrica do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess aos 74 meses de idade em Dueré-TO.....	65
Figura 15: Distribuição percentual dos resíduos dos modelos testados para determinar o volume individual para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. em Dueré-TO. aos 74 meses de idade.....	71
Figura 16: Volumes observados e estimados pela função de Schumacher-Hall para do plantio comercial de <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO.....	73
Figura 17: Distribuição percentual dos resíduos para os modelos testados na determinação da capacidade produtiva do plantio comercial de <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess. em Dueré-TO.....	76
Figura 18: Curvas de índice de sítio no período de 15 a 74 meses de idade para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess em Dueré-TO.....	78
Figura 19: Confiabilidade e estabilidade das curvas índice de sítio no período de 15 a 74 meses de idade para o plantio comercial de <i>Calophyllum brasilienses</i> Cambess em Dueré-TO.....	80

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e $\beta_5$	Coefficientes da regressão
CAP	Diâmetro à altura do peito, medido em centímetros
CV%	Coefficiente de variação em percentagem
$d_{1,3}$	Diâmetro medido a 1,30 m da altura total da árvore
d	Diâmetro a altura do peito, medido em centímetros
DAP	Diâmetro à altura do peito, medido em centímetros
E	Erro pré-estabelecido
$E_i$	Resíduo da i-ésima observação
$f_{1,30}$	Fator de forma artificial
FA	Frequência absoluta
FR	Frequência relativa, em percentagem
FV	Fonte de variação
G	Área basal por hectare, medido metros quadrados
GL	Graus de liberdade
$h/d$	Relação Hipsométrica
$h$	Altura total (m)
ha	Hectare (10.000 m <sup>2</sup> )
$h_{dom}$	Altura média das árvores dominantes, medida em metros
HT	Altura total, medida em metros
I.B.W	Institute Baden Württemberg
I.B.G.E.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Incremento corrente anual
IMA	Incremento médio anual
$I_n$	Número total de indivíduos registrados no inventário do ano “n”.
K	Número de coeficientes da equação
ln	Logaritmo neperiano
log	Logaritmo na base dez
MB	Taxa de mortalidade bruta



$M_{n+1}$	Número de indivíduos presentes no inventário do ano “n” e registrados como mortos no inventário
N	Número de árvores por hectare
$n_i$	Número total de indivíduos medidos
p	Probabilidade de significância do teste.
PIB	Produto Interno Bruto
PNF	Plano Nacional de Florestas
$R^2$	Coefficiente de determinação
$R^2_{aj}$	Coefficiente de determinação ajustado
s	Desvio padrão
SEPLAN	Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins
$S_{yx}$	Erro padrão da estimativa
I	Idade (medida em meses)
t	Valor tabelado (Student) conforme o “n” e o nível de precisão requerido de 95% de probabilidade de confiança
$v$	Volume total medido em metros cúbicos
$v_i$	Volume das secções transversais
$v_c$	Volume do cone
$v_0$	Volume do toco, medido em metros cúbicos
$\hat{y}$	Média aritmética da variável dependente
$Y_i$	Valor real da árvore
$\hat{Y}_i$	Valor estimado da árvore

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com potencial para a produção florestal, quer por sua área disponível, por suas condições edafoclimáticas e pelo seu desenvolvimento tecnológico no setor. O país atingiu em 2012 a soma de 6.664.812 ha de florestas plantadas, sendo 70,8 % de Eucalipto, 22,00% de Pinus e 7,0% com outras espécies (tanto nativas quanto exóticas). O crescimento acumulado no período de 2005-2012 foi de 27,9%, ou seja, 3,0% ao ano (ABRAF, 2013).

Em 2012, o valor bruto da produção (VBP) obtido pelo setor florestal totalizou R\$ 56,3 bilhões, indicador 4,6% superior ao de 2011. Os tributos arrecadados corresponderam a R\$ 7,6 bilhões (0,5% da arrecadação nacional). O saldo da balança comercial da indústria nacional de base florestal (USD 5,5 bilhões) ampliou a sua participação no superávit da balança comercial nacional de 19,1% para 28,1% existindo a necessidade desta indústria crescer no ritmo de 3 a 4 milhões de metros cúbicos de madeira por ano (ABRAF, 2013).

Como alternativa para indústria florestal surge o reflorestamento comercial com espécies nativas brasileiras, que visando à produção de madeira para serraria e laminação, tem se intensificado nos últimos anos em diversas regiões do país (Ciriello, 2010). O interesse na produção por madeiras duras de maior valor agregado vem crescendo na última década, com destaque para os plantios de teca (*Tectona grandis*), cedro australiano (*Toona cilliata*) e do mogno-africano (*Khaya* sp.) no grupo das espécies exóticas, e dos plantios de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) e do mogno (*Swietenia macrophylla*) no grupo das espécies nativas. Por não ser atividade tradicional do setor florestal brasileiro, ainda não há suficiente conhecimento científico e tecnologia de produção das espécies nativas potenciais, dificultando o desenvolvimento e o crescimento da atividade no país (Ciriello, 2010).

O *Calophyllum brasiliensis* Cambess. é uma espécie florestal nativa que, atualmente, vem sendo procurada para plantios comerciais nas regiões sudeste e norte do país devido ao seu grande retorno financeiro (Ciriello, 2010). Essa espécie de ampla distribuição tropical tem sido cultivada comercialmente em plantações puras em

diversos países da América Latina e Central devido aos bons resultados de crescimento (moderadamente rápido) verificados em parcelas experimentais por diversos autores (Butterfield, 1990, Butterfield & Espinoza, 1995, González & Fisher 1994, Montagnin et al. 2003, Hagggar et al. 1998, Piotto et al. 2003a).

Em plantações experimentais na Costa Rica apresentou uma altura de 1,36 m e diâmetro de 1,62 cm no primeiro ano (Russo & Sandi, 1995). Aos três anos de idade alcançou a altura de 4,2 m e 3,9 cm de diâmetro (González et al., 1990). Avaliações realizadas em plantações de sete anos de idade mostraram as taxas iniciais de crescimento, mantendo um incremento médio em altura de 1,4 m/ano e um incremento médio em diâmetro da ordem de 1,82 cm/ano. Em plantações experimentais manejadas através de desbastes, aos dez anos de idade as árvores atingiram uma altura média de 13 m e diâmetro médio de 19,4 cm. (Piotto et al., 2003b).

A espécie *Calophyllum brasiliensis* Cambess. tem sido excelente opção para indústrias do setor florestal brasileiro. É a primeira madeira de lei do país (lei de 7 de janeiro de 1835), se adapta aos diversos tipos de clima e solo e pode ser encontrada de norte a sul do país. Possui excelentes características silviculturais, ótima qualidade da madeira e é muito utilizada para fabricação de móveis finos (Duffecky et. al. 2009). Possui características na sua madeira que se assemelha ao cedro e ao mogno (Cidrão, 2012) e em alguns países da América Latina e Central vem substituindo estas espécies em grande escala (Cidrão, 2012).

Neste contexto o estado do Tocantins surge como alternativa para plantios comerciais de *Calophyllum brasiliensis* Cambess, pois, a produção sustentável e o crescimento do setor florestal nas últimas décadas fizeram com que o estado do Tocantins obtivesse considerável crescimento na área florestal pelo seu aumento de área destinada a plantios florestais (SEPLAN, 2007).

A atividade silvicultural criou novo cenário de produção tocantinense, tendo seus maiores incrementos nos últimos três anos (2012, 2013 e 2014), em que foram contabilizadas 287 propriedades rurais com plantios florestais (SEAGRO, 2014) somando 153.656,48 ha de área plantada com diversas espécies florestais, sendo que o

eucalipto corresponde a 92% do total de área plantada, e os outros 8% se divide entre seringueira, acácia, guanandi, teca, entre outras (SEAGRO, 2014).

Visto o potencial silvicultural desta espécie e ausência de informações sobre crescimento e produtividade faz-se necessário estudo de forma a estabelecer plantações para suprir a futura demanda de madeira.

Nesse contexto, a epidometria surge como um dos pilares básico da ciência florestal para aplicar os princípios das medições para obtermos informações quantitativas e qualitativas do crescimento das árvores e dos povoamentos florestais, variáveis necessárias para a tomada de decisões no manejo florestal (Encinas & Encinas, 2008).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Determinar a viabilidade técnica do plantio comercial da espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. no município de Dueré, estado do Tocantins, através de inventário florestal contínuo, com a finalidade de subsidiar o manejo florestal visando à otimização do sistema de produção.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Avaliar dinâmica do crescimento das variáveis dendrométricas altura total (m), diâmetro a altura do peito (cm) e volume com casca (m<sup>3</sup>) no período de 2009 a 2014 em plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. na região de Cerrado.
- Determinar taxas de IMA, ICA, sobrevivência e produtividade no período de 2009 a 2014 em plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. na região de Cerrado.

- Avaliar a variação do crescimento da altura dominante pela idade a fim e determinar a capacidade produtiva do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. na região de Cerrado.

## **1.2 Hipótese**

O *Calophyllum brasiliense* Cambess. por suas características de crescimento em altura total, diâmetro à altura do peito, volume e incremento apresenta potencial para plantios comerciais no estado do Tocantins.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Características Gerais da Espécie**

Segundo o Sistema *Angiosperm Phylogeny Group* (APG III 2009), a espécie pertence à família *Guttiferaceae* com as seguintes sinónimas botânicas: *Calophyllum antillanum* Brit. Standl.; *Calophyllum ellipticum* Rusby; *Calophyllum rekoii* Standl.

Tem vários nomes vulgares, dentre eles destaca-se: Landi, Cedro-maria, Guanandi, Bálsamo-jacareúba, Cedro-mangue, Pau-de-maria, Pau-de-azeite, Pau-de-santa-maria, Pau-sândalo.

#### **2.1.1 Características ecológicas**

Pertencente ao grupo sucessional secundário-intermediária tardia (Durigan & Nogueira, 1990), porém ocorrem guanandizais quase puros, em condições pioneiras, no litoral paranaense (Carvalho, 1996).

Ocorre em todas as bacias brasileiras, sobretudo em planícies temporariamente inundadas. Observa-se, nessas condições, que mesmo submersas, as sementes mantêm a viabilidade, bem como as plantas crescem normalmente em solo encharcado (Marques & Joly, 2000).

Quando adulta, a árvore pode atingir até 20 m de altura e diâmetro (DAP) entre 20 a 50 cm. Na região amazônica, pode atingir 40 m de altura e 150 cm de DAP. Seu tronco é geralmente reto e cilíndrico, apresentando fuste de até 15 m de altura. O Guanandi é uma espécie de folhas perenes, com copa larga e arredondada, densa e de coloração verde-escura (Carvalho, 1994).

A casca externa é marrom-escura ou pardacenta, fissurada de alto a baixo, descamando em placas retangulares. A casca interna possui coloração rósea, é aromática, amargosa e ácida, exsudando látex amarelado e pegajoso (Carvalho, 1994).

As folhas são simples, opostas, elípticas, coriáceas e apresentam dimensões de 5 a 15 cm de comprimento por 3 a 7 cm de largura, com nervuras laterais abundantes, próximas e paralelas. O pecíolo é verde-escuro, lustroso, espesso e mede até 2 cm de comprimento (Carvalho, 1994).

Possui flores masculinas e hermafroditas na mesma planta, brancas, reunidas em racemos axilares ou panículas de 2,5 a 6 cm. Os frutos são do tipo drupa globosa, indeiscentes, carnosos, com pericarpo verde lactescente quando maduros, apresentando dimensões de 19 a 30 mm de diâmetro. A polpa é oleaginosa, envolvendo uma semente, que é globosa e de coloração castanha (Carvalho, 1994).

### **2.1.2 Reprodução e fenologia**

É uma planta hermafrodita, a polinização é feita principalmente por abelhas e diversos insetos pequenos (Carvalho, 1994). As formas de dispersão são muito variadas, podendo ocorrer por zoocoria, hidrocoria e autocoria.

Ressalta-se que as sementes não germinam enquanto estão submersas, mas permanecem viáveis e flutuam (Lobo et. al., 1995). Por fim, a dispersão autocórica ocorre por gravidade, fazendo com que os frutos caiam diretamente no solo (Ribeiro et. al., 1995).

A reprodução se inicia três anos após o plantio em solos férteis e bem drenados, em regeneração natural, esse processo ocorre por volta dos dez anos de idade. A floração e a frutificação são bastante variáveis em consequência da abrangente área de ocorrência. No Distrito Federal, floresce de setembro a outubro; em São Paulo, de novembro a junho; na Paraíba, em dezembro; e no Paraná, de janeiro a março. A frutificação, no estado de São Paulo, ocorre entre abril e outubro (Carvalho, 1994). No Tocantins, a frutificação ocorre em outubro.

### **2.1.3 Ocorrência natural**

Ocorre naturalmente entre as latitudes 18° N (Porto Rico) e 28°10' S (Brasil), em altitudes de 5 a 1.200 metros. Ocorre sob os tipos climáticos subtropical úmido,

subtropical de altitude e tropical. A precipitação anual média é de 1.100 mm (São Paulo) a 3.000 mm no Pará (Angeli, et al., 2006).

Também aparece no litoral da Bahia até Santa Catarina, na região de Belém-PA e no noroeste do Amazonas, as chuvas são uniformemente distribuídas ao longo do ano e, nas demais regiões, são periódicas e concentradas no verão. Tolera estação seca de até três meses, com déficit hídrico moderado na região Centro-Oeste (Angeli, et al., 2006).

Essa espécie desenvolve-se bem em temperatura média anual de 18,1°C (Minas Gerais) a 26,7°C (Pará e Amazonas). Segundo Carvalho (1994), a espécie suporta geadas, desde que em baixa frequência (máximo de uma por ano).

#### **2.1.4 Exigências nutricionais da espécie**

Preferencialmente essa espécie ocorre em solos aluviais com drenagem deficiente, periodicamente inundável e brejoso, e com textura variando de arenosa a franca (Silva, 2005).

A Embrapa Florestas realizou experimentos com plantio de Guanandi em solo bem drenado, de fertilidade média a alta, textura franca a argilosa e, nessas condições, a espécie têm apresentado crescimento satisfatório (Silva, 2005).

Ciriello (2010), ao avaliar o crescimento inicial (10 meses) e nutrição de *Calophyllum brasiliense* Cambess., em função de N, P, K e saturação por bases do solo, chegou à conclusão de que a espécie apresentou baixa ou nenhuma resposta às adubações nitrogenada e potássica durante o período avaliado, demonstrando pequena exigência a esses nutrientes nessa fase de desenvolvimento. Os níveis de saturação por bases do solo também pouco influenciaram no crescimento dessa espécie. Para a adubação fosfatada, houve uma resposta altamente positiva, demonstrando ser imprescindível na implantação de reflorestamentos dessa espécie em solos carentes em fósforo.



### 2.1.5 Sementes e germinação

Para obtenção de sementes colhem-se os frutos (Figura 1), no solo quando já estão total ou parcialmente despulpados por morcegos. A semente é extraída por maceração, retirando-se epicarpo e mesocarpo, permanecendo o endocarpo aderido à testa (Marques & Joly, 2000). Lorenzi (1992) sugere a utilização direta do fruto como semente, sem despulpá-lo. Cada quilograma de frutos contém cerca de 160 sementes (Lorenzi, 1992).

As sementes de Guanandi apresentam dormência tegumentar, que pode ser superada por escarificação mecânica ou estratificação em areia úmida por 60 dias. Sem aplicação de tratamentos para superação de dormência, a germinação pode demorar até seis meses (Carvalho, 1994).

A produção de mudas pode ser feita em viveiro, semeando-se uma semente em sacos de polietileno com dimensões de 20 cm de altura e 7 cm de diâmetro ou em tubetes grandes de polipropileno (Carvalho, 1994).

A germinação pode ocorrer em até 145 dias após a sementeira, e a taxa de germinação é bastante variável (15 a 95%). As mudas ficam prontas para o plantio em campo após dois meses. Em Porto Rico, a sementeira é realizada diretamente no campo, com taxas de germinação próximas a 100% (Flinta, 1960). Aconselha-se, na fase de viveiro, utilizar sombreamento de 50% de intensidade luminosa.



Figura 1: Frutos do *Calophyllum brasiliense* Cambess. no plantio comercial em Dueré-TO aos 44 meses de idade.

Fonte: A autora (2012)

### **2.1.6 Aspectos silviculturais**

É uma espécie florestal esciófila, que se regenera abundantemente à sombra, portanto, necessita de sombreamento de intensidade média na fase juvenil (Lopes et al., 2001).

O crescimento do Guanandi é monopodial, característica que proporciona fustes bem definidos. Os galhos são finos, mas a desrama natural é fraca, sendo necessárias as podas (Carvalho, 1994).

Os métodos de regeneração para os povoamentos de Guanandi comumente utilizados são plantios puros a pleno sol ou em plantios mistos, associados às espécies pioneiras. Pode-se também utilizar plantios em faixas na vegetação matricial arbórea.

De acordo com a classificação de Swaine & Whitmore (1988), é considerada uma espécie clímax tolerante à sombra. Assim, a produção de mudas dessa espécie requer um grau de sombreamento de médio a forte, para que se obtenha boa sobrevivência e vigor geral das mudas. Os padrões de comportamento do Guanandi, quanto ao sombreamento, permitem considerá-lo como pertinente aos estágios finais da sucessão secundária, com condições de adaptação a se regenerar e crescer, embora lentamente, sob o dossel florestal (Ciriello, 2010).

Outra característica importante para a silvicultura dessa espécie é a capacidade de brotação a partir da touça após o corte. O ciclo de corte é de aproximadamente 18 anos, mas a primeira receita é obtida aos 10 anos, proveniente do desbaste (Carvalho, 1994).

Quanto ao espaçamento e com base na experiência adquirida na implantação de projetos dessa espécie nos últimos sete anos, a Tropical Flora tem recomendado, de forma geral, espaçamento de 3 x 2 m (1.666 mudas/ha) e 3 x 2,5 m (1.333 mudas/ha). O primeiro é o mais recomendado para a espécie (Ciriello, 2010).

Ciriello (2010) também recomenda a utilização do hidrogel no plantio, que reduz a frequência de irrigação na época de estiagem no primeiro ano e gera um resultado significativo no pegamento das mudas.

No Tocantins na empresa JAMP agropecuária e reflorestadora Ltda. as mudas foram produzidas no viveiro da empresa com uso de sementes de árvores nativas da região sem seleção de matrizes. O plantio foi feito de forma manual após 120 dias da germinação da semente (Tabela 1).

Tabela 1: Características da produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. no viveiro e no plantio da empresa JAMP. em Dueré-TO

<b>No Viveiro</b>	
Substrato utilizado	Bio plant
Tempo de viveiro	120 dias
Sombrite	75%
Dimensão do tubete	5cm x 3cm x 12cm
Adubação	Adubação no substrato (supertriplo e osmocut)
Irrigação	4 vezes ao dia em média de 30 min ou conforme necessidade
Origem das sementes	Nativas da região
Coleta das sementes	Manualmente de várias árvores
Processo de quebra de dormência	Estufa a 60 <sup>o</sup> por cinco dias
Tempo de germinação	Em média 15 dias
Custo do Kg de semente	R\$ 7,00
Tempo de rustificação das mudas	40 dias
Etapas da rustificação	Primeiros 80 dias em sombrite 75%, após as mudas foram colocadas em local sem sombrite.
<b>No Plantio</b>	
Espaçamento médio	4 x 2m
Tipo de covas	Sulcos
Tipo de plantio	Manual
Custo por ha de implantação	R\$ 4.000,00/há
Custo da roçada	R\$ 270,00/há
Custo da desrama	R\$ 200,00/há

### 2.1.7 Usos da madeira

Seu uso é diverso, podendo ser usada para fabricação de móveis de alta qualidade, construção civil (decorativa, lambris, painéis, forros, estrutural, ripas, partes secundárias de estruturas), construção naval, parquet, marcenaria, mourões, laminados decorativos, fabricação de barris de vinho, tanoaria, montantes de escadas singelas ou extensíveis e embalagens, entre outros (Lorenzi, 1992; Carvalho, 1994).

A árvore pode ser utilizada em projetos paisagísticos de parques e praças, bem como em reflorestamento para recuperação ambiental, especialmente em áreas de solo encharcado (Lorenzi, 1992).

Além da produção de madeira, o Guanandi é indicado para obtenção de resina com propriedades medicinais (uso veterinário), taninos (casca e folhas), óleo essencial (fruto) e saponina (folhas) (Carvalho, 1994), vendas dos subprodutos: da madeira de menor diâmetro que vai sendo desbastada como molduras, painéis decorativos, artesanatos, barris de vinho etc.; das sementes, folhas e galhos das podas para indústrias farmacêuticas; das sementes, para reprodução a partir do quinto ano.

Cidrão (2012), em seus estudos, identificou as seguintes potencialidades do Guanandi no município de Garça-SP:

- Agregar valor a terra: entre o 3º e 5º ano (“fechamento da floresta”), a terra terá valor de mercado multiplicado muitas vezes, seja pela raridade (terra + floresta nobre), seja pelo potencial da madeira, seja pelo interesse nacional e internacional dos empresários no ramo madeireiro (seguro como investimento pela escassez sem risco de competição, pelo aspecto ambiental – crédito de carbono), certamente a “bola da vez”, agora e no futuro. Segundo estudos, o valor total apurado pode chegar a R\$ 6.352.128,00 / 18,5 anos ao final do período para módulos de 5 hectares, o que representa uma receita de R\$ 343.358,27 anual para cada 5 hectares. No quinto ano (fechamento das árvores), seus 5 hectares valerão R\$ 1.716.791,35;
- Rentabilidade como sequestrador de carbono: as plantas nobres como o Guanandi se enquadram nos projetos internacionais de sequestro de carbono. Estudos indicam o Guanandi como das melhores plantas que se adaptam aos projetos de sequestro de carbono. A Bolsa de Mercados & Futuros (BM&F) comercializam o carbono sequestrado em projetos como o do Guanandi;
- Sementes: além do uso para produção de mudas, a semente tem potencial na indústria de fitoterápicos, cosmética, alimentícia (humana – castanha/animal – ração) e principalmente para biodiesel, já que as sementes contêm um óleo essencial com 44% de pureza;
- Indústrias farmacoterápicas: Segundo o professor Dr. Paulo Teixeira Jr., da UFMT, folhas, galhos e sementes estão sendo testados em laboratórios com vista à elaboração de medicamentos voltados à cura de doenças como AIDS, câncer, diabetes e úlceras;

- Guanandi em sistemas agroflorestais: outra possibilidade durante o manejo é a técnica do sistema agroflorestral, ou seja, o plantio de outras culturas no sub-bosque do Guanandi, de espécies que vão bem na sombra, nos espaços (em consórcio) onde forem sendo feitos os desbastes, como cacau, café, palmito Jussara, pastagens para gado ou ovelhas etc.;
- Guanandi é madeira que dá laminação: são estimados valores do m<sup>3</sup> (preço de venda por m<sup>3</sup> = R\$ 2.000,00) para a madeira em pranchas. No caso de venda da madeira laminada (vendida por metro linear), essa receita dobrará uma vez que um mesmo m<sup>3</sup> gerará muitos metros lineares. O presente dado é divulgado por empresas que atuam no ramo de reflorestamento, contudo é um tanto quanto irresponsável, pois não consideram custos com corte, transporte, pré-processamento. Essa é uma das dificuldades em se ter valores reais por falta de madeira pronta para o corte e produção em grande escala.

## 2.2 Crescimento e produção

Na literatura florestal existem vários conceitos de crescimento, dentre eles destaca-se: Scolforo (1994), onde o crescimento consiste no acréscimo dos elementos dendrométricos (por exemplo, diâmetro, altura, área basal e volume). Esse aumento é produzido pela atividade fisiológica da planta (meristema primário e secundário ou cambial).

De acordo com Vanclay (1994) e Prodan et al. (1997), o crescimento é o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em um determinado período de tempo, é influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente.

Muitos autores definem a palavra crescimento indicando a importância dessa grandeza, Encinas, et. al., 2005 diz que o crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa etc. O crescimento de árvores individuais pode ser entendido como o somatório da divisão, alongamento e engrossamento de suas células.

O desenvolvimento das árvores, além de sua idade, depende da disponibilidade dos recursos ambientais (temperatura, precipitação, vento, insolação e nutrientes), do espaço

físico, das características edáficas (físicas, químicas e biológicas), topográficas (inclinação, altitude e exposição) e de fatores de competição, como a influência de outras espécies, tamanho e constituição genética da árvore, bem como de sua história de desenvolvimento (Poorter & Bongers, 1993). Cada um desses fatores pode afetar, de forma isolada ou em conjunto, o crescimento das árvores.

O tamanho das árvores é uma função do período de tempo em que elas se desenvolveram, nesse período de tempo, o tamanho do indivíduo será o resultado das interações da capacidade genética inerente do crescimento e do ambiente no qual está habitando. Anualmente, o período durante o qual os fatores climáticos, como temperatura, umidade do ar, duração e intensidade de luz, e outros fatores, como a fertilidade do solo, se modificam e se tornam elementos decisivos no crescimento das árvores. Esse período é conhecido como estação ou época de crescimento (Scolforo, 1994).

