

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Tectona grandis* L.f EM UM
PLANTIO NO MUNICÍPIO DE ALTA FLORESTA – MT**

FABRICIA RODRIGUES DA SILVA

CUIABÁ/MT
2012

FABRICIA RODRIGUES DA SILVA

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Tectona grandis* L.f EM UM
PLANTIO NO MUNICÍPIO DE ALTA FLORESTA – MT**

Orientador: Prof.Dr. Versides Sebastião de Moraes e Silva

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais para obtenção do título de mestre.

CUIABÁ/MT
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586c Silva, Fabricia Rodrigues da.
Crescimento e Produção de *Tectona grandis* L. f em um
plântio no município de Alta Floresta - MT / Fabricia
Rodrigues da Silva. -- 2012
94 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Versides Sebastião de Moraes e
Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais,
Cuiabá, 2012.

Inclui bibliografia.

1. teca. 2. índice de produtividade. 3. modelagem

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

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e
Ambiental

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "Crescimento e produção de *Tectona grandis* L.f. em um plantio no município de Alta Floresta - MT"

Autora: Mestranda Fabricia Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Versides Sebastião De Moraes e Silva

Aprovada em 09 de maio de 2012.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr Roberto Chiaranda

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

Prof. Dr. Versides Sebastião De Moraes e Silva
Orientador- UFMT

Dedico

Aos meus pais, Sebastião e Marizete,
minhas irmãs Fran e Mari
e minha sobrinha Júlia, meu amores.

AGRADECIMENTOS

Minha família, pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Mato Grosso, em especial ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal.

Ao orientador, Prof. Dr. Versides Sebastião de Moraes e Silva, o meu reconhecimento e gratidão, por me orientar neste trabalho.

À Professora Me. Soely Ovidio de Miranda, por me auxiliar neste trabalho.

As amigas do Laboratório de Manejo Florestal, Bruna Ribeiro de Oliveira e Jeane Cabral da Silva, por me ajudarem na coleta e no processamento dos dados.

Aos colegas Almécio Santana Junior (*in memorian*) e Antônio Carlos Pedro Carneiro, pela colaboração na coleta dos dados.

A Professora Édila Cristina de Souza, do Departamento de Estatística, pela ajuda com os programas estatísticos.

À CAPES pela concessão da bolsa.

Aos colegas da Pós Graduação.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 <i>TECTONA GRANDIS</i> L.F.	16
2.2 RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS	18
2.3 VOLUME	19
2.4 ANÁLISE DE TRONCO	21
2.5 CRESCIMENTO E INCREMENTO	22
2.5.1 Crescimento Das Variáveis Dendrométricas: diâmetro, altura e volume ..	24
2.6 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS	25
2.7 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	26
2.8 CRESCIMENTO E 28PRODUTIVIDADE DA TECA	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO PLANTIO	31
3.1.1 Localização e Acesso	31
3.1.2 Caracterização Física	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PLANTIO	33
3.3 COLETA DE DADOS	34
3.3.1 Parcelas Permanentes	34
3.3.2 Cubagem	34
3.3.3 Análise Completa de Tronco	35
3.4 MÉTODOS	37
3.4.1 Relação Hipsométrica	37
3.4.2 Volume	38
3.4.3 Crescimento	39
3.4.4 Classificação de Sítio	40
3.4.5 Teste de Anamorfismo	42
3.4.6 Modelos de Crescimento e Produção	43
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS	45

3.6 Critérios de Avaliação e Escolha dos Modelos	45
3.6.1 Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2 Aj.).....	45
3.6.2 Erro Padrão da Estimativa	46
3.6.3 Coeficiente de Variação	46
3.6.4 Valor de F	46
3.6.5 Distribuição Gráfica dos Resíduos.....	47
3.6.6 Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQ).....	47