A estação de crescimento é conseqüentemente um exemplo de ciclos de eventos, ou seja, eventos que se repetem em certos intervalos de tempo mais ou menos contínuos. Alterações favoráveis nas condições ambientais podem produzir períodos de crescimento estacionário/sazonal nas plantas. Muitas árvores, em sua anatomia e em respostas fenológicas, no início e no fim da estação de crescimento, adquirem características estruturais bem definidas e facilmente observáveis (Scolforo & Machado, 1998).

Segundo Schneider & Finger, (2000) nos trópicos os estudos de crescimento, ainda são limitados, muitas vezes, porque as árvores nem sempre apresentam anéis de crescimento visíveis e contínuos. Nesse caso, tanto para as florestas plantadas como para as florestas nativas, o crescimento das árvores e da floresta é obtido por meio de medições e remedições em parcelas permanentes.

Também o mesmo autor indica que na mensuração florestal, a idade de uma árvore é uma variável muito importante, especialmente na estimativa da produção florestal. Fundamentalmente, é utilizada nas avaliações do crescimento e da produtividade de um sítio e nos ordenamentos florestais.

Encinas & Encinas (2008) determina que a idade é também utilizada, como ferramenta para práticas silviculturais, na determinação do crescimento presente e futuro da floresta e nas decisões dos planos de manejo. A idade permite, portanto:

- Avaliar o incremento em termos de diâmetro, área basal, volume e altura de uma espécie em um determinado local, permitindo comparar a capacidade produtiva de diferentes locais;
- Estimar o crescimento em altura das árvores dominantes nos povoamentos, para que sejam construídas curvas de índice de sítio de modo a se determinar a capacidade produtiva dos locais onde esses povoamentos estão implantados;
- Definir parâmetros a serem utilizados nas práticas de manejo florestal, servindo principalmente como base comparativa entre povoamentos e decidindo metas na exploração da floresta.

Encinas & Encinas (2008) determinam que a variável idade, envolve frequentemente muitas dificuldades, mesmo quando se trabalha em zonas temperadas, e maior será quando se trabalha em regiões tropicais.

No caso de plantios florestais, a maneira mais segura de conhecer a idade é registrando a data dos plantios em fichas, catálogos ou sistemas computacionais, de modo que, para se obter a idade de um povoamento, basta recorrer aos arquivos podendo obtê-la rapidamente e com grande precisão.

Nas práticas dasométricas, a variável idade apresenta-se em expressões desde o início da vida da árvore até a idade crítica do povoamento, nesta última fase interpretando como o período de senescência ou senilidade das árvores (Encinas, et. al. 2005).

Nesse sentido, as estimativas do crescimento de uma árvore ou de um povoamento tornam-se essenciais para o planejamento de um empreendimento florestal, uma vez que várias decisões dependem diretamente dessas estimativas, como a determinação da quantidade de terra necessária para suportar certo nível de produção presente ou desejado, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente, as espécies e os tipos de produtos que estão ou se tornarão disponíveis no futuro (Schneider, 1993).

De acordo com Schneider (1993), para o manejador inferir no crescimento de uma determinada árvore ou povoamento, faz-se necessário conhecer os fatores que o afetam, entre os quais estão a luz, a temperatura, a água, os nutrientes, o CO<sub>2</sub> e o conteúdo de clorofila. A disponibilidade desses fatores depende da concorrência da árvore e do povoamento, e esta pode ser modificada por meio de desbastes e cortes de melhoramentos.

A determinação do crescimento implica conhecer o estado inicial mensurável de magnitude crescente, assim como o outro estado final e o correspondente tempo transcorrido de um estado a outro. Esse crescimento acumulado ao longo do tempo é denominado de produção florestal (Scolforo, 1994).

O Guanandi é uma espécie de crescimento lento a moderado, em Manaus-AM, apresentou incremento médio anual de 8,40 m<sup>3</sup>/ha/ano, aos nove anos de idade (Schmidt e Volpato, 1972).

Outro fator limitante encontrado pelo Guanandi nos locais de plantio foi a pouca resistência a geadas frequentes no início de seu desenvolvimento (dois primeiros anos). Fora isso, adapta-se bem em diversos tipos de solo e clima, respondendo bem ao bom manejo silvicultural, sendo uma espécie pouco suscetível a pragas que inviabilizem o plantio (Ciriello, 2010).

As dimensões de uma árvore (diâmetro, altura e volume) variam devido a seu desenvolvimento e, como consequência dessas mudanças, sua forma também se modifica com o passar do tempo.

### **2.2.1 Crescimento em altura**

O crescimento em altura se produz pela atividade da gema apical ou terminal, por meio da divisão celular. Esse crescimento é também chamado de crescimento primário (Encinas et al., 2005).

A altura da árvore produz a modificação mais notória do crescimento, especialmente na idade juvenil, em que é fácil observar a rapidez da modificação em altura em períodos



curtos de tempo. Esse crescimento é avaliado medindo as alturas no início e no fim de um intervalo de tempo predefinido. Por outro lado, em algumas árvores em que é possível realizar a análise de tronco, podem-se determinar os correspondentes valores e índices de crescimento em altura (Encinas et al., 2005).

Campos et al. (1985) e Finger (1992) afirmam que a altura da árvore é uma importante variável dendrométrica para estimar, junto com o diâmetro, o volume de madeira da árvore e seus componentes. Torna-se, também, necessário conhecer a medida de altura para a interpretação do processo de crescimento e incremento volumétrico, pois fornece importante subsídio à classificação de sítios (Campos et al., 1985).

Campos (1985) e Finger (1992) comentam que essa variável tem importância fundamental no estudo dos sítios, isto é, quando se quer descrever o comportamento e o desenvolvimento de uma espécie, associados a um determinado local, é analisada junto com a idade. É muito importante no manejo florestal, pois relaciona o crescimento das árvores com os fatores ambientais. A altura dominante é a variável dendrométrica, que melhor se enquadra aos requisitos propostos por Burger (1979), que são:

- facilitar a determinação a campo;
- possuir boa correlação com a produção volumétrica;
- indicar a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento;
- ser independente da densidade do povoamento.

Golfari, (1971) ressalta a importância de ter a altura como índice orientador, considerando que seu incremento não está, dentro de certos limites, influenciado pela densidade do povoamento. Já Garcia (1994) considera que a altura dominante de um povoamento, dentro de certos limites, é pouco afetada pela manipulação da densidade do talhão, mediante desbaste e espaçamento inicial, ou pelas podas.

Segundo Assmann (1970), o crescimento em altura das árvores segue um curso regular, em conformidade com certas leis naturais. Na curva de incremento em altura, ocorrem dois pontos de inflexão e um ponto de culminação, que acontecem na mesma idade que o ponto de inflexão na curva de crescimento. O autor observou que a culminação do

incremento corrente anual, em altura, ocorre mais cedo nos melhores sítios, comparando com os sítios de pior qualidade.

### **2.2.2 Crescimento em diâmetro**

O crescimento em diâmetro se refere ao aumento do diâmetro de uma árvore em um determinado período de tempo. Esse crescimento é também denominado de crescimento secundário. Em geral, primeiro a árvore cresce em altura e depois em diâmetro. Esse crescimento é influenciado principalmente pelo espaçamento e pelos mesmos fatores que apresentados para a altura. Não é igual ao longo de todo o tronco da árvore. Para avaliá-lo, emprega-se, geralmente, a variável diâmetro no início e no fim do período requerido (Encinas & Encinas 2008).

Os fatores que mais influenciam no crescimento em diâmetro de uma árvore é a silvicultura aplicada e, concretamente, o manejo da densidade da massa, que se regula mediante as operações de desbastes. As densidades baixas favorecem o crescimento diametral das árvores ao diminuir a competição entre os indivíduos (Aranda et al., 2005).

Se um povoamento de florestas plantadas ou nativas, as árvores forem agrupadas em certos intervalos de diâmetro a altura do peito, obtêm-se a distribuição diamétrica. O conhecimento da distribuição diamétrica tanto em uma floresta plantada quanto nativa, se torna uma ferramenta poderosa na análise e estudo da estrutura florestal, possibilitando assim distinguir diferentes tipos florestais como também avaliar a intensidade de regeneração tanto para uma única espécie ou para a floresta como um todo (Machado et al., 2009 apud Ferreira, 2011).

Arce (2004) em seu estudo em povoamentos de *Populus deltoides* evidenciou a importância do uso de distribuições diamétricas na análise da estrutura dos povoamentos, também demonstrou que a variável diâmetro está bem correlacionada com as variáveis altura, volume, valor e tipificação dos produtos. De acordo com este autor, o correto conhecimento da distribuição diamétrica permite obter informações bastante valiosas tanto para fins econômicos como para fins biológicos.

Schneider et al. (1999) afirma que o diâmetro e a área basal da árvore são parâmetros extremamente afetados pela densidade do povoamento. Por conseguinte, após um desbaste, árvores de uma mesma classe diamétrica, em curto espaço de tempo, podem ingressar em classes diamétricas superiores.

Machado et al. (2006) afirmam também que a utilização das distribuições diamétricas possibilita a obtenção de subsídios capazes de proporcionar decisões na condução do povoamento como na aplicação de um plano de manejo mais adequado para a área pertinente.

### **2.2.3 Crescimento em Volume**

Uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região é a variável volume. O volume individual oferece um ponto de partida para avaliação da quantidade de madeira dos povoamentos florestais (Dacosta, 2008).

De acordo com Schneider & Schneider (2006), o volume é o resultado do incremento acumulado em um determinado período de tempo, cuja quantidade depende da espécie, idade, sítio, rotação e do sistema de manejo empregado.

O crescimento volumétrico é o resultado da combinação do crescimento longitudinal e diametral, enquanto o primeiro é mais importante durante a juventude, o segundo o é, na fase de madurez e o efeito deste é maior durante a maior parte do ciclo vital (Schneider & Schneider, 2006).

Como consequência, o crescimento volumétrico pode ser controlado em grande parte mediante a manipulação do espaçamento, quer dizer, com o desbaste. O crescimento volumétrico depende, também, da forma da árvore, a qual é afetada pela densidade (Schneider & Schneider, 2006).

Uma ferramenta amplamente utilizada nas estimativas e prognoses da produção madeireira é o emprego de equações volumétricas cujos parâmetros são determinados

por regressão, constituindo um procedimento eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal (Parent apud Santana & Encinas, 2004).

O procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura total (Machado, et al., 2002).

Muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais, e apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los e, por meio de estatísticas adequadas, identificar o melhor para cada caso.

A escolha de equações é uma fase importante no trabalho do inventário florestal, já que qualquer erro de tendência na estimativa do volume por árvore terá reflexos na estimativa da população, causando uma sub ou sobre avaliação do volume (Campos et al., 1985).

Moser & Beers (1969) apud Conceição (2004) afirmam que a vantagem básica da aplicação de fórmulas volumétricas logarítmicas é que a heterogeneidade de variância dos volumes é grandemente minimizada.

Campos & Leite (2002) comentam que o modelo de volume de Schumacher-Hall (1933) tem sido o mais difundido, talvez por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta quase sempre em estimativas não tendenciosas. O mesmo autor comenta, também, que a grande difusão do modelo de Spurr (1952) deve ser atribuída à facilidade de ajustamento, pois, com frequência, volumes de árvores menores são estimados com imprecisão.

Schneider, et al. (1999) utilizaram a equação de Schumacher-Hall, representada por  $\ln v = -4,04114 + 1,99755 \ln d + 0,74005 \ln h$ , na elaboração de tabelas auxiliares para o manejo de *Pinus elliottii* Engelm. para a região no Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

Jorge (1982) apud Conceição (2004), ajustando e comparando oito modelos de estimativa volumétrica para a Floresta Tropical Pluvial Norte do Espírito Santo, selecionou as equações de Schumacher-Hall e a equação de Prodan para prognosticar os volumes comerciais dos troncos com casca, afirmando que as mesmas podem ser usadas para estimar os volumes comerciais com casca.

Soares, et al. (2011) em estudos de equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas determinaram que o modelo volumétrico de Spurr (1952) foi o que se ajustou melhor aos dados de volume do fuste com casca para seis espécies (peroba do campo, ipê-preto, jatobá, sapucaia, aroeira-do-sertão e birlo), enquanto o modelo de Schumacher-Hall (1933) se ajustou melhor a cinco espécies (guatambu, ipê-amarelo, peroba-rosa, pau-prata e pau-marfim).

Corteletti, et. al. (2013) ao realizarem estudos de análise de tronco aplicado a avaliação de crescimento de árvores de Paricá em plantios comerciais com espaçamento 4 x 4 m com idade de sete anos selecionou o modelo de Schumacher-Hall como a melhor alternativa para estimar o volume comercial do Paricá.

Inúmeros pesquisadores ajustaram e compararam diversas funções matemáticas que expressam o volume, para diferentes espécies, sítios e regimes de manejo, entre eles: Silva et al. (1978), que construíram tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp.; Machado et al. (2002) modelaram o volume de *Pinus oocarpa* em diferentes idades e regimes de desbaste; Santana & Encinas (2004) desenvolveram equações para *Eucalyptus saligna*, entre outros.

No âmbito geral Vanclay (1994), determina que os estudos da dinâmica de populações arbóreas têm como principal objetivo o conhecimento das taxas de mortalidade e recrutamento, as quais, quando analisadas em conjunto com as taxas de crescimento, indicam as alterações demográficas da população e os possíveis fatores que estão influenciando este processo, suas implicações para a comunidade florestal e as possíveis práticas de manejo a serem realizadas na floresta em foco.

## 2.2.4 Produção

O termo produção é definido por Assmann (1970) como o processo de crescimento da floresta em relação a tempo, sítio e medidas técnicas e econômicas adotadas no manejo. No sentido técnico e específico da palavra, produção refere-se à soma de todos os incrementos anuais acumulados pelas árvores de um povoamento, até um determinado momento.

Spurr (1952) fez um levantamento histórico do desenvolvimento e evolução dos estudos de crescimento e produção, destacando que, já no século XVIII, se trabalhava com tabelas de produção de volume médio dos povoamentos em várias idades e em vários índices de sítio.

Scolforo (1994) comenta que o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais é elemento fundamental para o manejo florestal sustentável. É necessário ter informações sobre relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e, numericamente, compatíveis para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade.

Há muitas formas de estimar a produção de povoamentos florestais, variando de simples inventários a modernos modelos de crescimento e produção. O inventário florestal contínuo é uma prática comum na maioria das empresas, sendo geralmente utilizado para avaliar os povoamentos e executar planos de manejo. Essa prática permite estimar a produção corrente de povoamentos florestais e fazer projeções para curtos períodos de tempo, além de permitir ajuste de equações que expressem uma condição média do povoamento (Scolforo, 1994).

Para estimativas de crescimento e de produção em longo prazo, bem como estimativas correntes, visando indicar a melhor opção entre diferentes tratamentos, o uso de modelos ou sistemas de predição é mais indicado, pois além de apontar opções silviculturais, servem para atualizar os inventários florestais. Esses modelos compreendem um conjunto de relações matemáticas, que podem ser apresentadas na forma de tabelas e utilizadas para descrever quantitativamente os povoamentos (Scheeren, 2003).

Segundo Costas et al. (2006), a produção de uma floresta regular pode ser predita por modelos matemáticos, cujas variáveis mais usadas são idade, densidade e qualidade do sítio expressa pelo índice de sítio.

Para Clutter et al. (1983), os métodos para predizer o crescimento de florestas são baseados no conceito de que o crescimento e a produção de povoamentos de uma dada espécie, ou composição de espécies, são influenciados por quatro fatores:

- Idade do povoamento ou a distribuição da idade em povoamentos inequiâneos;
- Capacidade inata de produção da área envolvida;
- A suposição de que essa capacidade inata tem sido e é plenamente utilizada;
- Tratamentos silviculturais aplicados.

### **2.3 Relação hipsométrica**

A relação matemática entre as variáveis dendrométricas altura e diâmetro de uma árvore é denominada de relação hipsométrica. A determinação da altura de uma árvore em função de seu DAP, em várias circunstâncias, será a única possibilidade de poder definir a correspondente estrutura vertical do povoamento (Encinas et al., 2005).

Aranda, (2003) considera que a estimação precisa da relação entre a altura e o diâmetro é mais importante, que somente a altura que é a variável mais difícil e de preço mais elevado de se medir no campo do que o diâmetro,

Arias (2004) cita que as relações altura-diâmetro, para qualquer espécie, dependem da qualidade do sítio e da densidade, portanto, os modelos baseados unicamente nessas duas variáveis são específicos para cada talhão.

A relação hipsométrica, mesmo em povoamentos de mesma idade, varia com a qualidade do sítio e com a densidade, em tais circunstâncias, uma única relação hipsométrica, ajustada para todo o povoamento, englobaria muitas relações diferentes, resultando em alta variabilidade em torno da linha de regressão da altura sobre o diâmetro (Prodan et al., 1997).

Segundo Gadow et al., 2001 apud Aranda et al., 2005, a heterogeneidade de condições de sítio e a diferente silvicultura das florestas provam que uma única equação altura-diâmetro não se ajusta bem a todas as situações e, assim, a relação deveria ser estabelecida de forma individual para cada talhão e por classes de idades.

Uma alternativa prática é empregar uma relação hipsométrica geral, para prever a altura de cada árvore, utilizando o diâmetro da árvore e uma ou diversas variáveis independentes, como a altura média ou dominante, diâmetro médio quadrático, diâmetro dominante, número de árvores por hectare, área basal, e idade etc., e que considerem algumas características básicas, inerentes a todas as regressões de altura locais, e representem cada parcela ou talhão individualmente (Gadow et al., 2001 apud Aranda et al., 2005).

Por isso, um procedimento usado em inventários florestais para solucionar esse problema tem sido o ajuste de equações independentes para cada unidade amostral ou, então, para cada grupo homogêneo de parcelas em termos de idade, sítio e densidade. Dependendo dos fatores considerados, a curva dessa relação pode variar quanto à forma, à inclinação e à origem (intercepto) (Bartoszeck et al., 2004).

Finger (1992) e Encinas et al. (2005) citam que, para árvores dominantes, se tem uma relação altura/diâmetro, que tende a ser menor do que em condições de maior competição de árvores.

Cardoso 1989 apud Bartoszeck et al., 2004 avaliou a influência da idade sobre a curva hipsométrica e constatou forte efeito tanto sobre os coeficientes  $b_0$  (interseção) quanto sobre as inclinações das linhas de regressão (coeficiente  $b_1$ ).

Bartoszeck et al. (2004) avaliaram os efeitos da idade, do sítio e da densidade nas curvas de relação hipsométrica de povoamentos de Bracatinga, usaram a técnica da análise de covariância para testar o paralelismo quanto aos interceptos das equações aplicadas. Utilizaram também o modelo de Curtis para obtenção da relação hipsométrica constatando a influência significativa dos fatores idade e sítio nessa relação e observaram um comportamento das curvas similares entre os dois fatores mencionados.



Floriano et al. (2006) e Aranda et al. (2005) comentam que, para ajustar modelos de altura, podem ser utilizadas funções lineares, logarítmicas, como não lineares linearizáveis e não linearizáveis. Segundo Arias (2004), quando se incorporam variáveis do talhão, dentro de um modelo, para prever alturas individuais, o poder de predição do modelo melhora significativamente.

Muitos estudos foram realizados a fim de selecionar a equação que melhor descrevesse a altura em relação ao diâmetro, encontram-se descritos na literatura (Hosokawa & Glade, 1986, Silva 1999, Batista et al., 2001; Caldeira et al., 2002; Machado et al., 2008). Os resultados obtidos pelos autores citados variam de acordo com a espécie estudada, o local, e as variáveis independentes utilizadas, sendo indicado o uso de modelos não lineares.

Encinas et al. (2005) afirmam que, em florestas de rápido crescimento, para inventários sucessivos, não se deve utilizar a mesma relação, mas refazê-la a partir de novos dados.

## **2.4 Incremento**

A quantificação do crescimento de um indivíduo florestal analisado por medições sucessivas separadas por um determinado período de tempo é chamada de incremento (Assmann, 1970). O incremento determina o rendimento e pode ser considerado como a “taxa de acumulação” de um determinado produto. No âmbito das ciências florestais, é a taxa de acumulação de rendimento (Synnott, 1978).

O ritmo do crescimento é influenciado por fatores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo. Este último sempre vai atrelado ao crescimento, e é por esse motivo que se procura conhecer a idade de uma árvore. O que cresce em uma árvore em períodos sucessivos de tempo é o que se denomina de incremento (Encinas et al., 2005).

A taxa de crescimento é um dos fatores determinantes a ser considerado nos planos de manejo florestal, é uma informação básica na estimativa da produção florestal, ordenamento e credibilidade de um plano de manejo sustentável (Silva et al., 2001;

Schneider & Schneider, 2008). Essa taxa determina a viabilidade técnica e econômica de empreendimentos, pois influencia na escolha de diferentes regimes de manejo que definem o horizonte de planejamento, o período de rotação florestal ou o ciclo de corte em florestas multiâneas (Clutter et al., 1983; Buongiorno & Gilles, 1987; Berger, et al., 2007).

O incremento informa sobre a capacidade produtiva de um *habitat* e espécie, é a base para a determinação da possibilidade de corte anual sustentado. Devido a isso, é importante a determinação do incremento com uma precisão aceitável (Schneider & Schneider, 2008).

O estudo do incremento diamétrico é um item básico entre as variáveis biométricas do manejo florestal para o entendimento do crescimento de uma floresta, devido à facilidade de medição e à alta correlação com diversas variáveis, é constantemente empregado em pesquisas que visam à obtenção de condições ótimas para o crescimento das árvores. O contínuo monitoramento do incremento diametral possibilita diferenciar o ritmo de crescimento, ao longo dos anos, bem como entre as estações do ano. Esse controle permite associar o crescimento às diferentes variáveis climáticas e aos tratamentos silviculturais (Schneider & Schneider, 2008).

Schneider & Schneider (2008) destaca que o incremento em volume dos povoamentos é imprescindível para manejo e determinação da taxa de corte sustentada e é resultado do incremento acumulado que ocorre em três dimensões: diâmetro, altura e forma, sendo fortemente influenciado pela densidade da população.

Piotto et al. (2003b), em seu trabalho sobre o desempenho das plantações florestais em pequenas e médias explorações agrícolas nas terras baixas, na Costa Rica, analisaram 210 plantios puros, na faixa etária de 6 a 11 anos, em 123 fazendas que utilizaram incentivos do governo para reflorestamento e tinham recebido pareceres técnicos de organizações não governamentais locais onde em seus estudos foram escolhidas, aleatoriamente, sete plantações para cada espécie e em cada fazenda, parcelas de 15 árvores cada foram escolhidas de forma sistemática para a avaliação de diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, número de árvores por hectare, forma de árvore e espaçamento. O *Calophyllum brasiliense* Cambess. (nativo) teve o menor incremento

em diâmetro médio anual que foi de 1,48 cm, e as espécies exóticas tiveram a maior variabilidade de desempenho entre os locais, enquanto as espécies nativas mostraram relativamente alta homogeneidade do crescimento (Piotto et al. ,2003b).

Duffecky e Fossati (2009) avaliaram o crescimento e o dano por geada do *Calophyllum brasiliense* Cambess. em duas situações: livre (a pleno sol) e consorciado com *Eucalyptus dunnii* e concluíram que o tratamento a pleno sol sempre teve o crescimento médio das alturas e diâmetro do colo maior que o tratamento consorciado com *Eucalyptus dunnii* e as mudas que estavam a pleno sol cresceram mais, mas tiveram maior dano por geada, as mudas de consórcio com *Eucalyptus dunnii* cresceram menos, mas apresentaram maior resistência à geada, pois as mudas de Guanandi estavam protegidas.

## **2.5 Classificação de Sítios Florestais**

Entende-se por sítio, o conjunto de fatores ecológicos que influenciam o desenvolvimento de povoamentos num determinado local. Estes fatores ecológicos abrangem fatores climáticos, edáficos e biológicos (Burger, 1976). Uma das primeiras definições foi feita por Spurr (1952) correspondendo à soma das condições efetivas sobre as quais uma planta ou comunidade se desenvolve.

Assim sendo, uma das atividades fundamentais na formação de povoamentos florestais é a determinação de unidades de produção por meio da classificação de sítios florestais. Para Spurr (1952), a qualidade do sítio é a soma total dos fatores biológicos edáficos e climáticos que afetam as plantas de uma espécie. O sítio compreende a soma de todos os fatores ambientais, entre os quais um ou mais são dominantes. Em termos florestais, a capacidade de um sítio é expressa pela sua qualidade em relação a uma espécie, ou seja, é uma estimativa da capacidade produtiva de uma espécie em determinada área florestal, visando predição e classificação da produção.

O objetivo da avaliação da qualidade do sítio é definido pela Sociedade Americana de Florestas de forma simples, onde a classificação de sítios, para os propósitos de manejo, se estabelece uma capacidade de produzir madeira ou celulose para cada povoamento

(Mader, 1963 apud Schneider & Schneider, 2006). Entre os principais objetivos da avaliação da qualidade de sítio pode-se considerar:

- Estimativa do rendimento global dos povoamentos;
- Planejamento e execução de trabalhos de pesquisa, por exemplo, desbaste;
- Programação e execução de trabalhos de manutenção (limpezas) das plantações existentes;
- Extensão da classificação da qualidade do sítio em áreas a serem plantadas, para seleção adequada de espécies.

Segundo Prodan et al. (1997) a qualidade do sítio é definida como a capacidade de uma área para o crescimento de árvores. Conhecer a qualidade do sítio é de fundamental importância, para plantar a espécie apropriada em um lugar adequado.

Conforme Daniel et al. (1979), a produtividade de uma área florestal é definida em termos da qualidade do sítio, que é a medida da máxima quantidade de madeira que a área pode produzir em um determinado momento, em um determinado macroclima. A qualidade do sítio caracteriza o tipo e a magnitude de riscos e oportunidades que o Engenheiro Florestal tem em manejar um povoamento, pois em uma decisão silvicultural se leva em consideração à qualidade do sítio.

Segundo Burger (1976) os custos da produção podem variar segundo a qualidade de sítio, por exemplo, os trabalhos de limpeza, geralmente, são efetuados com maior frequência nos melhores sítios. Também, a idade na qual se realiza o primeiro desbaste varia segundo a qualidade do sítio. O conhecimento da qualidade do sítio é de extrema importância para o manejo florestal, pois a mesma depende da:

- Quantidade e qualidade da produção (madeira, resina, frutos, etc.);
- Possibilidade do manejo, como por exemplo, máquinas pesadas em terrenos muito argilosos somente podem ser usadas em épocas secas, em terrenos acidentados somente até certo grau de inclinação; em certos sítios de Floresta.

A determinação da qualidade dos sítios pode ser realizada por dois métodos distintos: direto e indireto. Os métodos diretos baseiam-se em medições da capacidade produtiva diretamente do crescimento da floresta, enquanto nos métodos indiretos a capacidade

produtiva é estimada a partir de atributos do ambiente, como por exemplo, aqueles relativos às propriedades físicas e químicas do solo (Scolforo, 1997).

No entanto, o método mais usado, segundo uma série de autores, é aquele que emprega a altura das árvores alcançada pelo povoamento nas diferentes idades de seu desenvolvimento. Por convenção, a altura dominante alcançada em uma determinada idade, recomendada próximo à idade de rotação, tida como "idade chave, índice ou de referência", é denominada de índice de sítio (Selle, 1993).

As curvas de índices de sítio são construídas a partir de equações de índices de local e, utilizadas para classificar, de modo quantitativo, a capacidade produtiva do lugar. Essas equações são derivadas de relações funcionais, envolvendo a variável dependente, altura dominante ( $h_{100}$ ) e, a variável independente idade. A idade de referência ( $t$ ) é escolhida arbitrariamente, mas, em geral, ela deve ser próxima da idade técnica de colheita (Campos & Leite, 2002).

As curvas de índice de produtividade do local podem ser anamórficas ou polimórficas, o que dependerá do método de análise e da procedência dos dados (Prodan et al., 1997; Campos & Leite, 2002). Segundo Scolforo (1997), as curvas anamórficas caracterizam-se por apresentar uma taxa constante de crescimento relativo à altura para qualquer sítio. Nas curvas polimórficas, a taxa de crescimento relativo à altura depende dos fatores de sítio, tendo assim a necessidade de se conhecer o comportamento dos dados com a realização de teste do anamorfismo. O mesmo autor menciona que o anamorfismo das curvas de sítios pode ser identificado a partir da verificação da existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas idades consideradas, expressando que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local.

Os modelos matemáticos empregados para representar as curvas de crescimento, citados na literatura, são muito variados, entre os mais utilizados estão os de Prodan, Richard's, Schumacher-Hall (com dois e três coeficientes), Backman e os modelos de Clutter-Jons (Selle, 1993).

Tonini et al. (2007) comentam que a estabilidade dos índices de sítio, ao longo do desenvolvimento do povoamento florestal, é essencial para a acuracidade na aplicação das curvas em períodos sucessivos, e essa estabilidade é testada, comparando-se as alturas reais com as curvas de índice de sítio.

Clutter et al. (1983), afirmaram que muitos usuários das curvas de índice de sítio acreditam erroneamente que o seu objetivo é a predição das alturas do povoamento até uma idade índice, sendo que, o verdadeiro objetivo é a seleção de padrões de crescimento em altura esperado para o povoamento durante a sua vida.

Doldán (1987) encontrou no seu estudo, mediante a análise das curvas, que os sítios bons são muito mais sensíveis às variações climáticas, isto se demonstra com as altas variações de ano para ano nos melhores locais, ocorrendo o contrário em locais ruins ou de menor crescimento. O mesmo autor, analisando os gráficos de incremento, e de forma mais evidente no incremento diamétrico, verificou que culminação nos sítios bons ocorre mais cedo, como é normal, no entanto, os locais médios e, principalmente os pobres, culminam mais tarde com um decréscimo acelerado, marcando um crescimento bom, em um curto intervalo de tempo.

Para Davis & Johnson (1987) a determinação das curvas de índice de sítio pode ser feita por dois métodos: o de curvas monomórficas, que se caracteriza por apresentar um crescimento em altura relativo e constante para todos os sítios, permitindo que todas as curvas sejam paralelas entre si; e as polimórficas que seguem uma curva para cada índice de sítio com forma específica.

Segundo Tonini (2002) o modelo de Prodan (1997), para representar as curvas de crescimento em altura:  $h = t^2 / (a + b.t + c.t^2)$ , foi utilizado por pesquisadores como

Machado (1980), Ahrens (1997), Brasil (1989), em plantações de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm. em várias regiões do Brasil.

Brasil (1989) utilizou a equação de Prodan para testar as estimativas de sítio de *Pinus elliottii* Engelm. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, estabelecendo,

respectivamente, uma idade de referência de 30 e 40 anos, com intervalo de classes de sítio de 2 metros na idade de referência.

Scheeren (2003) utilizou a equação modificada de Prodan, representada por  $\log h_{100} = t^2/b_1 t + b_2 t^2$  para determinar o índice de sítio tomando uma idade índice de 16anos, e um sistema de sete curvas de índice de sítio para abranger a dispersão de alturas de *Eucalyptus saligna* Smith.

Marcolin (1990) escolheu o modelo de Prodan na construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L., no Segundo Planalto Paranaense, utilizando uma idade índice de 15 anos. Este autor escolheu o referido modelo devido a dois fatores: a simplicidade de obtenção dos coeficientes e uso dos mesmos para as estimativas de alturas, precisão, e, a confiabilidade que o modelo oferece.

Garcia (1994) selecionou como modelo geral o proposto por Schumacher-Hall, gerando com o mesmo as curvas monomórficas, utilizando uma idade índice de 20 anos.

Selle (1993), trabalhando com *Pinus taeda* L. através da altura dominante obtida por análise de tronco, elaborou curvas monomórficas de índice de sítio para as florestas da empresa Celulose Cambará S. A., utilizando o modelo não linear de Chapman-Richard's, desta classificação, resultaram 12 curvas diferenciadas por intervalos de 2 m de altura. As curvas apresentaram uma variação em altura dominante de 8 até 32 m, tomadas a uma idade-índice de 20 anos.

Tonini et al. (2002) utilizaram a função de Richard's para determinação de altura dominante, e construção de curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm., gerando um único conjunto de 9 curvas monomórficas para os índices de sítio de 6 e 30 m, tendo como idade de referência 18 anos.

Mainardi (1995), em seu trabalho sobre estruturação da produção de *Pinus taeda* L., utilizou a função de Richard's com três coeficientes, para estimar a altura dominante, utilizando uma idade de referência de 20 anos, e índices de sítio de 16 a 28 m, gerando curvas do tipo monomórficas.

Machado et al. (1997) escolheram o modelo de Chapman-Richard's para estudar o desenvolvimento da altura dominante em *Mimosa scabrella*, representando melhor a conformação dos dados em toda a sua extensão. Os autores consideraram este modelo como bastante flexível, e que convergiu assintoticamente melhor que os demais testados, representando bem os dados nas idades mais avançadas.

Davel & Ortega (2003), em seu estudo sobre a produtividade por zonas decrescimento para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) selecionaram o modelo de Chapman-Richard's, para determinar o crescimento em altura, originando-se um modelo polimórfico e identificando-se duas zonas de crescimento. Os autores consideraram que este modelo é o que oferece melhor resultado para a construção de um sistema de curvas de índice de sítio. Os índices de sítio para esta espécie oscilaram entre 9 e 18 para a zona 1 e, 12 a 21 para a zona 2, numa idade de referência de 20 anos. Os autores comentam que no Chile, para uma idade de referência de 20 anos, os valores de índice de sítio para esta espécie variam entre 12 e 24.

Tonini (2004) e Tonini & Scwengber (2006) utilizaram a função de Backman para determinar a altura dominante de *Eucalyptus saligna* Smith. e obtiveram, assim, os índices de sítio gerados mediante curvas monomórficas.

Schneider et al. (2007), em seu estudo da estruturação da produção de *Pinustaeda* L., testaram 10 modelos de altura dominante para gerar curvas de índice de sítio, os quais são os de Schumacher-Hall, Backman, Backman modificado, Prodan, Prodan modificado, Hoerl, Moissev, Gram, Chapman e Richard's, e Mitscherlich, selecionando como melhor o de Gram expressa como  $\ln h_{100} = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 t$ .

Martins (2007) utilizou a equação de Clutter-Jones para a elaboração de curvas de índice de sítio para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, obtendo os valores mais altos para os tratamentos estudados. A equação citada e representada por  $h_{100} = b_0 \cdot [1 + b_1 \cdot t^2]^{b_3}$

Tonini & Schwengber (2006) utilizou a análise de covariância para detectar diferenças em inclinação e níveis entre as curvas das árvores de *Pinus elliottii* Engelm., localizadas na mesma região e unidade de mapeamento, considerando como variáveis no modelo



utilizado a idade, e os grupos, para saber se tinha ou não necessidade de construir curvas de índice de sítio separadas para cada local.

O autor encontrou diferenças significativas tanto em nível (árvore), como em inclinação (idade x árvore), para todos os locais estudados, embora a análise tenha mostrado significância, indicando diferenças entre a inclinação das curvas, esta diferença, é pequena, resultando em curvas muito próximas, conforme verificou ao analisar as tendências de crescimento em altura obtidas através das curvas de índice de sítio construídas separadamente para os três locais estudados.

Os modelos matemáticos empregados para representar as curvas de crescimento, citados na literatura, são muito variados. Entre os mais utilizados estão os de Prodan, Schumacher-Hall, Richard's (com dois e três coeficientes), Backman e os modelos de Clutter-Jons (Selle, 1993).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um plantio comercial da espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Guanandi), de propriedade da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. (Figura 2), situada no município de Dueré, região sul do estado do Tocantins.



(a)



(b)

Figura 2: Vista aérea da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. (a) e plantio comercial do *Calophyllum brasilienses* Cambess. (b) no município de Dueré-TO.

Fonte: <http://www.jampflorestal.com.br/empresa.asp>

A fazenda Reunida, de propriedade da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda., onde está implantado o plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess., está situada a 225 metros de altitude, entre as coordenadas geográficas Latitude: 11°20'46'' Sul e Longitude: 49°16'6'' Oeste (Figura 3), distante 221 km da capital Palmas-Tocantins.

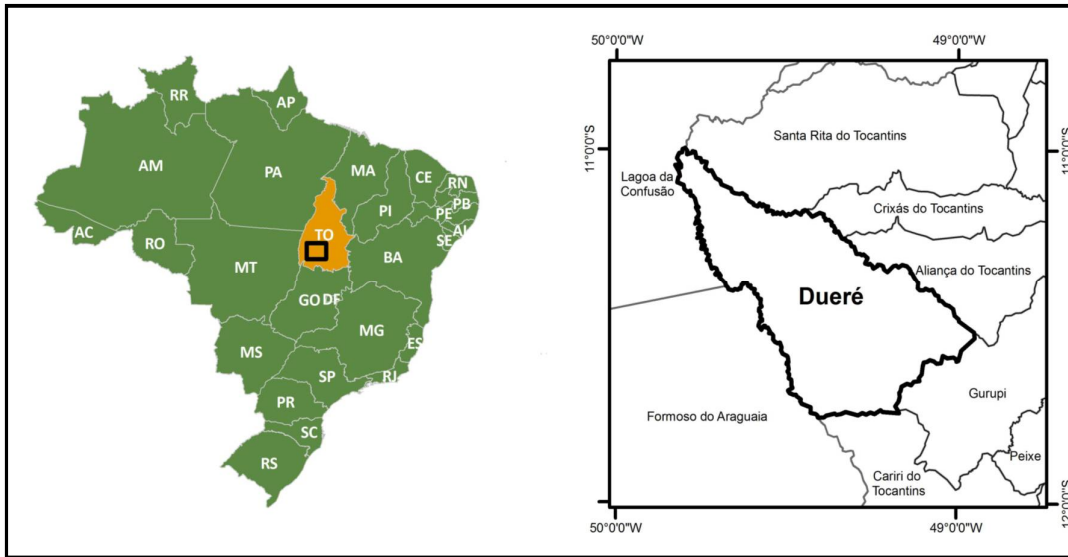


Figura 3: Localização geográfica da área de estudo destacando o estado do Tocantins e o município de Dueré.

Fonte: A autora

A propriedade conta com uma superfície total de 25 mil hectares, sendo as atividades voltadas para lavoura, pecuária e plantios de espécies florestais (Eucalyptus e Guanandi). O *Calophyllum brasilienses* Cambess. é plantado em duas áreas, sendo uma com 35 ha (Figura 4) e outra com 970 ha.

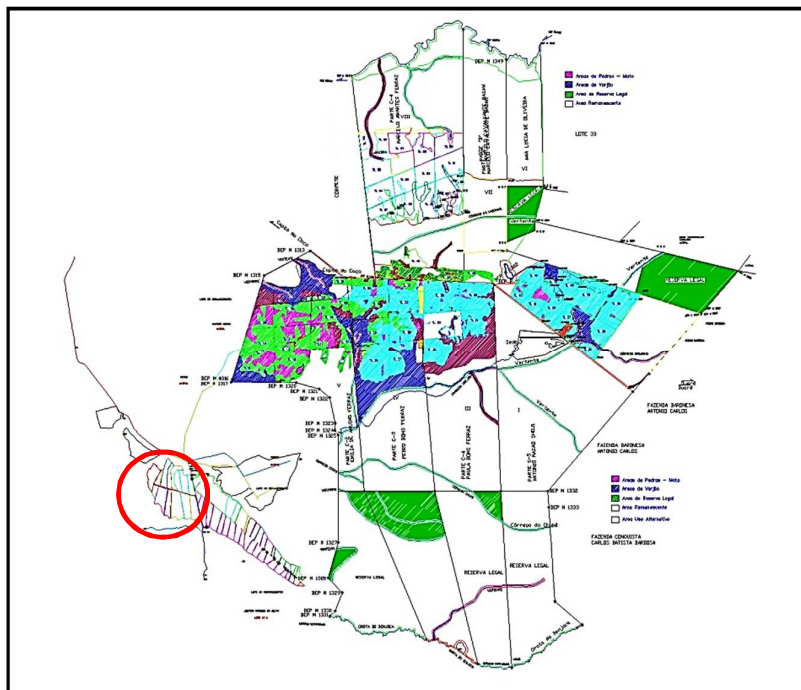


Figura 4: Mapa da propriedade da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda. com destaque para área de estudo no círculo vermelho.

Fonte: Mapa fornecido pela empresa

O estudo foi realizado na área de 35 ha com plantio comercial de Guanandi (Figura 5). O povoamento em questão tem idade média de 74 meses. Foram realizados todos os anos tratos culturais de adubação, capina química, capina mecânica, roçadas e combate à formiga. No histórico da área consta que anteriormente era cultivado arroz.



Figura 5: Vista por satélite da área onde foi realizado o plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess. em Dueré-TO.  
Fonte: Google Earth (2015)

O clima da região é do tipo tropical C2wA'a'', segundo a classificação de Köppen, caracterizado como clima úmido a subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (Anexo 1), evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (Köppen & Geiger, 1928).

A declividade do terreno é do tipo A (igual ou inferior a 5%), ou seja, existe predominância de áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio, não impedindo ou dificultando o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola sem manifestação de erosão hídrica (Sano et. al, 2008).

O solo da região de estudo é classificado como Latossolos e compreende áreas formadas por solos variando entre bem a fortemente drenados. São solos profundos (Anexo 2) e ocorrem em relevo suave ondulado (predomínio de declives igual ou inferior a 5%). Os

processos de escoamento superficial são difusos e lentos, com eventuais escoamentos concentrados (Sano et al., 2008 ).

A região do plantio é considerada de Cerrado onde ocorre preferencialmente clima estacional, com mais de cinco meses secos. Comporta formações vegetais de estrutura campestre e savânica. Entre as formações campestres, tem-se o campo limpo (savana gramíneo-lenhosa) e o campo sujo (Sano et al., 2007) .

A estrutura do viveiro é considerada rústica, feita de moirões e tela de galinheiro construída em bancadas com capacidade de 1.500 mudas cada. Possui sistema de irrigação por aspersão e sombrite a 75%. O viveiro está estruturado para produção de mudas das espécies nativas como o Guanandi e exóticas como Eucaliptos e Pinus (Figura 6).

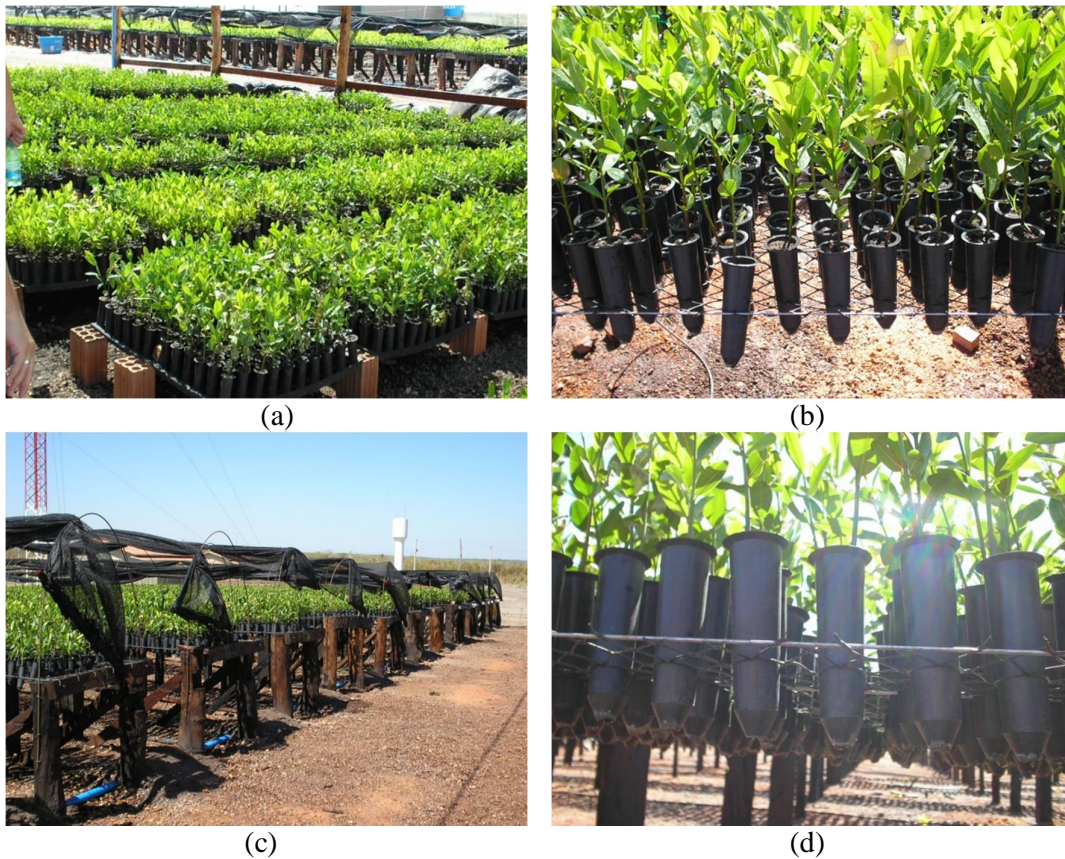


Figura 6: Viveiro de produção das mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. na empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda., onde: vista geral das mudas ( a), suporte de colocação dos tubetes (b), bancadas com sombrites ( c) e tubetes (d) .

Fonte: A autora (2014)

As mudas para o plantio do povoamento foram produzidas pela própria empresa com sementes oriundas de árvores nativas da região. A área foi preparada para o plantio de Guanandi, no espaçamento de 4 x 2 m compreendendo 1.250 árvores/ha, acrescentando 5% de mortalidade no campo.

### **3.1.1 Tratos culturais no plantio e manutenção do povoamento**

Na distribuição de corretivos, na cova de Guanandi, utilizou-se 0,39 kg/cova ou 660 kg/ha de calcário dolomítico, com PRNT de 95%. Na adubação mineral, feita com super triplo, foram consumidos 200 kg/ha, ou seja, 0,03 kg/cova. A adubação de cobertura foi feita com sulfato de amônio após três meses da implantação do reflorestamento, com dosagem de 70 kg/ha, ou seja, 0,015 kg/cova. Realizaram-se cinco combates a formigas no ano de implantação da floresta, quatro roçadas mecânicas nas entrelinhas, capina e uma aplicação de inseticida. O total de custos destas operações foi estimado em R\$ 4.000,00/ha.

- Primeiro ano

Nesse ano, foi feita uma segunda adubação de cobertura, utilizando-se NPK 06-30-06 mais micro na dose de 70 kg/ha, ou seja, 0,015 kg/cova.

O Guanandi foi conduzido apenas com manutenção simples, o que implica em reforma de aceiros, roçada mecânica de entrelinha, aplicação de herbicida (calda bordalesa) tendo como base cal virgem, água e sulfato de cobre, combate a formigas e aplicação de inseticida.

- Segundo e terceiro ano

Para a manutenção do reflorestamento, foi feito manualmente reforma de aceiros, roçada mecânica das entrelinhas, aplicação de herbicida, combate à formiga e aplicação de inseticida nas mesmas proporções do primeiro ano.

- Quarto ano

Além da manutenção do reflorestamento, ocorreu a desrama de 1/3 da altura total da árvore, após o desbaste de 25% das árvores do plantio. O material da desrama foi transportado até o pátio da fazenda para posterior descarte.

Do quinto ano em diante foram feitas apenas manutenções simples tais como reforma de aceiros, combate a formigas, aplicação de herbicidas e inseticidas.

### **3.2 Coleta de dados**

A base de dados foi obtida a partir do inventário florestal contínuo, feito por amostragem sistemática por parcelas, de forma a cobrir toda a população, instalado no ano de 2009, quando o plantio tinha 15 meses de idade incluindo os 4 meses de viveiro e medido até o ano de 2014.

Os 35 ha de plantio foram divididos em unidades de área fixa, denominadas primárias nas dimensões 40 x 32 m (1.280 m<sup>2</sup>) cada, num total de 273 parcelas possíveis de serem selecionadas. Para o processo do inventário, o marco amostral foi definido em 24 unidades amostrais.

A instalação das unidades amostrais primárias foi feita de forma sistemática a partir de uma linha base considerada início do plantio respeitando-se a bordadura do povoamento (três linhas e três colunas). A primeira unidade amostral foi aleatorizada e as demais foram sistematizadas da seguinte forma: Foram medidas as quatro primeiras árvores da coluna, deslocando-se três linhas para direita com posterior medição das quatro seguintes árvores da coluna e assim sucessivamente até a quarta subunidade, num total de 16 árvores úteis por unidade amostral (Netto & Brena, 1993). Após deslocava-se quatro linhas e repetia o processo até o fim da área.

Em cada unidade selecionada foram instaladas 4 subunidades de 8 x 4 m (32 m<sup>2</sup>) cada, num total de 96 subunidades, em uma distribuição sistemática conforme Figura 7. O tamanho das unidades amostrais primárias e das subunidades foi definido de acordo com o espaçamento do plantio (4 x 2 m).

A intensidade amostral foi de 0,96%. Dados estes validados pelo inventário feito aos 74 meses com CV% = 36,40 e número de unidades amostrais de 22,43.

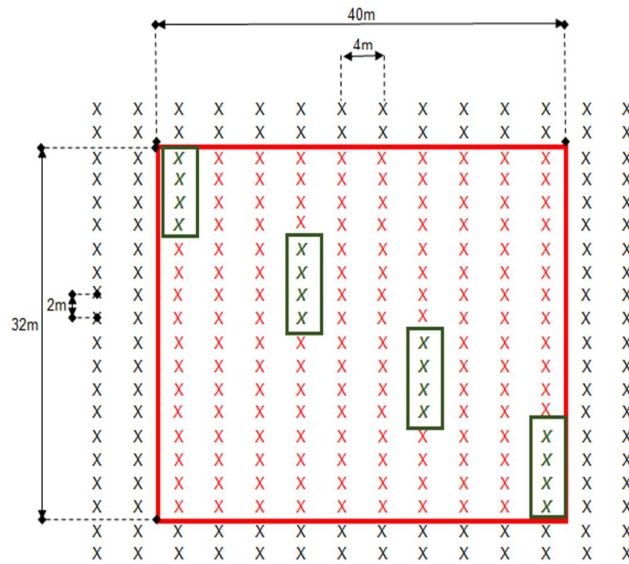


Figura 7: Croqui esquemático sem escala evidenciando a unidade amostral (40 x 32 m) e as quatro subunidades amostrais (4 x 2 m cada) com quatro árvores úteis em cada subunidade.

A marcação das subunidades (Figura 8) foi feita a partir da pintura de cada árvore com tinta vermelha e do georreferenciamento da primeira árvore (vértice superior esquerdo) e da última árvore (vértice inferior direito) da subunidade com GPS E-trex (Anexo 4).



Figura 8: Exemplo de marcação das árvores do inventário florestal sistemático contínuo no plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.  
Fonte: A autora (2012)



As variáveis biométricas avaliadas foram: altura total, medida em metros com clinômetro e CAP (circunferência a altura do peito a 1,30 m do solo), medida em centímetros com fita métrica e após convertido em DAP, a partir dos 44 meses de idade. Os dados foram anotados em fichas de campo (Anexo 3) sendo medidas no total as variáveis biométricas de 384 árvores.

As avaliações do comportamento do crescimento em altura total e em diâmetro foram medidas, analisadas e observadas durante as medições do inventário florestal sistemático contínuo (Figura 9).



(a)



(b)



(c)



(d)



Figura 9: Vista geral do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO. ao longo do período da pesquisa, sendo: 15 meses de idade (a), 25 meses de idade (b), 36 meses de idade (c), 50 meses de idade (d), 60 meses de idade (e) e 74 meses de idade (f).

Fonte: A autora

### 3.3 Dinâmica do crescimento do povoamento

A partir da obtenção dos diâmetros e das alturas totais, foi feita a distribuição de frequência onde os dados foram agrupados em intervalos de classes fixos para altura total (0,5 m) e para o diâmetro (2 cm) em cada idade de medição do inventário para posterior elaboração dos histogramas. A metodologia de fixar intervalos para classes de DAP e HT é muito utilizada na área florestal, como exemplo os trabalhos desenvolvidos por: Teixeira et al (2011), Andrade et al. (2014); Carvalho et al. (2014) e Silva et al. (2014).

### 3.4 Relação hipsométrica

A relação hipsométrica  $\left(\frac{h}{d}\right)$  foi modelada com os dados obtidos nas unidades amostrais aos 74 meses de idade, a partir dos dados das parcelas permanentes do inventário florestal, testando as fórmulas indicadas na Tabela 2. Essa relação foi usada para fornecer a altura das árvores que tiveram apenas o diâmetro medido na última medição do inventário florestal (quatro primeiras árvores de cada unidade amostral).

Os parâmetros estatísticos obtidos nas funções matemáticas (Tabela 13) permitiram selecionar a que melhor se ajustou ao conjunto de dados. Observados os coeficientes com sua significância, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), o coeficiente de

variação em percentagem (CV%) e a estatística F (F) permitiram a correspondente seleção.

Tabela 2: Modelos de equações para determinar a relação hipsométrica em m no plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess., no município de Dueré-TO.

N <sup>o</sup>	Função	Modelo
1	Hiperbólica	$\frac{1}{\sqrt{h-1,30}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$
2	Polinômio	$h - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$
3	Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$
4	Polinômio	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot d^3$
5	Curtis	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$
6	Hiperbólica	$\frac{1}{h} - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d} + \beta_2 \cdot \frac{1}{d^2}$
7	Hiperbólica	$\frac{d^2}{\sqrt{h}} - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$
8	Exponencial	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$
9	Polinômio	$h - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$
10	Curtis (var.)	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$
11	Linear Simples	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$
12	Stofells	$\log h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d$
13	Logarítmica	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d$
14	Logarítmica	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log d + \beta_2 \cdot \log^2 d$
15	Logarítmica	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log \frac{d}{1+d}$

em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  coeficientes da regressão;  $h$  = altura total medida em metros;  $d$  = diâmetro a altura do peito medido em cm;  $\log$  = logaritmo na base dez.

Fonte Finger (1992); Drapen et. al. 1998.

### 3.5 Determinação de equações de volume

A seleção das árvores para a cubagem foi realizada a partir da distribuição da frequência diamétrica. Foi feita a seleção e a cubagem rigorosa de árvores-amostra abatidas com  $CAP \geq 6,5$  cm ( $DAP \geq 2$  cm) de forma a contemplar toda a distribuição diamétrica encontrada na área inventariada aos 74 meses de idade.

O número de árvores a ser cubadas foi definido através da seguinte fórmula estatística descrita por Mello, 2004:

$$n = \frac{t^2 \cdot (CV\%)^2}{E^2\%}$$

em que:  $t$  = valor tabelado (Student) conforme o “ $n$ ” e o nível de precisão requerido de 95% de probabilidade de confiança sendo 1,67;  $CV\%$  = coeficiente de variação de uma amostra piloto composta de árvores cubadas rigorosamente em percentagem e  $E$  = erro pré-estabelecido, neste caso utilizado 10%,  $n$  = número de árvores a serem cubadas rigorosamente.

Para definir quantas árvores deveriam ser cubadas rigorosamente, foi necessário estabelecer uma amostra piloto, esta amostra consistiu na cubagem de pequeno número de árvores, de tal forma, que se tenha ideia da variabilidade entre os volumes das árvores que compõem a população considerada (Mello, 2004).

Seguindo este preceito foram cubadas 45 árvores-amostra para determinação do volume rigoroso utilizando a metodologia de Smalian, que indica que o volume de cada seção foi somado para obter o volume total das toras de acordo com a seguinte expressão (Finger, 1992):

$$v = v_0 + \sum_{i=1}^n v_i + v_c$$

em que:  $v$  = volume,  $v_0$  = volume do toco,  $v_i$  = volume das seções transversais e  $v_c$  = volume do cone.

Com os dados obtidos na cubagem foram calculados os volumes individuais para cada uma das árvores-amostra. O fator de forma artificial foi obtido pela razão entre o volume rigoroso e o volume do cilindro com diâmetro 1,3 m de acordo com a expressão (Finger, 1992):

$$f_{1,30} = \frac{\text{volume rigoroso}}{\text{volume do cilindro com diametro } d_{1,3}}$$

em que:  $f_{1,30}$  = fator de forma artificial;  $d_{1,3}$  = diâmetro medido a 1,30 m da altura total da árvore

Os dados destas árvores serviram de base para o ajuste dos modelos de volume relacionados na Tabela 3. Os modelos de volume testados foram selecionados na literatura existente sobre o tema (Loetsch et al., 1973).

Tabela 3: Modelos de equações para determinação do volume individual em  $m^3$  do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré – TO.

Nº	Função	Modelo
1	Hohenald-Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$
2	Spurr	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 \cdot h$
3	Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 \cdot h) + \beta_3 \cdot h$
4	Näslund	$v = \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 \cdot h) + \beta_3 \cdot (d \cdot h^2) + \beta_4 \cdot h^2$
5	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d \cdot h) + \beta_4 \cdot (d^2 \cdot h)$
6	Meyer (modificado)	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d \cdot h) + \beta_4 \cdot (d^2 \cdot h) + \beta_5 \cdot h$
7	Spurr	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d^2 \cdot h)$
8	Schumacher-Hall	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$
9	I.B.W. Alemanha	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln^2 d + \beta_3 \cdot \ln h + \beta_4 \cdot \ln^2 h$

em que:  $v$  = volume individual em  $m^3$ ;  $h$  = altura total (m) e  $d$  = diâmetro a altura do peito em cm;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  = coeficientes da regressão.

Fonte: Prodan (1968); Loetsch et al. (1973); Schneider (1984).

### 3.5.1 Validação do modelo volumétrico ajustado

Após a escolha do melhor modelo matemático ajustado para a estimativa do volume das árvores, procede-se à validação da equação selecionada. Para a validação, utilizou-se 20% das árvores (10 árvores) retiradas de forma proporcional a frequência absoluta de cada classe: As árvores foram retiradas antes do ajuste dos modelos volumétrico, ou seja, são dados independentes do ajuste.

### 3.6 Classificação de sítio

Para a determinação da produtividade, foram construídas curvas de índice de sítio monomórficas mediante o elemento dendrométrico altura, através da seleção de equações matemáticas que expressam a qualidade do sítio florestal (Tabela 4).

Utilizou-se dados das parcelas permanentes referentes aos pares de dados altura-idade, entre as idades de 15 a 74 meses. Os resultados foram plotados juntamente com as curvas de índice de sítio.

As curvas foram construídas baseando-se nas alturas das árvores dominantes por idade tendo como idade índice de 74 meses. Foi utilizada a metodologia da curva guia, a partir da qual foram distribuídas as restantes curvas afastadas proporcionalmente da primeira.

Este método originou curvas proporcionais relacionando de forma constante, ao longo da idade, foi empregado o princípio de Assmann (1970) para determinação das árvores dominantes, em que a média das alturas totais das cem árvores com os maiores diâmetros a 1,30 m do solo (DAP), por hectare, livres de defeitos ou insanidades, representa a altura dominante. Com base neste princípio foram selecionadas 50 árvores dominantes.

A construção das classes de produtividade ocorreu com a subtração e adição de valor “X” ao valor central, delimitando, desse modo, a amplitude de cada classe. O procedimento é repetido sucessivamente até se obter todas as classes que englobam os valores observados (Schneider & Schneider, 2006).

Tabela 4: Modelos Ajustados pelo método da curva-guia para determinação da capacidade produtiva do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré – TO.

N <sup>o</sup>	Função	Modelo
1	Schumacher-Hall	$\text{Log}(h_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{l}$
2	Chapman- Richard's	$h_{dom} = \beta_0 \cdot [1 - e^{-(\beta_1 \cdot ld)^{\beta_2}}]$
3	Backman	$\text{Log}(h_{dom}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Ln}(ld) + \beta_2 \cdot \text{Ln}^2(l)$

em que: LOG = Logaritmo natural;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes da regressão; l = idade da medição; Hdom = altura média das árvores dominantes;

### 3.7 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio

Os testes de confiabilidade e estabilidade foram feitos plotando-se dados de crescimento observados sobre as curvas de índices de sítios elaboradas para o local, permitindo avaliar de forma gráfica o comportamento das árvores sobre uma possível mudança de índice ao longo do tempo, assim como avaliar a estabilidade ao se classificar sítios em idades jovens.

Para comprovar a estabilidade e a confiabilidade das curvas de índices de sítios foi realizada a verificação gráfica das alturas reais, de árvores oriundas dos povoamentos estudados, sobre as curvas de índices de sítio geradas pela função selecionada. Para a aplicação deste teste, sugerido por Marcolin (1990), utilizou-se os dados de duas árvores amostras. Para a realização do teste de verificação da estabilidade e confiabilidade, das curvas de índice de sítio traçadas, foram tomados dados reais do inventário florestal contínuo, no período de 2009 a 2015, de altura e idade, e "plotados" sobre as curvas de índices de sítio. (Marcolin,1990).

### 3.8 Cálculo do incremento

- Incremento Corrente Anual (ICA)

O incremento corrente anual é obtido pela diferença que se obtém no final e no início de um ano físico, expresso por (Schneider, 1993 ):

$$ICA = X_{n+1} - X_n$$

em que:  $X_n$  = variável dendrométrica no início do período ;  $X_{n+1}$  = variável dendrométrica no final do período.

- Incremento Médio Anual (IMA)

O incremento médio anual é obtido pela razão entre o volume sobre a idade, em determinado momento do desenvolvimento do povoamento, expresso por (Schneider, 1993):

$$IMA = \frac{X_I}{I}$$

em que:  $V_I$  = variável na idade I; I = idade do povoamento.

### **3.9 Taxa de mortalidade**

A mortalidade foi computada pela contagem absoluta das árvores mortas no período e a correspondente percentagem do número de árvores registradas no início do período considerado, sendo a taxa de mortalidade bruta expressa por (Schneider, 1993):

$$MB = \frac{M_{n+1}}{I_n}$$

em que: MB = taxa de mortalidade bruta;  $M_{n+1}$  = número de indivíduos presentes no inventário do ano “n” e registrados como mortos no inventário “n + 1”;  $I_n$  = número total de indivíduos registrados no inventário do ano “n”.

### **3.10 Seleção dos modelos matemáticos**

Para a seleção dos modelos matemáticos foram considerados os parâmetros estatísticos expostos a seguir:

#### **3.10.1 Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ )**

O coeficiente de determinação ajustado expressa a quantidade da variação explicada pela regressão (Schneider & Schneider, 2008) considerando o número de coeficientes da equação e selecionando o modelo matemático que apresente maior valor de  $R^2_{aj}$ , obtido da seguinte forma (Schneider & Schneider, 2008):



$$R_{aj}^2 = R^2 - \left[ \frac{K - 1}{N - K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

em que:  $R_{aj}^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $K$  = número de coeficientes da equação;  $N$  = número de observações.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica o quanto a relação entre a variável dependente ( $y$ ) e a independente ( $x$ ) é explicada pela equação ajustada (Schneider & Schneider, 2008). Os valores devem variar de 0 a 1, quanto mais próximos a 1, indica a melhor a qualidade do ajuste (Schneider & Schneider, 2008). O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado) foi utilizado para comparar equações com diferentes números de coeficientes, ponderado o  $R^2$  pelos graus de liberdade.

### 3.10.2 Coeficiente de variação (CV %)

O coeficiente de variação mede a dispersão relativa entre os valores observados e estimados pela regressão (Draper et al.,1998) e nesse sentido, permitiu selecionar o modelo matemático que apresentou menor valor de CV (%). Esse coeficiente é expresso como (Draper et al.,1998):

$$CV\% = \frac{S_{yx}}{\hat{y}} \cdot 100$$

em que:  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa;  $CV\%$  = coeficiente de variação em percentagem;  $\hat{y}$  = média aritmética da variável dependente.

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é cometido quando a equação ajustada é usada para obter uma estimativa. Quanto mais baixo for o erro, melhor será a equação ajustada (Draper et. al.,1998) .

### 3.10.3 Teste F

O teste de F é uma estatística obtida por meio da análise de variância da regressão e indica se há significância no ajuste a determinado nível de probabilidade, por meio da comparação do valor de F calculado com o valor de F tabelado (Draper et al.,1998), se o

valor de F calculado for maior que o F tabelado, a regressão analisada é considerada significativa ao nível de probabilidade desejada.

#### **3.10.4 Análise gráfica da distribuição dos resíduos**

Essa análise foi feita entre as variáveis dependente observada e estimada. Esta análise permite detectar tendências de ajuste ao longo da linha da regressão para, assim, determinar qual modelo seria selecionado como o melhor (Menon, 2005).

A distribuição dos resíduos foi analisada plotando-se os desvios da regressão em gráfico, com o eixo das ordenadas centradas em zero. Observa-se a distribuição dos pontos e verifica-se se apresenta ou não tendências. Quando a distribuição dos resíduos da regressão apresenta-se homogênea, é considerado que a equação pertinente possui bom ajuste.

Para verificar a precisão da equação ajustada e a existência de estimativas tendenciosas foi feita a análise gráfica dos resíduos. A tendência de superestimar ou subestimar as estimativas pode ser observado na distribuição não uniforme dos dados ao longo da reta que correspondeu ao resíduo zero (Menon, 2005), a expressão elaborada pelo autor é:

$$E_i = \left( \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \cdot 100$$

em que:  $E_i$  = resíduo da  $i$ -ésima observação;  $Y_i$  = valor real da árvore ;  $\hat{Y}_i$  = valor estimado da árvore

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dinâmica do crescimento em altura total

Durante o período de tempo avaliado o levantamento da dinâmica do crescimento dos 335 indivíduos em HT identificou valores médios aritméticos de 1,16 m (15 meses) a 5,43 m (74 meses). O ranque da variável se estendeu de HT máxima de 8,20 m e HT mínima de 2,80 m aos 74 meses de idade. Estes valores indicam que o crescimento em HT do povoamento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. é condizente com a literatura existente, sendo maior que os valores encontrados em Adrianópolis, estado do Paraná, onde aos 5 anos a média da HT é de 3,3 m (Carvalho, 2003); em Rolândia, estado do Paraná, a média da HT é de 3,06 m (Carvalho, 2003) e menor que em Garça estado de São Paulo onde o valor médio da HT aos 3 anos de idade é de 4,02 m e oscila entre 8 e 9 m aos 5 anos (Ciriello, 2010).

A dispersão dos dados da HT ao longo do período de tempo avaliado é considerada baixa ( $CV\% < 20$ ), indicando baixa variação nos dados de HT da população (Gomes, 1990). Os valores podem ser plenamente aceitos para interpretar a abrangência da amostragem (Tabela 5).

Tabela 5: Resultado do coeficiente de variação (%) e desvio padrão para a variável HT média no período de 15 a 74 meses no plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO

Medição (meses)	$n_i$	HT (m)	s (cm)	CV (%)
15	335	1,16	0,18	15,67
25	325	1,58	0,22	18,42
36	314	2,20	0,35	16,00
44	302	2,83	0,54	19,23
50	288	3,39	0,67	19,82
60	279	4,29	0,70	16,28
74	278	5,43	0,80	14,82

em que:  $n_i$  = número total de indivíduos medidos, HT = média aritmética da altura total em metros; s = desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

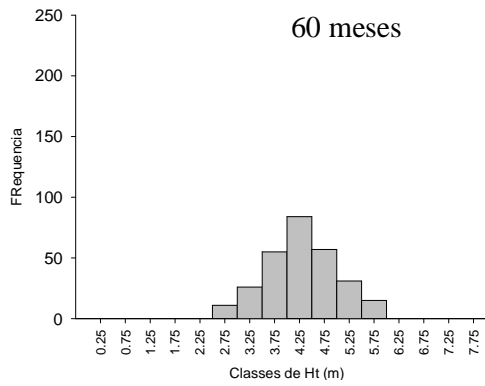
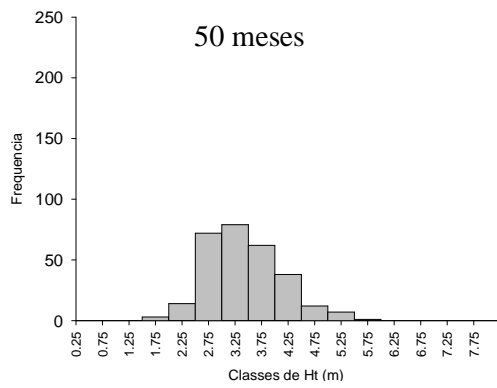
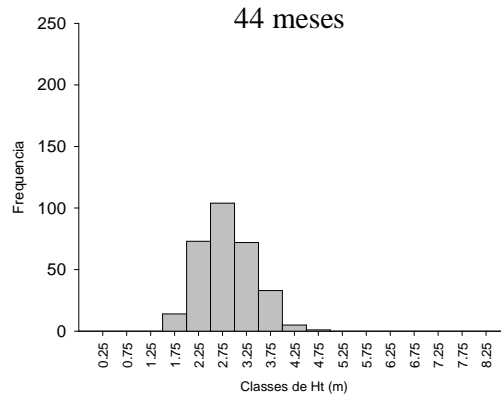
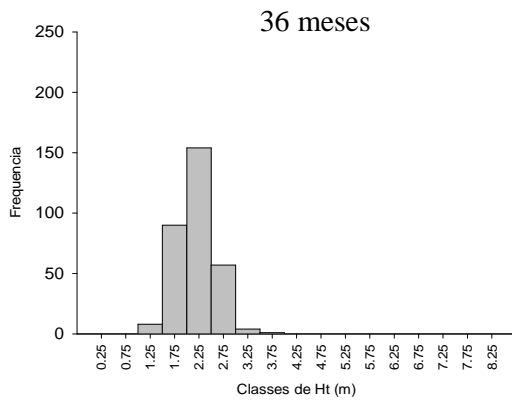
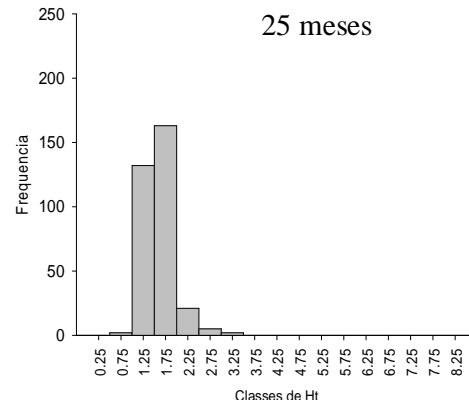
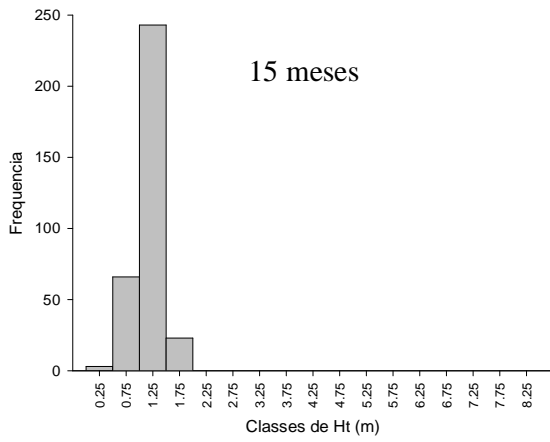
A frequência relativa de indivíduos por classe para a variável HT foi de 72,54 % aos 15 meses de idade na classe três, de 50,15% aos 25 meses de idade na classe quatro, de 49,04% aos 36 meses de idade na classe cinco, de 34,44% aos 44 meses de idade na classe seis, de 27,43% aos 50 de idade na classe sete, de 30,11% aos 60 de idade na classe nove e de 25,18% aos 74 meses de idade na classe 11 (Tabela 6). Observa-se que no período de tempo avaliado o maior número de árvores concentram-se nas classes de HT iguais ou inferiores a 5,75 m indicando a predominância de árvores de pequeno porte, condizente com o estágio inicial de crescimento em que se encontra o plantio.

Tabela 6: Frequência absoluta e frequência relativa do plantio comercial para a variável HT da espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. no período de 15 a 74 meses em Dueré-TO.

Classe(m)	15 meses		25 meses		36 meses		44 meses		50 meses		60 meses		74 meses	
	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%
0-0,5	3	0,90												
0,5-1	66	19,70	2	0,62										
1-1,5	243	72,54	132	40,62	8	2,55								
1,5-2	23	6,87	163	50,15	90	28,66	14	4,64	3	1,04				
2-2,5			21	6,46	154	49,04	73	24,17	14	4,86				
2,5-3			5	1,54	57	18,15	104	34,44	72	25,00	11	3,94	1	0,36
3-3,5			2	0,62	4	1,27	72	23,84	79	27,43	26	9,32	3	1,08
3,5-4					1	0,32	33	10,93	62	21,53	55	19,71	6	2,16
4-4,5							5	1,66	38	13,19	84	30,11	25	8,99
4,5-5							1	0,33	12	4,17	57	20,43	34	12,23
5-5,5									7	2,43	31	11,11	70	25,18
5,5-6									1	0,35	15	5,38	66	23,74
6-6,5													55	19,78
6,5-7													10	3,60
7-7,5													5	1,80
7,5-8													2	0,72
8-8,5													1	0,36
Total	335	100	325	100	314	100	302	100	288	100	279	100	278	100

em que: FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa em percentagem.

Observou-se que de acordo com a distribuição de frequência por classes de altura total que a medida que o tempo passa existe recrutamento das árvores de menores alturas para as de maiores caracterizando assim que a distribuição de frequência dos indivíduos não é constante com o tempo (Figura 10).



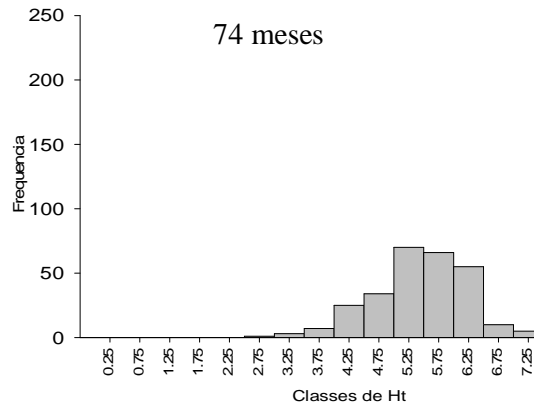


Figura10: Dinâmica do crescimento por classe de HT em função da idade do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. no período de 15 a 74 meses de idade no município de Dueré-TO.

O comportamento da variável HT aos 74 meses evidencia distribuição de frequência normal que é característico de floresta equiânea, onde a maior concentração de indivíduos fica em torno da média mais ou menos um desvio padrão, neste estudo 68,70% dos indivíduos estão sobre este preceito, sendo que Freund & Simon (2000) determinam que em uma distribuição normal 68% das observações estão dentro do intervalo de mais ou menos um desvio padrão da média.

#### 4.2 Incremento médio anual e incremento corrente anual para HT

A análise de crescimento em HT foi completada com o cálculo do incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) medido em metros (Tabela 7).

O incremento médio anual em altura total apresentou redução até os 36 meses de idade, seguido por elevação até os 74 meses, sendo que em valores percentuais variou de 12,71% a 16,02%.

O incremento corrente anual em altura total apresentou redução até os 36 meses de idade, seguido por elevação, redução e após os 44 meses só houve aumento do ICA. A variação percentual foi de 8,15% a 22,13%.

Tabela 7: Cálculo do incremento médio anual e incremento corrente anual em HT média em valores absolutos e percentuais para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.

Idade (meses)	HT (m)	IMA	ICA	IMA %	ICA %
15	1,20	0,92	0,92	16,03	17,86
25	1,58	0,77	0,42	13,41	8,16
36	2,20	0,73	0,58	12,72	11,26
44	2,83	0,78	0,63	13,59	12,23
50	3,39	0,81	0,56	14,11	10,87
60	4,29	0,85	0,9	14,81	17,48
74	5,43	0,88	1,14	15,33	22,14

em que: HT = altura total medido em metros; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual ; IMA% = incremento médio anual em percentagem; ICA % = incremento corrente anual em percentagem.

Valores inferiores aos encontrados neste estudo foram observados por Salvador et al. (1992) em avaliação do *Calophyllum brasiliensis* Cambess. em solos cujas condições hídricas variam desde os periodicamente úmidos e inundáveis, até os permanentemente encharcados ou brejosos. Implantaram experimentos em Paraibuna, SP e Promissão, SP, onde obtiveram após 30 meses de plantio os valores de 1,20 m e 1,50 m respectivamente para media da altura total, também Nicodemo et. al. (2009) que ao avaliarem a sobrevivência e o crescimento inicial em campo, encontraram para o *Calophyllum brasiliensis* Cambess. altura total média de 0,94 m aos 12 meses de idade e por Mendonça (2014), que ao determinar o potencial de estabelecimento de espécies arbóreas em sistemas silvopastoril na região de Lavras, Sul do Estado de Minas Gerais encontrou uma altura total média de 1,00 m aos 18 meses de idade para *Calophyllum brasiliense* Cambess.

Já valores superiores a este estudo foram encontrados na Costa Rica, onde o Guanandi em plantações experimentais apresentou altura de 1,36 m de altura total média no primeiro ano após o estabelecimento (Russo & Sandi, 1995) e aos 3 anos de idade, alcançou 4,2 m de altura total média (González et al., 1990). Piotto et. al., (2003a) em estudos de plantios comerciais de Guanandi na Costa Rica com idades entre 6 e 11 anos indicaram uma média de crescimento em altura total de 1,3 m /ano.

As diferenças de valores de crescimento e incrementos em HT encontrados em relação a este estudo se devem ao fato da localização onde estes plantios se encontram, aos diferentes espaçamentos, ao tipo de plantio (puro ou consorciado) das diferentes

condições climáticas das regiões em estudo bem como pela competição por luz e nutrientes.

### 4.3 Dinâmica do crescimento em DAP

O levantamento da dinâmica do crescimento dos 335 indivíduos em DAP identificou durante o período de tempo avaliado valores médios aritméticos de (3,07 cm) aos 44 meses a 7,47 cm (74 meses). O ranque da variável se estendeu máximo de 12,96 cm e DAP mínimo de 3,50 cm aos 74 meses de idade. Estes valores indicam que o crescimento em DAP do povoamento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. é condizente com a literatura existente, sendo que em Adrianópolis, estado do Paraná, aos 5 anos a média do DAP é de 3,8 cm (Carvalho,2003); em Rolândia, estado do Paraná, a média do DAP é de 2,80 cm (Carvalho,2003) e em Garça estado de São Paulo o valor e oscila entre 6-7 cm aos 5 anos (Ciriello, 2010).

Nota-se que houve redução do CV ao longo dos inventários medidos e aos 74 meses de idade o valor é considerado baixo (Gomes, 1990), indicando baixa variação dos valores de DAP. Os valores podem ser plenamente aceitos para interpretar a abrangência da amostragem (Tabela 8).

Tabela 8: Frequência de indivíduos, DAP médio, desvio padrão e coeficiente de variação no de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.

Medição (meses)	n <sub>i</sub>	DAP (cm)	s (cm)	CV (%)
44	302	3,07	0,76	24,77
50	288	4,07	0,93	23,02
60	279	5,60	1,09	19,46
74	278	7,47	1,39	18,60

em que: n<sub>i</sub> = número de indivíduos medidos, DAP = média do DAP em cm; s= desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

A frequência relativa de indivíduos por classe para a variável DAP foi de 70,20% aos 44 meses de idade na classe dois, de 51,39% aos 50 meses de idade também na classe dois, de 49,46% aos 60 meses de idade na classe três, de 39,93% aos 74 meses de idade na classe quatro (Tabela 9). A estrutura diamétrica revelou que a comunidade arbórea é composta por árvores pequenas com DAP variando de 2 a 12 cm aos 74 meses de idade,



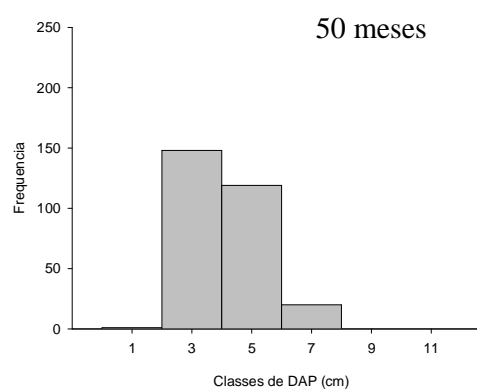
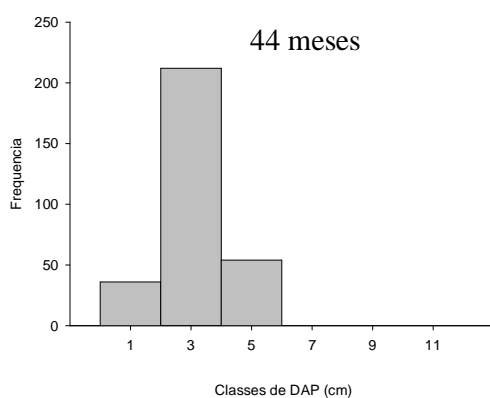
sendo que 91% destes se encontram entre as classes diamétricas de 4 a 10 cm, valores estes, condizente com o estágio inicial de crescimento em que se encontra o plantio.

Tabela 9: Frequência absoluta e frequência relativa para a variável DAP no plantio comercial da espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess. no período de 44 a 74 meses em Dueré-TO.

Classe	44 meses		50 meses		60 meses		74 meses	
	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%	FA	FR%
0-2	36	11,92	1	0,35				
2-4	212	70,20	148	51,39	35	12,54	5	1,80
4-6	54	17,88	119	41,32	138	49,46	57	20,50
6-8			20	6,94	96	34,41	111	39,93
8-10					10	3,58	85	30,58
10-12							20	7,19
Total	302	100	288	100	279	100	278	100

em que: FA= frequência absoluta; FR= frequência relativa em porcentagem

A partir dos 44 meses onde pode-se obter dados de DAP observamos que o comportamento do crescimento por classe diamétrica se assemelha ao da altura total, ou seja, a medida que o tempo passa ocorre recrutamento das árvores dos menores diâmetros para as maiores classes diamétricas (Figura 11).



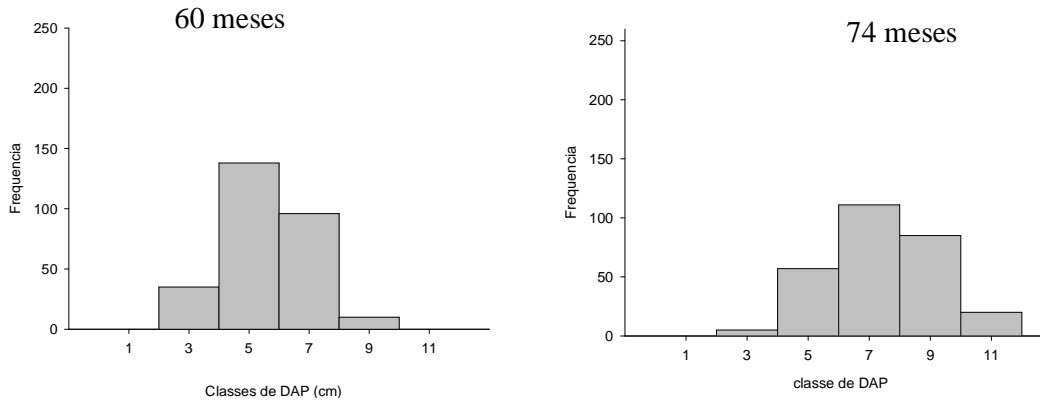


Figura 11: Dinâmica do crescimento por classe de DAP em função da idade do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. no período de 44 a 74 meses de idade no município de Dueré-TO.

A variável DAP médio calculada aos 74 meses indica distribuição de frequência normal que é característico de floresta equiânea, onde a maior concentração de indivíduos fica em torno da média mais ou menos um desvio padrão. Neste estudo 70,51 % dos indivíduos estão sobre este preceito, sendo que Freund e Simon (2000) determinam que em uma distribuição normal 68% das observações estão dentro do intervalo de mais ou menos um desvio padrão da média. Fato este também confirmado por Machado et al. (2006) afirmaram que em distribuição diamétrica de povoamento florestal equiâneo puro proveniente de plantação, a mesma se aproxima de uma distribuição normal nas idades jovens.

Também Netto (2008) em seus estudos sobre distribuição de frequência por classe de diâmetro em povoamento de *Pinus taeda* L, sem desbaste em diferentes idades, determinou que a distribuição normal promoveu o melhor ajuste nas idades iniciais de 72 meses, corroborando com este estudo.

Nas distribuições de frequência em classes diamétricas e de altura total, constatou-se uma relação entre as frequências observadas e o valor central das classes. Pode-se observar que houve maior concentração de indivíduos nas classes centrais da distribuição. Este fato é muito comum em florestas plantadas, pois, em sua grande maioria, são florestas formadas por uma única espécie, sendo também equiâneas, nesse caso o *Calophyllum brasiliense* Cambess.

#### 4.4 Incremento médio anual e incremento corrente anual para DAP

Na análise do crescimento em DAP, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) a partir dos valores médios para a espécie evidenciando o crescente aumento destes, ao longo do tempo, o que caracteriza que na fase inicial de crescimento a variável DAP não sofreu influência da desrama e da competição entre indivíduos (Tabela 10). Para o IMA a oscilação percentual foi de 20,37 % a 29,05% e para o ICA foi de 16,19 a 35,62%.

Tabela 10: Cálculo do incremento médio anual e incremento corrente anual em valores absolutos e percentuais para DAP no plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO

Idade (meses)	DAP (cm)	IMA	ICA	IMA %	ICA %
44	3,07	0,852	0,852	20,37	16,19
50	4,07	0,992	1	23,73	19,05
60	5,60	1,120	1,53	26,85	29,14
74	7,47	1,212	1,87	29,05	35,62

em que: DAP = diâmetro a altura do peito medido em cm; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual ; IMA% = incremento médio anual em percentagem; ICA % = incremento corrente anual em percentagem.

Valores superiores a este estudo foram observados em plantações comerciais de *Calophyllum brasiliense* Cambess. na Costa Rica, com idades entre 6 e 11 anos mostram que a espécie apresenta crescimento uniforme em diferentes condições de sítio, mantendo média de crescimento em diâmetro de 1,5 cm/ano (Piotto et al., 2003a). Em plantações experimentais manejadas por meio de desbastes, aos 10 anos de idade foi encontrado diâmetro médio de 19,4 cm (Piotto et al., 2003b). Também na Costa Rica foram encontrados valores superiores onde aos três anos de idade em plantios puros, o *Calophyllum brasiliense* Cambess. apresentou 3,9 cm de diâmetro (González et. al., 1990), fato este que pode ser explicado pelas diferentes regiões geográficas em que os plantios estão instalados, condições climáticas, pela competição por luz e nutrientes.

Ao agrupar todas as árvores e analisar seus incrementos pode-se observar graficamente, que as curvas de produção para volume total ( $m^3$ ), HT (m) como para o DAP (cm) apresentam forma linear de crescimento (Figura 12) fato este justificado pelo povoamento estar em fase inicial de crescimento e pela espécie se comportar com

crescimento lento a moderado, confirmando os conceitos descritos por Schmidt, et al., (1972).

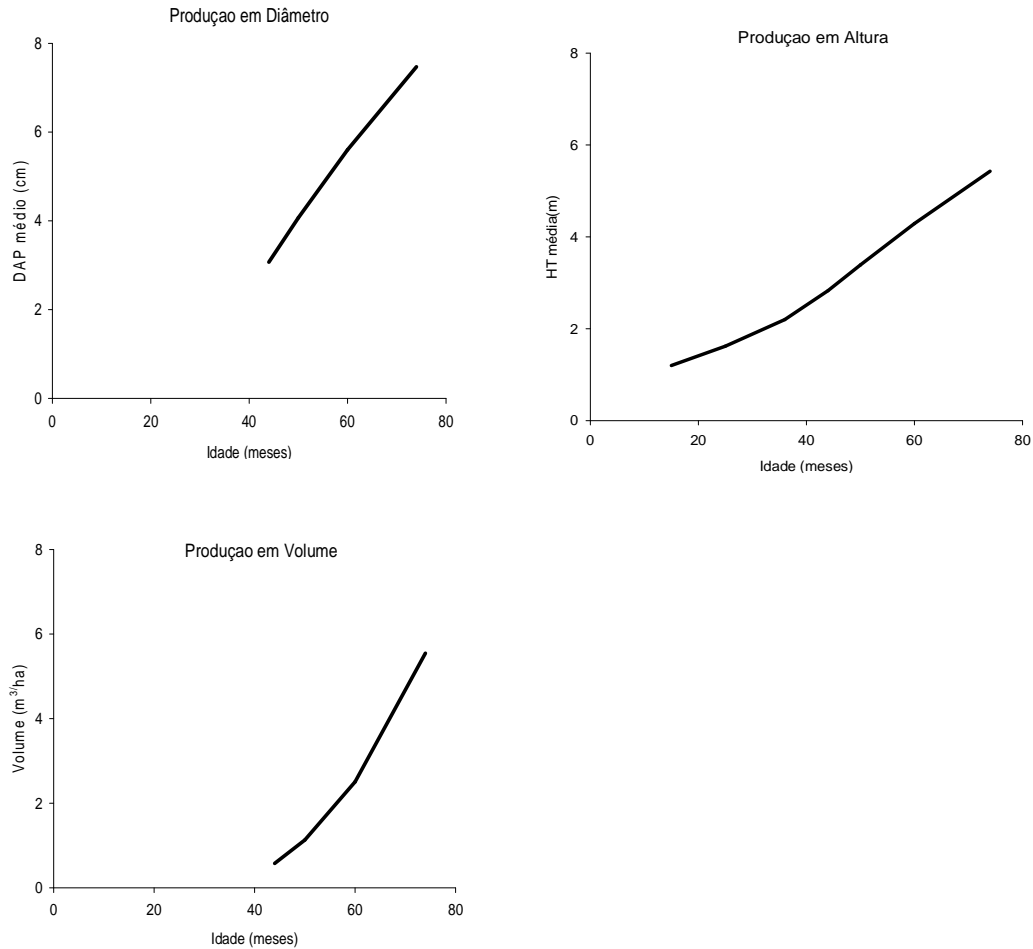


Figura 12: Curvas de crescimento acumulado para as variáveis DAP médio em cm, altura total média em m e volume médio em m<sup>3</sup>/ha para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. ao longo do período de tempo avaliado em Dueré-TO.

#### 4.5 Taxa de mortalidade

Aos 74 meses o percentual de mortalidade acumulado foi de 31,04%, e de sobrevivência de 68,96% em comparação com os dados apresentados na Tabela 11 o percentual de sobrevivência é bastante variado levando em consideração a idade, espaçamento e a região onde a espécie foi plantada.

Tabela 11: Número de árvores mortas em valores absolutos e percentuais no período de 15 a 74 meses para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.

Medição (meses)	Taxa de mortalidade	
	Absoluto	%
15	40	12,76
25	10	2,98
36	11	3,38
44	12	3,82
50	14	4,63
60	9	3,12
74	1	0,35

Valores de sobrevivência inferiores a este, foi encontrado por Mendonça (2014) que ao determinar o potencial de estabelecimento de espécies arbóreas em sistemas silvopastoril na região de Lavras, sul do Estado de Minas Gerais encontrou porcentagem de sobrevivência de 55,73 % aos 18 meses de idade para a mesma espécie estudada nesta pesquisa. Também Nicodemo et. al. (2009) ao avaliarem a sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil central indicadas para sistemas silvopastoris encontraram índice de sobrevivência de 43,75% aos 30 dias para *Calophyllum brasiliensis* Cambess.

Já em áreas com solos úmidos iguais aos deste estudo as percentagens de sobrevivência aumentam, fato este comprovado pelos estudos de Kageyama, (1992) onde em experimentos em Promissão, no Estado de São Paulo realizados com Guanandi, a porcentagem de falhas nos solos periodicamente úmidos/inundáveis foi abaixo de 5% (sobrevivência de 95%), enquanto nos solos permanentemente úmidos e brejosos foi de 25% (sobrevivência de 75%).

Dados obtidos da média da altura total, média do DAP, densidade total e absoluta, porcentagem de sobrevivência condizem com resultados encontrados em outros plantios comerciais da espécie no Brasil e em outros países conforme é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12: Características da idade (anos), espaçamento (m), plantas vivas (%) altura média (m), DAP (médio), classe de solos de plantios comerciais realizados com *Calophyllum brasiliense* Cambess. no Brasil e no Exterior

Local	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Plantas vivas (%)	Altura média (m)	DAP médio (cm)	Classe de solo	Referências
Costa Rica				1,36	1,62cm		Russo & Sandi (1995)
Garça-SP	5	3x2		8-9	6-7		Tropical flora
Garça-SP	3			4,2	3,9 cm		Gonzáles et al. (1990)
Costa Rica	10			13	19,4		Piotto et al. (2003)
Dueré -TO	6	4x2	60,86	5,58	7,47		Coelho et al. (2014)
Adrianópolis-PR (b)	2	4x2, 5	81,2	2,00	-	PVAd	Embrapa Florestas/Berneck
Adrianópolis-PR	5	4x4	56,2	3,33	3,8	PVAd	Embrapa Florestas
Costa Rica	3	-	81,0	4,20	3,8		Espinosa e Butterfield (1989)
Foz do Iguaçu-PR (b)	3	3x3	87,0	2,54	3,3	LVdf	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
Foz do Iguaçu-PR	4	4x3	80,0	3,35	4,2	LVdf	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
Foz do Iguaçu-PR	11	4x4	68,7	9,18	11,0	LVdf	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional
Manaus-AM	7	-	-	7,81	10,0	LAd	Volpato et al. (1973)
Manaus-AM	8	3x2	96,0	8,38	11,3	LAd	Schmidt e Volpato (1972)
Manaus-AM (c)	8	5x5	-	3,99	-	LAd	Volpato et al. (1973)
Manaus-AM	19	4,5x4, 5	74,0	12,91	19,9	LAd	Silva e Canto (1994)
Moji Mirim-SP (d)	33	3x3	70,0	-	21,0	LVAd	Pires (1965, 1966)
Paranaguá-PR (e)	8	3x2	75,0	4,44	4,0	LVA	Embrapa Florestas
Paranaguá-PR (e)	7	3x1, 5	100,0	4,68	3,7	LVA	Embrapa Florestas
Rolândia-PR	5	3x2, 5	100,0	3,06	2,8	LVdf	Embrapa Florestas/Fazenda Bimini
Santa Helena-PR	6	4x4	6,2	3,00	4,0	LVef	Embrapa Florestas/Itaipu Binacional

em que: LAd = Latossolo Amarelo Distrófico; ; PVAd = Argissolo vermelho amarelo distrófico típico; LVdf= Latossolo Vermelho distroférico LVAd = Latossolo vermelho-amarelo Distrófico; LVA= Latossolo vermelho-amarelo Distrófico argissólico; LVef = Latossolo vermelho Eutroférico; (b) Plantio de comprovação; (c) Plantio de enriquecimento em linhas; (d) Área basal com 38,43 m<sup>2</sup>/ha ; (e) Plantio em meia-encosta, na face Norte.Fonte: Carvalho (2003) com adaptações da autora.

#### 4.6 Relação Hipsométrica

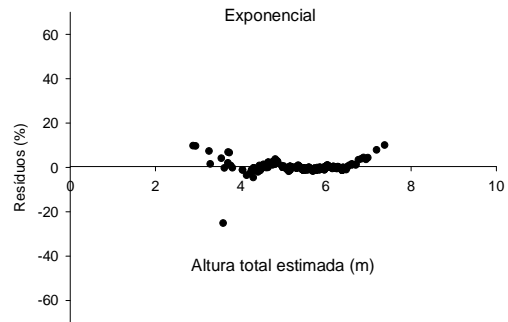
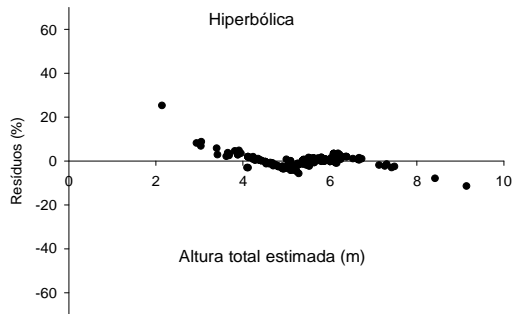
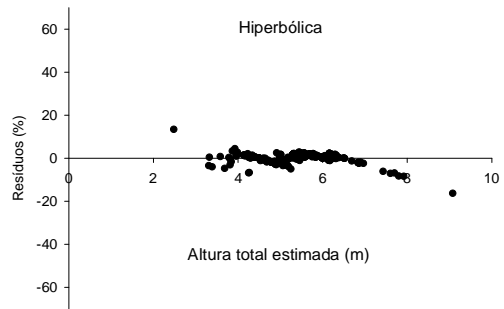
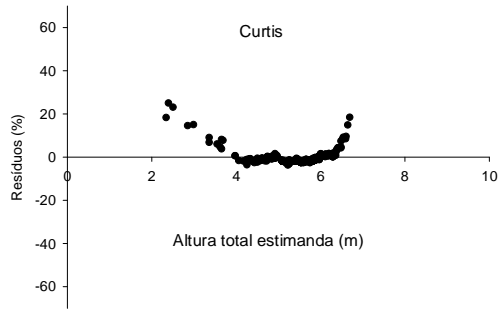
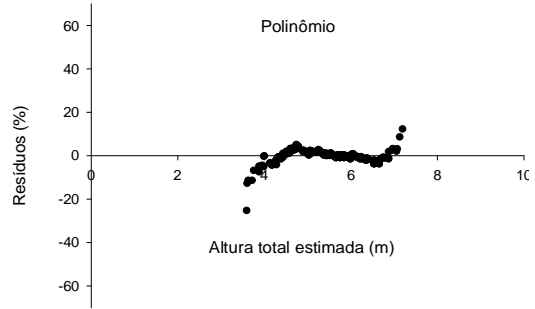
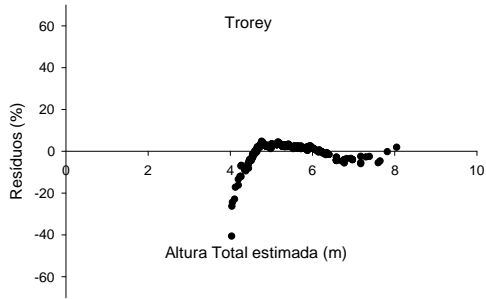
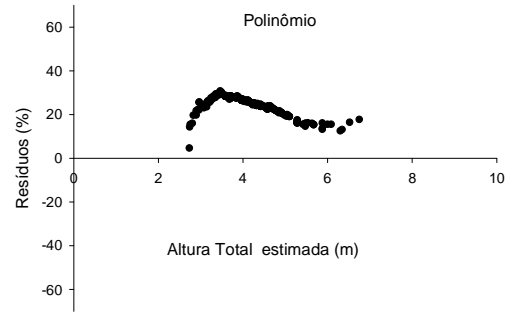
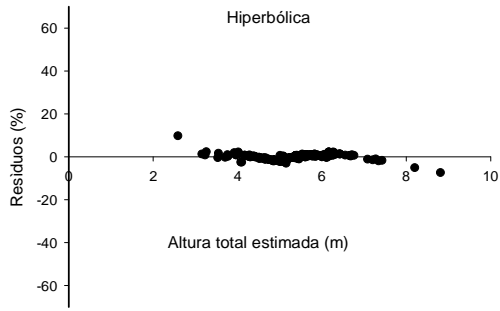
Os coeficientes de determinação ajustados variaram entre 0,936 e 0,993 e o coeficiente de variação entre 0,13 a 5,31%. O valor de “p” mostrou que a reta representada pela equação selecionada foi significativa para o conjunto de dados observados. Os modelos foram significativos ao nível de probabilidade estabelecida e, portanto, conclui-se que pelo menos uma variável independente esteja relacionada com o valor da variável dependente. O valor de F foi significativo em todos os modelos analisados. Isto indica que o povoamento apresentou baixa variabilidade e alta homogeneidade (Tabela 13).

Tabela 13: Estimativas dos parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados para descrever a relação hipsométrica para *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.

Função	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$	CV%	F	P
Hiperbólica	0,282*	1,537*			0,98	0,13	17437,9*	<0,0001
Polinômio	-0,266*	0,721*	-0,016*		0,93	3,76	4069,9*	<0,0001
Trorey	1,033*	0,721*	-0,016*		0,93	3,76	4069,9*	<0,0001
Polinômio	-2,562*	2,273*	-0,229 <sup>ns</sup>	0,009*	0,97	2,49	4794,1*	<0,0001
Curtis	8,471*	-21,439 <sup>ns</sup>			0,94	3,53	4633,3*	<0,0001
Hiperbólica	0,133*	0,151*	4,609		0,98	0,14	8991,50	<0,0001
Hiperbólica	6,650*	3,393*	0,387*		0,99	5,31	20996,5*	<0,0001
Exponencial	0,963*	-2,514 <sup>ns</sup>			0,98	0,19	21163,9*	<0,0001
Polinômio	0,645*	0,466*			0,97	2,27	11643,6*	<0,0001
Curtis (var.)	0,441*	0,0385*			0,94	0,30	4534,9*	<0,0001
Linear	1,945*	0,466*			0,97	2,27	11643,6*	<0,0001
Stofells	0,173*	0,645*			0,98	0,16	16414,7*	<0,0001
Logarítmica	-0,146 <sup>ns</sup>	0,874*			0,97	0,27	10304,1*	<0,0001
Logarítmica	-0,146 <sup>ns</sup>	0*	0,437*		0,97	0,27	10304,1*	<0,0001
Logarítmica	0,992*	6,728*			0,98	0,18	22697,9*	<0,0001

em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$ , = parâmetros das equações;  $R^2_{aj}$ = coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; \*= significância a 5%; ns= não significativo e P = probabilidade de significância do teste.

A análise gráfica de dispersão de resíduos (Figura13), entre os valores observados e estimados, mostrou que a função hiperbólica  $\frac{1}{\sqrt{h-1,30}} = 0,282 + 1,537 \cdot \frac{1}{d}$  apresentou ajuste adequado para descrever a relação hipsométrica entre as equações testadas, evidenciando a seleção do modelo.





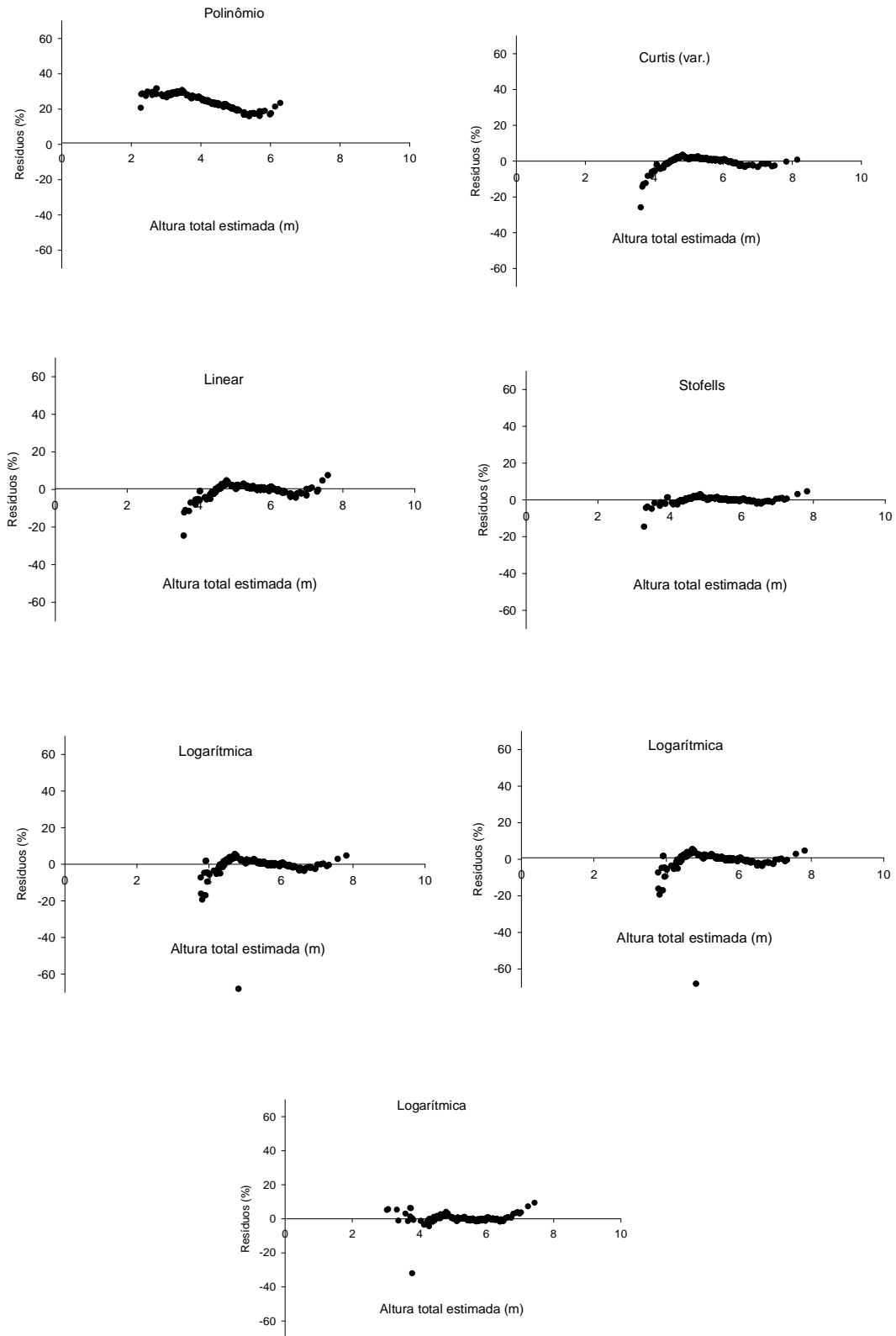


Figura 13: Distribuição percentual dos resíduos do modelo testados para determinar a relação hipsométrica para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.

A normalidade dos resíduos foi comprovada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, para o modelo hiperbólico considerando  $\alpha = 0,01$  e  $n = 96$  o valor de 0,073 de probabilidade sendo  $p = 0,0096$  e a homocedasticidade foi feita pelo teste de Bartlett,  $B_s(0,01;24) = 2,78$  e  $B = 1,69$  não rejeitamos a hipótese nula e concluímos que não existem evidências de que as variâncias obtidas para o conjunto de dados, são diferentes, ao nível de significância de 1%. Infere-se assim, que não houve diferença significativa entre as alturas reais e as alturas estimadas e, portanto, confirmou-se que a função matemática Hiperbólica pode ser utilizada para o cálculo da altura do povoamento em estudo.

A distribuição entre os valores observados e estimados neste estudo mostrou que o modelo hiperbólico apresentou entre as equações testadas um bom ajuste ao conjunto de dados do povoamento de Guanandi, evidenciando sua seleção como melhor (Figura14). Embora nas funções 6, 7, 8 12 e 15 os valores obtidos de  $R^2_{aj}$  foram iguais ou maiores que a função 1, contudo a análise gráfica dos resíduos e o valor do CV% justifica a seleção deste.

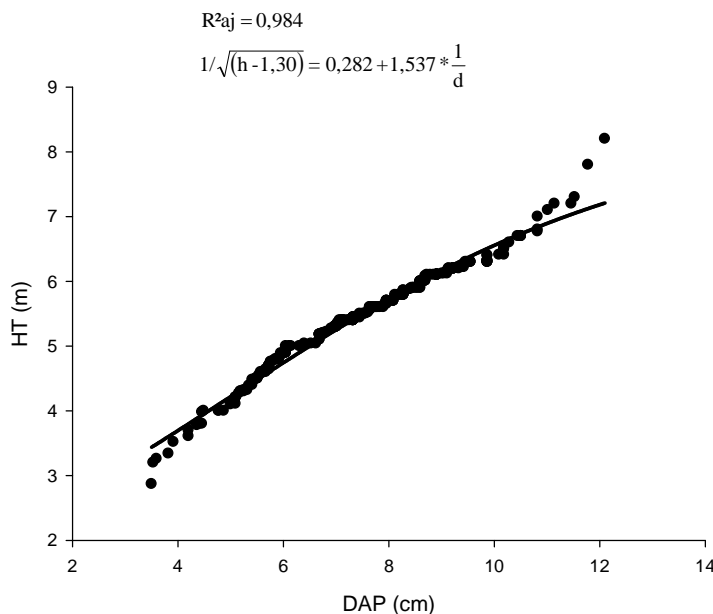


Figura14: Alturas observadas e estimadas pela função hiperbólica para determinação da relação hipsométrica do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré -TO.

O modelo hiperbólico é muito usado para determinar a relação hipsométrica de plantios comerciais de espécies florestais, principalmente do gênero *Eucaliptus* e *Pinus*.

Neste sentido, Silva et. al (2007) ao avaliarem a influência do tamanho e composição de amostras no ajuste de relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis* encontraram o modelo hiperbólico  $\frac{1}{\sqrt{h-1,30}} = -0,0244 + 2,3286 \cdot \frac{1}{d}$  com  $R^2 = 0,82$ ;  $S_{y,x}(\%) = \pm 7,93$ , Moraes Neto et al. (2010) ao determinarem modelos matemáticos para os povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* e de híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis*, respectivamente, aos 18 meses de idade, em Planaltina, Distrito Federal usaram o modelo hiperbólico e observaram os valores de  $R^2_{aj} = 93,0\%$  e  $95,0\%$ , respectivamente e Santos et al. (2014) estudando a relação hipsométrica em plantio do híbrido (*Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis*) aos seis anos de idade no município de Moju no estado do Pará selecionaram o modelo hiperbólico, Donadoni et al. (2010) reportaram resultados semelhantes a este estudo pois também foi selecionado o modelo hiperbólico, como melhor modelo para estimar a altura nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ( $R^2_{aj} = 89,60\%$  e  $S_{yx}\% = \pm 3,94\%$ ), e *Pinus tecunumanii* ( $R^2_{aj} = 97,3\%$  e  $S_{yx}\% = \pm 6,32\%$ ), no município de Vilhena, Estado de Rondônia com ambas espécies possuindo 12 anos de idade.

Os valores dos coeficientes de determinação de todos os exemplos citados anteriormente são menores que os encontrados neste estudo indicando que a qualidade do ajuste da regressão obtido neste estudo é maior que as dos estudos citados nesta pesquisa.

Também o modelo hiperbólico é usado para descrever a relação hipsométrica de outras espécies exóticas e nativas, como exemplo Rossi et al. (2011) que selecionaram o modelo hiperbólico  $\frac{1}{\sqrt{h-1,30}} = 0,173 + 2,211 \cdot \frac{1}{d} - 2,216 \cdot \left(\frac{1}{DAP^2}\right)$ , para um povoamento de *Tectonia grandis* com 26 anos em Monte Dourado-PA e, Azevedo et al. (1999), em seus estudos sobre a relação hipsométrica para quatro espécies nativas em plantio misto (sete-casas, ipê branco, ipê roxo e ipê amarelo) no Planalto da Conquista, município de Vitória da Conquista - BA., consideraram a possibilidade de utilização de uma única equação de regressão, sendo que a escolhida foi o modelo hiperbólico descrito por:  $\left(\frac{d}{\sqrt{h}} = b_0 + b_1 \cdot d\right)$  para todas as idades.

#### 4.7 Volume individual

Para seleção das árvores a serem cubadas foi feita a distribuição de frequência (Tabela 14) com amplitude da classe fixada em 2 cm. O número de árvores cubadas por classe diamétrica foi proporcional à distribuição de frequência do povoamento por classe variando de 15 a 20% para que pelo menos um indivíduo por classe fosse amostrado. Esta metodologia também foi utilizada por Miranda et al. (2014) que ao avaliarem o efeito do método de amostragem da cubagem rigorosa na precisão de estimativas volumétricas em plantios clonais de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, localizados na Bahia, com idade variando de 58,7 a 65,2 meses, ajustaram o modelo de Schumacher-Hall a duas bases de dados, sendo a primeira com número fixo de árvores em todas as classes diamétricas e a segunda proporcional à distribuição diamétrica do povoamento. Os resultados demonstraram que a maior precisão foi obtida com a amostragem proporcional, o que permite redução do tempo e dos custos da operação de cubagem rigorosa.

Tabela 14: Frequência absoluta das árvores cubadas para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO para classes de DAP com amplitude de 2 cm.

Classes DAP (cm)	Número de árvores cubadas
2-4	01
4-6	09
6-8	18
8-10	14
10-12	03
TOTAL	45

Como a amostra piloto forneceu 43,94 árvores (com CV 39,76%), assim, para assegurar o cálculo do volume individual foi realizado a cubagem do povoamento em 45 árvores, aos 74 meses de idade com fator de forma artificial calculado para cada árvore (Tabela 15).

Tabela 15: Valores dos fatores de forma artificial obtidos pela cubagem rigorosa para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess aos 74 meses de idade.

Árvore N <sup>o</sup>	DAP (cm)	Fator de forma	Árvore N <sup>o</sup>	DAP (cm)	Fator de forma	Árvore N <sup>o</sup>	DAP (cm)	Fator de forma
1	5,09	0,84	16	7,92	0,62	31	8,56	0,78
2	6,50	0,84	17	7,78	0,85	32	7,77	0,75
3	8,60	0,75	18	8,79	0,76	33	6,75	0,91
4	6,78	0,86	19	9,76	0,78	34	4,77	0,79
5	7,32	0,89	20	7,65	0,87	35	8,97	0,74
6	6,17	0,74	21	4,77	0,99	36	5,09	0,89
7	10,30	0,79	22	7,40	0,88	37	6,22	0,94
8	8,50	0,79	23	6,54	0,87	38	8,54	0,76
9	5,80	0,87	24	11,21	0,71	39	9,79	0,78
10	7,30	0,73	25	7,72	0,88	40	8,21	0,81
11	2,80	0,99	26	4,60	0,94	41	8,01	0,78
12	10,80	0,89	27	4,96	0,99	42	10,94	0,75
13	11,40	0,78	28	7,28	0,88	43	6,89	0,93
14	6,17	0,86	29	7,45	0,98	44	4,99	0,94
15	8,54	0,63	30	11,65	0,70	45	4,52	0,93

De posse dos resultados volumétricos das 45 árvores cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, procedeu-se com o cálculo correspondente de aplicação dos nove modelos volumétricos descritos na Tabela 3.

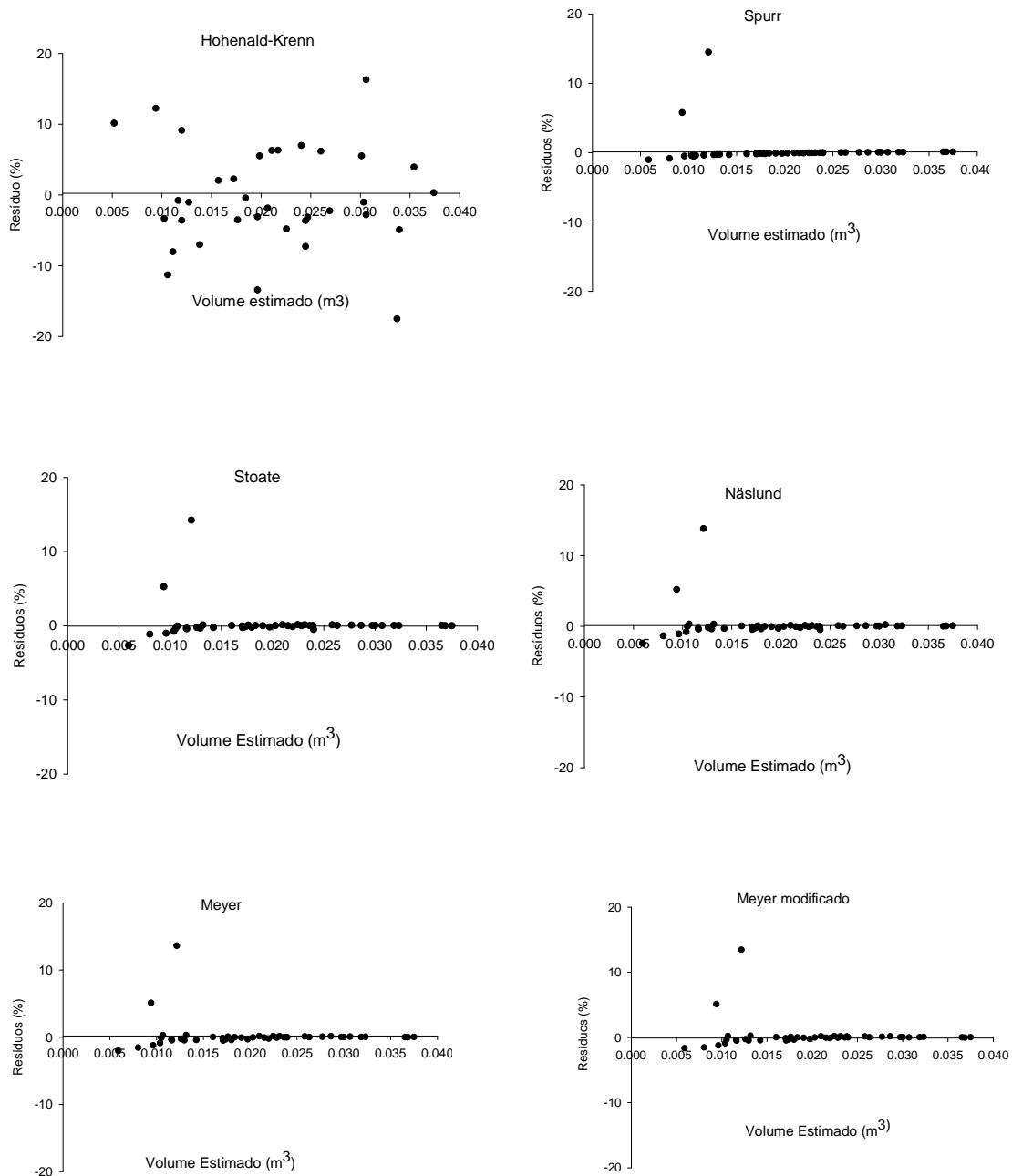
Os coeficientes de determinação ajustados variaram entre 0,94 e 0,99 e coeficiente de variação entre 1,98 a 8,78% (Tabela16). Os modelos foram significativos ao nível de probabilidade estabelecida e, portanto, conclui-se que pelo menos uma variável independente esteja relacionada com o valor da variável dependente. O valor de F foi significativo em todos os modelos analisados. Isto indica que o povoamento apresentou baixa variabilidade e alta homogeneidade.

Tabela16: Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados para descrever o volume individual em m<sup>3</sup> do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO.

Função	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj}$	CV%	F
Hohenald-Krenn	-0,0100*	0,002101*	0,0003*				0,95	8,08	388,02*
Spurr	0,00007*	0,00007*					0,99	2,49	2334,37*
Stoate	0,00083*	-0,000001*	0,00007*	-0,0001*			0,99	2,48	80244,1*
Näslund	0,0003*	-0,000004*	0,00006*	0,00051*	-0,00003*		0,99	2,08	5824,4*
Meyer	-0,0005*	0,00054*	-0,00005*	-0,00007*	0,00007*		0,99	2,07	59909,5*
Meyer(modificado)	-0,0018*	0,0009*	-0,00008*	-0,0001*	0,00008*	0,0002*	0,99	2,09	46489,7*
Spurr	-9,5187*	0,9934*					0,99	1,98	71690,9*
Schumacher-Hall	-9,4976*	1,9988*	0,9943				0,99	1,99	31092,3*
I.B.W. Alemanha	-9,4976*	0 <sup>ns</sup>	1,0085*	0 <sup>ns</sup>	0,4837*		0,93	1,99	31092,3*

em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  = parâmetros das equações;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em percentagem; F = valor de F; \* = significância a 5%; ns = não significativo.

A análise gráfica de dispersão de resíduos (Figura15), entre os valores observados e estimados, mostrou que a função  $= -9,4976 + 1,9988. \ln d + 0,9943. \ln h$  (modelo 8) apresentou ajuste adequado para o conjunto de dados entre as equações testadas, evidenciando a seleção do modelo.



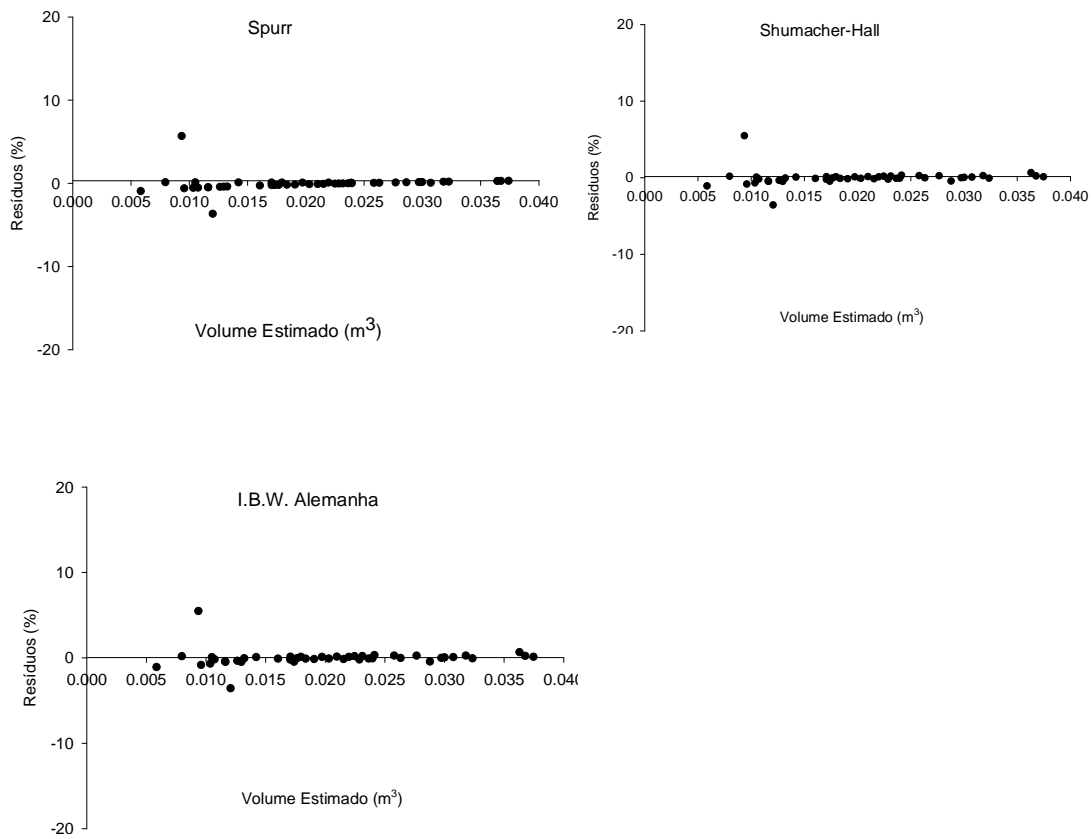


Figura 15: Distribuição percentual dos resíduos dos modelos testados para determinar o volume individual para o plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO. aos 74 meses de idade.

Este modelo volumétrico é muito usado para determinar o volume individual de plantios comerciais de espécies florestais, principalmente do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*.

Neste sentido Rocha et al. (2010) ao avaliarem métodos de estimativas de volume para povoamento de *Eucalyptus urophylla* com 57 meses de idade no planalto da conquista – BA determinaram que a partir do inventário tradicional, o modelo volumétrico que apresentou o melhor desempenho foi o de Schumacher-Hall (logarítmica). A dispersão gráfica dos resíduos não apresentou tendenciosidade,  $R^2 = 95,64\%$  e  $Syx = 0,0151 \text{ m}^3$ , também Azevedo et. al (2011a) ao determinarem estimativas volumétricas para *Eucalyptus* aos cinco anos de idade sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia selecionaram o modelo de Schumacher-Hall logaritmicado com  $R^2_{aj} 98,10$  e CV% de 4,66 para volume total, Oiole, et. al. (2014) ao realizarem ajustes de modelos volumétricos para clones de *Eucalyptus* sp. em diferentes espaçamentos em Mato



Grosso do Sul determinaram o modelo de Schumacher-Hall, que forneceu as estimativas mais exatas tanto para as árvores de maior diâmetro, como as de menor diâmetro. A análise gráfica dos resíduos mostrou que o modelo de Schumacher-Hall foi superior, pois não apresentou tendenciosidade para a estimativa do volume total com  $R^2_{aj} = 0,98$  e  $Syx \% = 7,7$  aos 28 meses de idade e Miranda et al. (2014) ao determinarem o fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis* com 30 meses de idade no Mato Grosso onde selecionaram a equação Schumacher-Hall (logarítmica) com  $R^2_{aj} 0,98$  e CV% de 3,63.

Também o modelo Schumacher-Hall é usado para descrever o volume individual de plantios comerciais de outras espécies exóticas e nativas, cito os estudos de Drescher (2004), que para descrever o volume de *Tectona grandis* Linn F., que selecionou o modelo de Schumacher-Hall, onde apresentou coeficiente de determinação de 0,98 e erro padrão da estimativa de 3,4%, Cotta et al. (2009) em seu estudo com *Tectona grandis* Linn em propriedade rural no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES selecionaram a equação de Schumacher-Hall ( $\ln_v = -8,681345 + 1,852228 \cdot \ln DAP + 0,633129 \cdot \ln Hc$ ) para estimar o volume comercial, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 98,55% , Thomas et al. (2006) ao compararem equações volumétricas para *Pinus taeda* L. com idades variando de 8 a 28 anos, distribuídas em diferentes classes de diâmetros e sítios no município de Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, selecionaram a equação de Schumacher-Hall como mais adequada na estimativa do volume para as respectivas fontes de dados e revelaram  $R^2_{aj} = 0,99$  e CV% de 20,98. Sendo os valores de  $R^2_{aj}$  iguais a este estudo embora com CV% muito menores.

Os valores dos coeficientes de determinação de todos os exemplos citados anteriormente são iguais ou menores que os encontrados neste estudo indicando que a que a qualidade do ajuste da regressão obtido neste estudo é igual a dos estudos citados nesta pesquisa.

#### 4.7.1 Validação da equação Volumétrica

Após a escolha da melhor equação ajustada para a estimativa do volume total árvore procedeu-se à validação da equação selecionada. Para a validação, utilizou-se 10 árvores (20% do total de árvores cubadas), sendo estas retiradas aleatoriamente, antes do ajuste das equações, ou seja, são dados independentes do ajuste (Figura 16).

Devido o modelo de Schumacher-Hall ser o que melhor descreve o conjunto de dados, a hipótese de não existir diferenças significativas entre os conjuntos de dados comparados foi testada apenas para este modelo. A normalidade dos resíduos foi comprovada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, considerando  $\alpha = 0,05$  e  $n = 10$ , o valor de  $D_n 0,369 < 0,40$  e homocedasticidade foi feita pelo teste de Bartlett,  $B_s = 0,79$  e  $B = 0,65$  não rejeitamos a hipótese nula e concluímos que não existem evidência de que as variâncias obtidas para o conjunto de dados, são diferentes, ao nível de significância de 5%. Infere-se assim, que não houve diferença significativa entre os volumes reais e os volumes estimados e, portanto, confirmou-se que a função matemática de Schumacher-Hall pode ser utilizado para o cálculo do volume do povoamento.

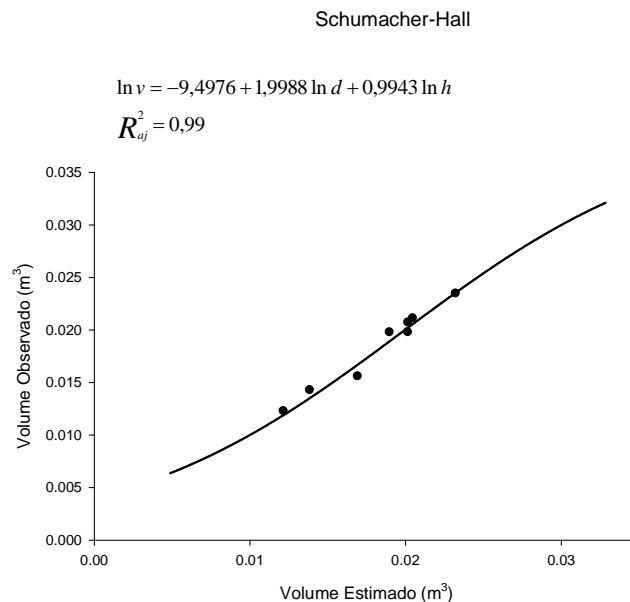


Figura 16: Volumes observados e estimados pela função de Schumacher-Hall para do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO.

No povoamento, o incremento médio anual em volume aos 74 meses foi de 5,33m<sup>3</sup>/ha/ano. Valor semelhante a este estudo foi encontrado por Filho et al., (2012) que em seus estudos de seleção massal de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em plantios comerciais com espaçamento de 3 x 2 m obtiveram valores de 3,33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> aos cinco anos de idade.

Em plantios comerciais com idades maiores que a idade deste, foi encontrado por Schimidt e Volpato (1972), ao avaliarem o crescimento do *Calophyllum brasiliense* Cambess. em plantios puros em Manaus-AM, incremento médio anual de 8,40 m<sup>3</sup>/ha/ano, aos nove anos de idade e Petit e Montagnini (2004), em seus estudos sobre o crescimento em plantios puros e mistos de espécies de árvores utilizadas no reflorestamento de áreas rurais da região úmida da Costa Rica, América Central, estimaram incremento médio em volume de 14,4 m<sup>3</sup>/ha/ano do *Calophyllum brasiliense* Cambess. na idade de rotação de 18,5 anos.

#### **4.8 Determinação da capacidade produtiva**

Os resultados estatísticos obtidos pela utilização do método da curva guia para classificação de sítio demonstraram que os três modelos (Tabela 4) apresentaram ajustes satisfatórios. Quanto ao coeficiente de variação, os que apresentaram menor precisão das estimativas foram os modelos de Backman e Schumacher-Hall. Quanto à estatística F, esse parâmetro se mostrou bastante elevado em todas as equações, altamente significativo, destacando os modelos de Backman e Schumacher-Hall (Tabela 17).

Os resultados mostraram que, de forma geral, as equações apresentaram ajustes com valores próximos entre si e a melhor estatística foi para o modelo Scumacher-Hall, onde o coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup> ajustado) apresentou valor igual a 83,40%.

Tabela 17: Parâmetros estatísticos dos modelos matemáticos testados para descrever a capacidade produtiva do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. aos 74 meses de idade em Dueré-TO:

Função	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2_{aj}$	CV%	F
Schumacher-Hall	1,810*	-20,702*		0,834	3,91	1173,23*
Chapman- Richard's	8,060*	0,0282*	2,465*	0,728	14,80	272,67*
Backman	-1,552*	0*	0,375*	0,812	3,31	2678,73*

em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros das equações;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado; CV% = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F; \*= significância a 5%.

O modelo de Schumacher-Hall se destacou, devido a garantir uma distribuição mais homogênea dos resíduos, diferente do que ocorreu nos demais modelos, nos quais ocorreu maior dispersão dos resíduos e maior tendenciosidade de superestimação e subestimação dos dados (Figura 17).

A escolha do modelo de Schumacher-Hall está em consonância com a literatura, neste sentido, trabalhos de classificação de sítios desenvolvidos por pesquisadores na área florestal o apontaram como modelo de boa performance para a construção de curvas de índice de sítios.: Martins, et. al. (2007), trabalhando com plantios de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. no agreste de Pernambuco, Silva (2010), estudando a capacidade produtiva de plantios jovens de *Tectona grandis* no município de Cáceres MT, os quais concluíram que este modelo foi eficiente para a classificação de sítio, Sanquetta et al. (2013) ao classificarem os sítios para *Pinus caribaea* var. hondurensis na região do Triângulo Mineiro, identificaram o que o modelo de Schumacher-Hall como o melhor para descrever o desenvolvimento de alturas dominantes ao longo das idades, podendo ser usado com segurança para a classificação da capacidade produtiva dessa espécie na região estudada.

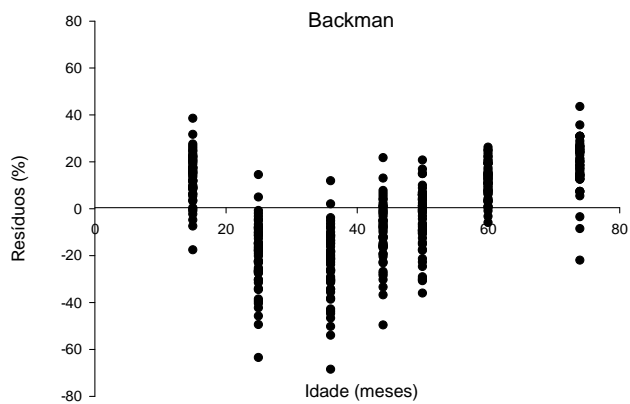
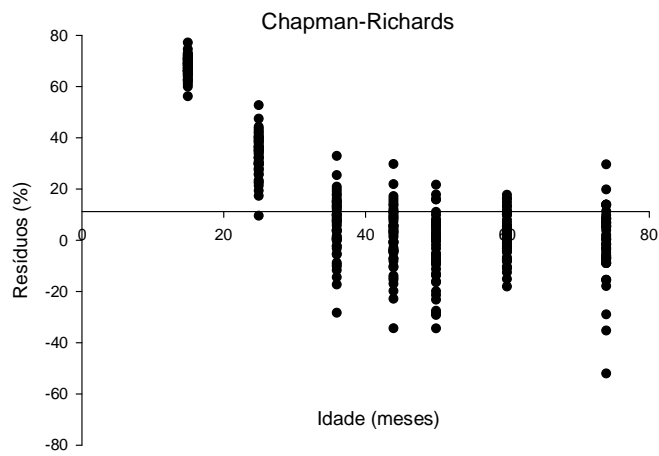
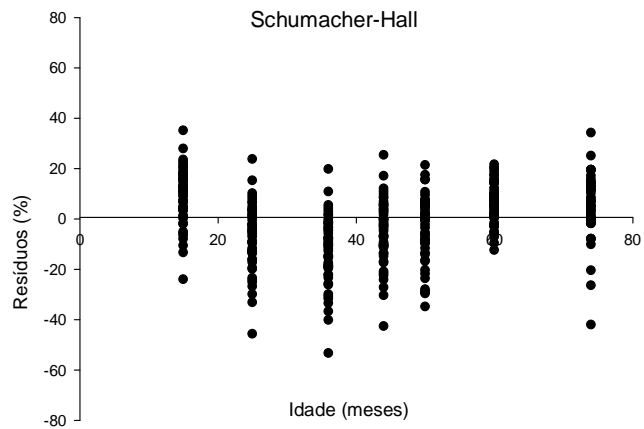


Figura17: Distribuição percentual dos resíduos para os modelos testados na determinação da capacidade produtiva do plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess. em Dueré-TO.

A normalidade dos resíduos foi comprovada pelo teste Kolmogorov-Smirnov, considerando  $\alpha = 0,05$  e o valor de  $D_n 0,0646 < 0,0720$  e a homocedasticidade foi feita pelo teste de Bartlett,  $B_s (0,05;50) = 0,9617$  e  $B = 0,653$  não rejeitamos a hipótese nula e concluímos que não existem evidência de que as variâncias obtidas para o conjunto de dados, são diferentes, ao nível de significância de 5%. Infere assim, que não houve diferença significativa entre as alturas reais e as alturas estimadas e, portanto, confirmando-se, que o modelo Schumacher-Hall pode ser utilizado para o cálculo da capacidade produtiva do sítio do povoamento em estudo.

#### 4.8.1 Construção das curvas de sítio

Ajustado o modelo de Schumacher-Hall, selecionada a idade de referência de 74 meses e intervalo de classe de 2 m, passou-se à construção das curvas de sítio pelo método da curva média.

Estas classes estão apresentadas na Tabela 18, com seus respectivos valores de limites inferior (LI), superior (LS) e índice de sítio (S). O S para a classe de maior produtividade é 9,00 m e para a classe de menor produtividade de 0,33m.

Tabela 18: Altura dominante por índice de sítio e idade para o plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess. em Dueré-TO no período de 15 a 74 meses de idade.

Idade (meses)	Índices de Sítio				
	S1	S3	S5	S7	S9
15	0,33	1,00	1,67	2,33	3,00
25	0,58	1,74	2,89	4,05	5,21
36	0,74	2,23	3,72	5,21	6,70
44	0,83	2,48	4,13	5,79	7,44
50	0,87	2,62	4,37	6,12	7,87
60	0,94	2,81	4,68	6,56	8,43
74	1,000	3,000	5,000	7,000	9,000

Os fatores idade e sítio afetaram a relação hipsométrica sendo que com relação à idade, as curvas de altura são mais íngremes nas idades mais jovens, porém sobem suavemente nas idades mais velhas (Figura 18). A inclinação das curvas nos locais mais produtivos ((IS=9 m, IS=7), foi ligeiramente mais acentuada do que nos locais menos produtivos (IS=1 m e IS=3).

Todas as curvas de sítio geradas foram consideradas provisórias, uma vez que a idade de referência foi de 74 meses ainda poderá sofrer alterações com o passar do tempo. A distância entre a idade de referência e a possível rotação dos povoamentos (aproximadamente 18 anos) faz com que haja necessidade de efetuar futuras atualizações das estimativas.

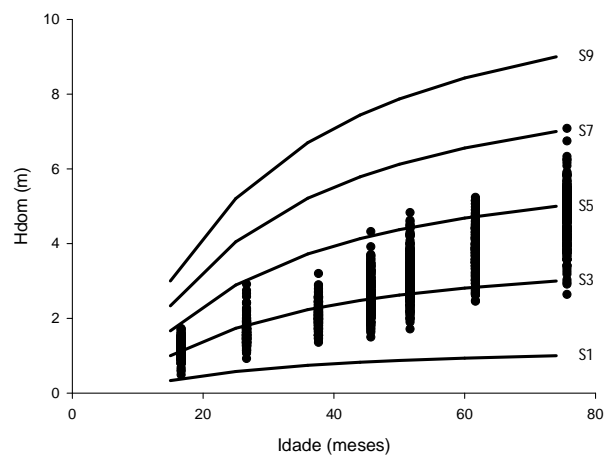


Figura18: Curvas de índice de sítio no período de 15 a 74 meses de idade para o plantio comercial da *Calophyllum brasilienses* Cambess em Dueré-TO.

O mesmo modelo selecionado neste estudo é usado para determinação da capacidade produtiva de outras espécies florestais de interesse comercial, por exemplo, Santos et al. (2012) que ao determinarem curvas de crescimento em altura e índice de sítio de povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp. na Chapada do Araripe-PE, com idade de 72 meses e intervalo de 2 m, também escolheram o modelo de Schumacher-Hall para o estabelecimento da capacidade produtiva bem como o conjunto de nove curvas de índice de sítio (curvas variando de 6 m a 20 m). Pelas estatísticas apresentadas, pela simplicidade e por estimar bem as alturas das árvores com apenas dois parâmetros, o modelo apresenta boas distribuições gráficas dos resíduos. Neste estudo as curvas de

índice de sítio variaram de 1 a 9 m o que indica que o *Calophyllum brasilienses* Cambess. tem taxas de crescimento menores que o Eucalipto plantado na chapado do Araripe-PE., Teshome & Petty (2000), ao avaliarem equações de índice de sítio *Cupressus lusitanica* na floresta de Munessa, Etiópia, selecionaram o modelo de Schumacher-Hall como o melhor no ajuste dos dados de campo. Foi observado pelos autores que o modelo de Schumacher-Hall ajustado acompanha a tendência de crescimento das parcelas, o que, juntamente com as medidas de precisão o caracteriza como bom modelo para descrever o crescimento em altura dominante para a região estudada.

Isto também vem a confirmar o porque o modelo de Schumacher-Hall vem sendo usado, ao longo do tempo, na construção de curvas de índice de sítio para várias espécies florestais como em Gale & Grigal (1987), Lenhart (1987), Monserud (1987), Andenmatten & Letourneau (2000), Tewari & Kumar (2002) e Monteiro & Kanninen (2003).

#### **4.8.2 Confiabilidade e estabilidade das curvas de índice de sítio**

Observa-se que as classificações elaboradas apresentaram os crescimentos das árvores seguindo tendências muito semelhantes das curvas índice de sítio construídas, ao longo de todas as idades, o que demonstra que a classificação feita é confiável e estável (figura 19).



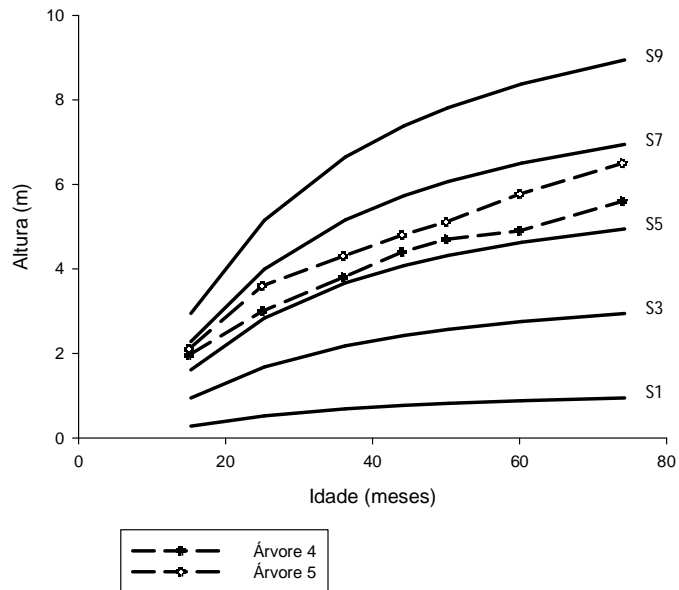


Figura 19: Confiabilidade e estabilidade das curvas índice de sítio no período de 15 a 74 meses de idade para o plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess em Dueré-TO.

Pode-se observar que as curvas descrevem com boa precisão o crescimento das árvores até a idade final de 74 meses. De acordo com King (1966), Machado (1978) e Scolforo & Machado (1988) se as árvores medidas para determinação de sítio ficarem bastante próximas ou coincidirem com as alturas geradas pela equação de índice de sítio é porque existe forte evidência de que estas curvas não são tendenciosas.

## 5. CONCLUSÕES

- A dinâmica do crescimento em HT e em DAP do plantio comercial de *Calophyllum brasiliense* Cambess. apresenta uma distribuição normal aos 74 meses de idade.
- A variável dentrométrica HT obteve taxas de crescimento médio anual com valores de 1,2 m aos 15 meses a 5,43 m aos 74 meses, identificando que o plantio está em fase inicial e ascendente de crescimento.
- A variável dendrométrica DAP aos 44 meses de idade obteve taxas de crescimento médio anual de 3,07 e aos 44 meses a de 7,47 cm e aos 74 meses. Identificou-se uma distribuição normal de frequência aos 74 meses de idade corroborando essa característica com os plantios comerciais.
- O modelo hipsométrico hiperbólico foi o que melhor se ajustou ao conjunto de dados analisados, podendo ser usado para a correspondente prognose do crescimento para a espécie em estudo.
- As taxas de incremento (IMA e ICA) em altura total (m), diâmetro à altura do peito (cm) e a produtividade média anual em volume (m<sup>3</sup>) de madeira mostraram que o *Calophyllum brasiliense* Cambess. plantado no Tocantins se assemelha a outros plantios comerciais da mesma espécie existentes no Brasil, e em outros países.
- As taxas de incremento corrente anual em HT e em DAP crescente ao longo do tempo e o IMA em volume foi de 5,33 m<sup>3</sup> /haano, considerando 1250 árvores/ha aos 74 meses. Nas condições de sítio estudadas foram iguais ou superiores, quando comparados ao incremento de outros plantios comerciais da espécie no Brasil, e em outros países.
- O modelo volumétrico de Schumacher-Hall apresentou o melhor ajuste e elevada precisão estatística para o conjunto de dados analisados, evidenciando que este modelo poderá ser usado como suporte aos correspondentes planos de manejo de reflorestamento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. no Tocantins.

- A determinação da capacidade produtiva estabelecida pelo método da curva-guia calculada a partir do modelo de Schumacher-Hall, indicou a construção de cinco curvas de índice de sítio, variando de 1 a 9 m. Infere-se que a estimativa de índice local pode ser feita a partir das informações de altura dominante, diâmetro médio e volume, obtidas do inventário florestal contínuo executado.
- No aspecto da viabilidade técnica, pode-se dizer, pela adaptação e desenvolvimento apresentada pela espécie *Calophyllum brasiliense* Cambess., no Estado do Tocantins, em especial a região sul, oferece boas condições para o desenvolvimento do cultivo.

## 6. RECOMENDAÇÕES

O *Calophyllum brasiliense* Cambess. apresentou comportamento de crescimento semelhante à de outras espécies comumente usadas em plantios comerciais. Por ser espécie nativa, o Guanandi, mostrou-se adaptada as condições de clima e solo na região sul do Estado de Tocantins.

As taxas de crescimento, incremento e produtividade mostraram que a espécie tem capacidade de desenvolvimento para a região, uma vez que seu crescimento se assemelha ou até mostrou-se maiores quando comparados a outros plantios comerciais da espécie existente no Brasil e em outros países.

Em síntese recomenda-se a continuidade do estudo de crescimento das variáveis dendrométricas, bem como acrescentar estudos sobre desbastes, desramas e capacidade produtiva da espécie, de forma a validar as curvas de índice de sítio e prognoses de crescimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico**: ano base 2012. Brasília, DF, 2013.

AHRENS, S. **O manejo e a silvicultura de plantações de Pinus na região Sul do Brasil**. IN: Curso de Manejo florestal sustentável, 1997. Curitiba. Tópicos em manejo Florestal Sustentável. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 167-176.

ANDENMATTEN, E; LETOURNEAU, F. **Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura, para Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mill) Franco), de aplicación en la región Andino Patagónica de Chubut y Río Negro, Argentina**. Bariloche: [s.n.], 2000. (Comunicación Técnica nº 09). Disponível em: < [www.scielo.com](http://www.scielo.com) > Acesso em 18 jul. de 2015.

ANDRADE, V. C. L., de; JUNIOR, M., A., G., FILHO, A., F., F. Avaliação de Modelos Volumétricos para povoamento clonal de Eucalipto na Região Sul do Estado do Tocantins. **Atualidades em Mensuração Florestal**. CURITIBA – PARANÁ – BRASIL. 2014.

ANGELI, A.; BARRICHELO, L.,E.;J. e MULLER,P.,H., *Calophyllum brasiliensis* Cambess.,2006. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/calophyllum.brasiliense.asp>. Acesso em: 18 jul. de 2016.

APG III. 2009. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: **APG III**. Botanical Journal of the Linnean Society 161: 105–121.

ARANDA, U. D. **Dendrometria**. Madrid: Mundi Prensa, 2003.

ARANDA, U. D.; ANTA, B. M., DORADO, F., C. e GONZÁLES A. J. G. Relación altura-diámetro generalizada para masa de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. **Investigación Agraria**, v. 14, n. 2, p. 229-241, jul./dic. 2005.

ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* marsh. por meio de distribuição diamétrica probabilísticas. **Ciência florestais**, Santa Maria v-14, n.1, p149-164.2004.

ARIAS, D. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. **Kurú**, Cartago, v.1, n. 2, p.1-11, set. 2004.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970.

AZEVEDO, C. P. ; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B. de; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, jul./dez. 1999.

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEICAO JÚNIOR, V. **Métodos para predição do volume de eucalipto em diferentes regimes de manejo no Planalto da Conquista.** In: II Semana de Engenharia Florestal da Bahia (2ª SEEFLO-BAHIA), 2011, Vitória da Conquista-BA. Anais..., Vitória da Conquista, 2011a.

BARTOSZECK, A. de P. e S.; MACHADO, S. A. do FILHO, A. F. ; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, set./dez. 2004.

BATISTA, J. L.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**. n. 60, p. 149-163, dez. 2001.

BERGER, R. PADILHA JUNIOR, J. B. **Economia Florestal.** Curitiba, Paraná, Editado pelos autores, 2007, 143 p.

BRASIL. Ministério do Interior. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos naturais Renováveis. **Plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula-RS.** Santa Maria, UFSM, 1989, 215 p.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. Forest management and economics. New York, NY: **Macmillan Publishing Company**, 1987, 285 p.

BURGER, D. **Ordenamento florestal: a produção florestal.** 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências Agrárias, 1976. 1 v.

BURGER, R. **The Brazilian fiscal incentive act's influence on reforestation activity in São Paulo State.** 1979. Tese (Ph. D.) – Michigan State University, Michigan, 1979.

BUTTERFIELD, R. **Native species for reforestation and land restoration:** a case study from Costa Rica. Proceedings of the Fourteenth IUFRO World Congress. Volume 2. Montreal, Canada, 1990. p. 3-14.

BUTTERFIELD, R.; ESPINOZA, M. **Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica:** fourth year results. *New Forests*, 9, 1995. p. 135-145.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; BARICHELLO, L. R.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Acacia mearnsii* com diferentes idades. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, jul./dez. 2002 p. 57-68.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Árvore**, v. 2, n. 9, p.115-126, 1985.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** Viçosa: UFV, 2002. 407 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa – CNPF; Brasília: Embrapa – SPI, 1994.

CARVALHO, P. E. R. Influência da intensidade luminosa e do substrato no crescimento, no conteúdo de clorofila e na fotossíntese de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. subsp. canjerana, *Calophyllum brasiliense* Cambess. e *Centrolobium robustum* (Vell.) Mart. ex Benth., na fase juvenil. 157 f. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CARVALHO, M.,M.,ROSA,M.,M., LIMA,G.,C.,P.,KOEHLER,H.,S.,NAPPO,M.E. Comparação dos Métodos de Cubagem na Determinação do Volume de Árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* **Atualidades em Mensuração Florestal**. CURITIBA – PARANÁ – BRASIL. 2014.

CIDRÃO, D. F. Economia florestal: potencialidades do Guanandi. 2012. 184 f. **Dissertação** (Mestrado) – UNIARA, Araraquara, 2012.

CIRIELLO, E. Variabilidade genética de caracteres relacionados ao enraizamento de estacas de progênes e clones de Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.).2010. **Dissertação**(Mestrado em Ciência Florestal) – UNESP. Botucatu, 2010.

CIRIELLO, V. Crescimento inicial e nutrição de Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess) em função de N, P, K e saturação por bases do solo. 2010. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) – UNESP. Botucatu, 2010.

CLUTTER, J. L.; FORSTON, J. C.; PIENAAR, L. V. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley e Sons, 1983.

CONCEIÇÃO, M. B. da. Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex – Maiden. 2004 154 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CORTELETTI, R.,B. Análise de Tronco Aplicada á avaliação de crescimento de árvores de Paricá. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias. 2013.82p.

COSTAS, R.; DONAGH,P.,M.; WEBER,E.; FIGUEREDO,S.; GÓMEZ,C.; IRSCHICK, P.Modelos predictivos de la producción de *Pinus taeda* empleando variables vinculadas con las podas. **Bosque**, Valdivia, v. 27, n. 2, p. 98-107, may/ago. 2006.

COTTA, T. R.; CEZANA, D. P.; BAUER, M. O.; CHICHORRO, J.F. **Equação volumétrica para *Tectona grandis* L.f. de um povoamento no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES**. In:XIII Encontro Latino Americano de Iniciação

Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2009.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BAKER, F. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 500 p.

DACOSTA, L.P.E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, República Argentina**. 2008. 128 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DAVEL, M.; ORTEGA, A. Productividad por zonas de crecimiento para pino oregón [*Pseudopsuga menziesii* (Mirb.) Franco] en la Patagonia Andina Argentina. **Investigación Agraria**, Valdivia. v.12. n. 3 p. 33-45, jun./ago. 2003.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3r. ed. New York: McGraw-Hill, 1987.

DOLDÁN, M.E.Q. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L., como resposta aos estímulos dos fatores do meio na região de Ponta Grossa-PR**. UFPR, Curitiba, 119p. 1987. Tese Mestrado.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.12, p.2499-2504, dez, 2010.

DRAPER, Norman Richard; SMITH, Harry. **Applied regression analysis**. 3rd ed. New York: John Wiley & Son, 1998. xvii, 706 p.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil**. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

DUFFECKY, M. D.; FOSSATI, L. C. Avaliação da adaptação de *Calophyllum brasiliense* Cambess.(Guanandi), família Clusiaceae, no planalto norte catarinense. **Ágora: R. Divulg. Cient.**, Mafra, v. 16, n. 2, 2009.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J.C. B. **Recomposição de matas ciliares**. São Paulo: Instituto Florestal, 1990. (IF. Série Registros, 4).

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, UFB, v. 7, n. 1, 2005.

ENCINAS, J. I.; ENCINAS, O. **Epidometria forestal**. Mérida: RELAFOR, 2008. v. 1.

FERREIRA, J., C., S. Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade. **Dissertação**. Mestrado em ciências florestais. Brasília. DF. 2011.116 p.

FILHO, A.N.K. WEDLING, I.; RIBEIRO, R. M. de. **Seleção de Guanandi em plantios comerciais**. Comunicado Técnico 299.Colombo, dez. 2012.



- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEFFATEC, 1992.
- FLINTA, C. M. *Práticas de plantação florestal em América Latina*. Roma: FAO, 1960. (FAO: Cuadernos de Fomento Forestal, 15).
- FLORIANO, E. P.; MULLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 177-199, abr./jun. 2006.
- FREUND, J. E.; SIMON, G. A. **Estatística Aplicada: economia, administração e contabilidade**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- GALE, M. R., GRIGAL, D. F. Performance of a soil productive index model used to predict site quality and stand production. **Forest Growth Modelling and Prediction**. Proceedings of the IUFRO Conference, Minneapolis, Minnesota. v. 1, p. 403-410, 1987.
- GARCIA, O. El enfoque del espacio de estados en modelos de Crecimiento. Tradução de Oscar García. **Canadian Journal of Forest Research**, Wellington, n. 24 p. 1894-1903, 1994.
- GOLFARI, L. **Response of some tropical and subtropical conifers to various site conditions in Brazil**. In: 15th I.U.F.R.O. Congress, Gainesville, Florida, U.S.A., 1971.
- GONZÁLEZ, E. E ESPINOZA. Primer Encuentro Regional sobre Espécies Forestales Nativas de la Zona Norte y Atlântica. Memória, 28-29 jul. 1989, Chilamante, Costa Rica. **Instituto Tecnológico de Costa Rica**, Cartago, Costa Rica, 1990.
- GONZÁLES, E.; FISHER, R. Growth of native species planted on abandoned pasture land in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, 70: 159-167, 1994.
- HAGGAR, J. P.; BRISCOE, C. B.; BUTTERFIELD, R. P. Native species: a resource for the diversification of forestry production in the lowland humid tropics. **Forest Ecology and Management**, 106: 195-203, 1998.
- HOSOKAWA, R.T. & GLADE, J.E. Prognose de rendimentos de bitolas comerciais para múltiplos fins em povoamentos florestais. **Silvicultura**, São Paulo, v. 11, n. 41, p. 150-163, 1986
- KING, J., E. Site e index curves for Douglas fir in the Pacific Northwest. **Weyerhaeuser Forestry Paper** 8.1966. 49p.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LENHART, J. D. Evaluation of explicit and implicit yield prediction in loblolly and slash pine plantations in east Texas. **Forest Growth Modelling and Prediction**. **Proceedings** of the IUFRO conference, Minneapolis, Minnesota, v. 1, p. 747-753, 1987.
- LOBO, P.C.; MARQUES, M.C.M.; LIEBERG, S.; JOLY, C.A. Projeto Jacaré-Pepira. III. Aspectos sobre a germinação e o estabelecimento de plantas de três espécies ocorrentes na Bacia do rio Jacaré-Pepira, Brotas, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE

BOTÂNICA, 46,1995, Ribeirao Preto. **Resumos**. Ribeirao Preto:FFCLRP/Universidade de Sao Paulo,1995.p320.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. Forest Inventory Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, **Forest Inventory Section**, 1973. 469p. v. 2.

LOPES, S.C. F. **Modelação matemática da distribuição de diâmetros em povoamentos de pinheiro bravo**. 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Florestal) –Universidade de Coimbra, Coimbra, 2001.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MACHADO, S.A. Studies id growth and yield estimation for *Pinus taeda* plantations in the state of Paraná-Brazil. University y o f Washington. Ph. D. **Dissertation**.1978. 170 p.

MACHADO, S. A. Curvas de Sítio para plantações de *Pinus taeda* L., na região central do Estado de Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 4-18, mês, 1980.

MACHADO, S. A.; OLIVEIRA, E.B.; CARPANEZZI, A., A.; BARTOSZECKET, A. C.P.S. Classificação de sítio para bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, jul./dez. 1997.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185- 196, 2002.

MACHADO, S. do A.; BARTOSZECK, A. C. de P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. de. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M.A.; PEREIRA, E.M.; TÊO, S.J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56. p. 5-16, 2008.

MAINARDI, G. L. Estudo da produção de *Pinus taeda* L.: um estudo de caso para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil. 1995. 77 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARCOLIN, M. Polimorfismo e tamanho da amostra para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L., no Segundo Planalto Paranaense. 1990. 57 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARTINS, E. F P.; SILVA, J. A. da; FERREIRA, R., L., C.; JANKOVSKI, T.; BRITO, C., C., R. de. Curvas de índice de sítio para *Leucena* (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit.) no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n. 4, p. 365-376, out /dez. 2007.

MARQUES, M.C.M.; JOLY, C. A. Germinação e crescimento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Clusiaceae), uma espécie típica de florestas inundadas. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v.14, n.1, p.113-120, 2000.

MENDONÇA, B, R. **Potencial de estabelecimento de espécies arbóreas em sistemas silvopastoris na região de Lavras, Sul do Estado de Minas Gerais**.(tese de Mestrado).Lavras, Pós graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em ciências florestais. Universidade Federal de Lavras.2014.

MENON, M. U. Ajuste dos modelos de Kozak e do sistema Murkhart e Cao para plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ambientia**, Guarapuava, PR, n. 1, p. 197-205, 2005.

MELLO, J. M de. Geostatística aplicada ao inventário florestal (Tese de Doutorado). Piracicaba: Doutorado em Recursos florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.2004.

MIRANDA, R. O.,V.; EBLING, A.,A.; DAVID, C., H.; FIORENTIN, L.,D.; SOARES, I.,D. Efeito do Método de Amostragem da Cubagem Rigorosa na Precisão de Estimativas Volumétricas. **Atualidades em Mensuração Florestal**. CURITIBA – PARANÁ – BRASIL. 2014.

MONSERUD, R. A. Variations on a theme of site index. Forest Growth Modelling and Prediction. **Proceedings** of the IUFRO Conference, Minneapolis, Minnesota, v. 1, p. 419-427, 1987.

MONTAGNINI, D. P.; UGALDE, L.; KANNINEM, M. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 427-439, 2003.

MONTEIRO, M. KANNINEN, M. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* en Costa Rica. **Agronomía Costarricense**. N. 27, v. 1, 2003, p. 29-35.

MORAES NETO, S. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D. J. M.; GUMARÃES JÚNIOR, R.; MARCHÃO, R. L. **Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* em Sistemas Agrossilvipastoril**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.33p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento).

NETTO, C.C. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos [**dissertação**]. Santa Maria: Mestrado em Concentração em Manejo Florestal, Universidade Federal de Santa Maria; 2008.

NICODEMO, M.L.F., PORFIRIO-DA-SILVA, V., SANTOS, P.M., VINHOLIS, M.M.B., FREITAS, A.R., CAPUTTI, G. **Desenvolvimento Inicial de Espécies Florestais em Sistema Silvopastoril na Região Sudeste**. 2009. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37616/1/Desenvolvimento-inicial-deespecies.pdf> Visto em: 17/07/2014

OIOLE, Y. A. ; STOLLE, L. ; LIMA, A. P. L. ; LIMA, S. F. ; BEUTLING, A. . Ajuste de modelos volumétricos para clones de *Eucalyptus* em diferentes espaçamentos. **In: 3º**

Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2014, Campinas. 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura. Curitiba: Malinovski, 2014. v. 1. p. 28-30.

PELLICO NETTO, S. e BRENA, D. A 1993. **Inventário Florestal**. Universidade Federal do Paraná. Universidade Federal de Santa Maria. Curitiba, Brazil. 268 p.

PETIT, B.; MONTAGNINI, F. Growth equations and rotation ages of ten native species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. **Forest Ecology and management**, Costa Rica, v. 199, p. 243-257, 2004.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. USP/ESALQ, Piracicaba. 1990. 468p.

PIOTTO, D., MONTAGNINI, F., UGALDE, L., KANNINEN, M. Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, 177(1-3):427-439, 2003a.

PIOTTO, D., MONTAGNINI, F., UGALDE, L., KANNINEN, M. Performance of forest plantations in small and medium sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, 175:19-204, 2003b.

POORTER L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen Agricultural University, 1993.

PRODAN, M. **Forest biometrics**. New York: Pergamon Press, 1968. 447p.

PRODAN, M. PETERS, R ; COX, F ; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: IICA, 1997.

RIBEIRO, K.T.; MORAES, L.F.D.; SCARANO, F. R. Germinação e estabelecimento de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em terreno irregular de floresta Atlântica inundável. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 46., 1995, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: FFCLRP / Universidade de São Paulo, 1995.

ROCHA, T. B., CABACINHA, C. D., ALMEIDA, R. C; PAULA, A.; SANTOS, R. C. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no Planalto da Conquista- BA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, N.10, 2010.

ROSSI, A. S.; DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R. Relação hipsométrica e crescimento de *Tectona grandis* L.f. no município de Monte Dourado, Pará. **Sciencia Forestales**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 301- 498 set. 2011.

RUSSO, R. O.; SANDI C. L. Early growth of eight native timber species in the humid tropic region of Costa Rica. **J. Sustainable Forestry**, 3(1): 81-84, 1995.

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I. Equações volumétricas para uma plantação de *Eucalyptus urophylla* destinada à produção de lenha. In: 3º SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL. **Anais...** Santa Maria: UFSM/PPGEF, 2004. p. 107-111.

SANTOS, R. C. dos. **Curvas de Crescimento em Altura e Índice de Sítio de Povoamentos clonais de Eucalyptus spp. Na Chapada do Araripe, Pernambuco.** 2012. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/Rubeni+Cunha+dos+Santos%20(5).pdf. Acessado em: 18/08/2015.

SANTOS, M. L.; BRASIL NETO, A. B.; PAUMGARTTEN, A. É. A.; RODRIGUES, R. P.; SANTOS, C. R. Estimativa da relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no município de Moju, nordeste paraense. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19. p.1039-1048, 2014.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA J. R, L.G. 2007. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados.** Planaltina: Embrapa Cerrados. 33 p. (Documentos / Embrapa Cerrados; 190)

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA J. R, L.G. 2008. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado.** Planaltina. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 153-156.

SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D; PIMENTEL,A.; SILVA,F.da. **Classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro.** 2013 Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/academica-12436%20(9).pdf. Acessado em: 6/08/2015.

SALVADOR, J. do L. G.; OLIVEIRA, S. B. de; OLIVEIRA, D. B. de; SILVA, J. R. Comportamento do Guanandi (*Calophyllum brasiliensis* Cambess) em solos úmidos, periodicamente inundáveis e brejosos. In Barrichelo. **Série Técnica IPEF** , Piracicaba, 8(25): 1-43, Set.1992. <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr25/cap01.pdf>

SCHEEREN, L. W. Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste. 2003. 157 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SCHMIDT, P. B.; VOLPATO, E. Aspectos silviculturais de algumas espécies nativas da Amazônia: informações preliminares de seus incrementos em altura e diâmetro. **Acta amazônica**, Manaus, 2(2): 99-122, ago. 1972.

SCHNEIDER, P. R. **ANATRO**: Programa de computador ambiente MS – DOS. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1984.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal.** Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm, implantado em solo pobre, no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-46, jun.1999.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequiâneas heterogêneas.** Santa Maria: UFSM, 2000. 195p.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER,P.S.P. **Introdução ao Manejo Florestal.** Santa Maria : Ed. FACOS, 2006.526 p. : il.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. S. P.; ANDRADE, C. M.; THOMAS, C. **Estruturação da produção de *Pinus taeda* L. manejados em sistema de alto fuste, na KLABIN S.A.**, em Telêmaco Borba, Pr.. Santa Maria: UFSM, KLABIN. 2007.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. **Introdução ao manejo florestal**. 2º Ed. Santa Maria: FACOS –UFSM, 2008, 566 p.

SCOLFORO, J.R. S. MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio par a plantações de *Pinus taeda* no Estado do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**. Vol. XVIII. nº 1-2. 1988 159-173 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA / FAEPE, 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. **Manejo Florestal**, p. 189-256, 1998.

SCHUMACHER, F.; HALL, F. X. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, p.719-734, 1933.

SEAGRO-Secretaria da Agricultura do Estado do Tocantins. Tocantins Florestal. Palmas. **Palestra: Diagnóstico do Setor Florestal do Estado do Tocantins**. 2014. Disponível em: [www.painelflorestal.com.br/base/www/painelflorestal.com.br/media/attachments/34/34/529cda9c56f4c71a8b719bf57b1f09112f927a7986ce5\\_marcos-giongo-diagnostico-do-setor-florestal-do-estado-do-tocantins.pdf](http://www.painelflorestal.com.br/base/www/painelflorestal.com.br/media/attachments/34/34/529cda9c56f4c71a8b719bf57b1f09112f927a7986ce5_marcos-giongo-diagnostico-do-setor-florestal-do-estado-do-tocantins.pdf)

SELLE, G. L. . Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L, na região de Cambará do Sul, RS, Brasil. 1993. 85p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SEPLAN - Secretária do Planejamento e Meio Ambiente. **Anuário Estatístico do Estado do Tocantins**. Palmas: Diretoria de Pesquisas e Informações – DPI, 2007.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F.; BRANDI, R. M. Análise de modelos volumétricos para a construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp, segundo a espécie, região e métodos de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 86-89, 1978.

SILVA, F. R. Aplicação do modelo de Schumacher-Hall para expressar a capacidade produtiva em um plantio jovem de *Tectona grandis* Linn f. 2010. **Monografia** (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Cuiabá – MT.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.685-694, 2007.

SILVA, J.N.M. **Manejo florestal**. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

SILVA, V.S.M. Produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. no Estado de Mato Grosso. Curitiba, 1999. 179 p. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, K.,E. da. Jacareúba *Calophyllum brasiliense* Cambess. **Informativo Técnico** Rede de Sementes da Amazônia .n<sup>o</sup> 11.2005.

SILVA, E.,A.,DIAS,M.,P.C.,B.,OLIVEIRA,L.,R. de, SILVA,A., G. da, NOGUEIRA,G.,S., LEITE, A.,M.,P.. Estimativa do Volume Comercial de Madeira Utilizando Medidas de Cepa em Plantios de Eucaliptus. **Atualidades em Mensuração Florestal**. CURITIBA – PARANÁ – BRASIL. 2014.

SOARES, C., P.; MARTINA, F. B.; JUNIOR, H.,U.L; SILVA, G., F., FIGUEIREDO, L., T., M. Equações Hipsométricas, volumétrica e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n5, p.1039-1051, 2011.

SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Co., 1952.

SWAINE, M. D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetation**, n. 75, p. 81-86, 1988.

SYNNOTT, T. J. A manual of permanent plot procedures for tropical rainforest. **Tropical Forestry Paper**. Oxford, England: University of Oxford, n. 14, 67 p. 1978

TEIXEIRA, I., F., SILVA, R., M., da, TATSCH, G., L. **Compatibilidade da Arborização de Ruas da Avenida Celestino Cavalheiro, São Gabriel-RS**. Floresta e Ambiente 2011 out./dez.; 18(4):438-450.

TESHOME, T.; PETTY, J. A. Site index equation for *Cupressus lusitanica* stands in munessa forest, Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 126, p. 339-347, 2000.

TEWARI, V. P.; KUMAR, V. S. Development of top height model and site index curves for *Azadirachta indica* A. Juss. **Forest Ecology and Management**. Forest Resource Management and Economics Division, Arid Forest Research Institute, P.O. Krishi Mandi, New Pali Road, Jodhpur 342 2002, India.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão Central e serra do Sudeste, Rio Grande. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43 2006.

TONINI, H. FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-152, jun. 2002.

TONINI, H. Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. 2004, 331 f. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TONINI, H.; SCHWENGBER, L.A.M. Equações hipsométricas e volumétricas para *Acacia mangium* Wild em Roraima. **Ambiência**, Guarapuava, n.2 v. 2 p.155-165, jul./dez., 2006.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa, 2007.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**: applications to mixed tropical forests. Copenhagen: CAB International, 1994.



## ***ANEXOS***

**Anexo 1: Dados mensais de precipitação e temperatura, obtidos na estação meteorológica de Gurupi, Tocantins.**

Mês	Precipitação (mm)			Temperatura (°C)			
	Histórico*	2013	2012	Mínima*	Máxima*	Mínima	Máxima
JAN	295,3	349,2	295,8	21,6	31,0	22,4	30,8
FEV	255,1		161,4	21,9	31,4		
MAR	255,9		157,2	22,4	31,4		
ABR	129,3		67,8	21,9	32,1		
MAI	34,7		16,8	20,6	32,7		
JUN	3,4		6,8	17,7	32,8		
JUL	2,8		0,0	17,6	33,5		
AGO	4,7		0,0	18,3	34,9		
SET	38,7		6,2	20,5	35,4		
OUT	146,3		39,4	21,9	33,5		
NOV	222,6		176,8	21,8	31,9		
DEZ	299,6		108,0	21,7	31,1		
ANUAL	1688,4	349,2	1036,2	20,7	32,6	22,4	30,8

\* Os dados climatológicos representam a média no período entre 1961 e 1990.

fonte: <http://tempoagora.uol.com.br/previsaodotempo.html/brasil/climatologia/Gurupi-TO/>

E do período de 1999 à 2010 da Estação Climatológica do Campus de Gurupi-TO

**Anexo 2: Propriedades físico-químicas dos solos amostrados na área do plantio de *Calophyllum brasiliense* Cambess. em Dueré-TO.**

Prof. (cm)	Mat. org.		Ph		Textura (%)			Textura (g/kg)		
	%	g/dm <sup>3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila
L. 1 0-30	1,91	19,08	5,31	6,06	48,0	7,4	44,6	480,3	73,9	445,9
L. 1 30-60	2,09	20,94	5,09	5,79	41,4	10,7	47,9	413,6	107,2	479,2
L. 2 0-30	3,50	34,99	5,12	5,88	43,0	12,4	44,6	430,3	123,9	445,9
L. 2 30-60	1,99	19,95	5,04	5,73	38,0	14,1	47,9	380,3	140,5	479,2
L. 3 0-30	3,19	31,88	4,60	5,28	49,7	12,4	37,9	497,0	123,9	379,2
L. 3 30-60	2,37	23,68	4,47	5,37	40,6	14,8	44,6	406,4	147,7	445,9
L. 4 0-30	2,36	23,55	4,66	5,84	48,0	10,7	41,3	480,3	107,2	412,5
L. 4 30-60	2,58	25,79	5,26	5,79	48,0	4,1	47,9	480,3	40,5	479,2
L. 5 0-30	1,77	17,71	5,54	6,12	64,7	7,4	27,9	646,9	73,9	279,2
L. 5 30-60	2,57	25,67	5,43	6,01	64,7	7,4	27,9	646,9	73,9	279,2
T. 1 0-30	3,49	34,86	4,05	5,12	47,3	11,4	41,3	473,1	114,4	412,5
T. 1 30-60	2,84	28,40	4,10	5,12	48,0	10,7	41,3	480,3	107,2	412,5
T. 2 0-30	3,65	36,48	4,45	5,55	79,7	7,4	12,9	796,9	73,9	129,2
T. 2 30-60	7,08	70,79	4,19	5,44	68,0	7,4	24,6	680,3	73,9	245,9
T. 3 0-30	2,75	27,53	4,34	5,25	78,0	7,4	14,6	780,3	73,9	145,9
T. 3 30-60	2,34	23,43	4,42	5,52	84,7	4,1	11,3	846,9	40,5	112,5
T. 4 0-30	2,23	22,31	4,34	5,12	76,4	9,1	14,6	763,6	90,5	145,9
T. 4 30-60	1,76	17,59	4,25	5,40	78,0	7,4	14,6	780,3	73,9	145,9
T. 5 0-30	3,50	34,99	4,10	5,05	68,0	7,4	24,6	680,3	73,9	245,9
T. 5 30-60	2,39	23,93	4,14	4,72	64,7	10,7	24,6	646,9	107,2	245,9

em que: Prof. (cm) = profundidade em centímetros, Mat. org.= matéria orgânica, Ph= potencial hidrogênio.

Fonte: laboratório de análise de solos da UFT (2012).

**Anexo 3: Modelo da Ficha de medição do Inventário Florestal**

MEDIÇÃO : _____ IDADE : _____ DATA: _____  Coordenadas UTM: _____; _____						
Parcela	Sub parcela	Árvore	DAC (cm)	DAP (Cm)	Ht (m)	Hc(m)
	1	1				
	1	2				
	1	3				
	1	4				
	2	5				
	2	6				
	2	7				
	2	8				
	3	9				
	3	10				
	3	11				
	3	12				
	4	13				
	4	14				
	4	15				
	4	16				

**Anexo 4: Coordenadas UTM das unidades amostrais**

PARCELA	UTM inicial Primeira árvore	UTM final Última árvore	Altitude
1	658133	8752440	191
2	658109	8752380	189
3	658017	8752300	194
4	657972	8752456	195
5	657970	8752318	203
6	657965	8752392	191
7	657971	8752458	190
8	657970	8752536	191
9	657984	8752743	190
10	657982	8752668	191
11	657979	8752742	193
12	657968	8752820	190
13	657938	8752900	191
14	658024	8752940	176
15	658064	8752948	187
16	658077	8752750	188
17	658098	8752668	187
18	658092	8752668	193
19	658086	8752712	194
20	658035	8752498	187
21	658095	8752542	192
22	658136	8752606	189
23	658181	875663	187
24	658232	875717	188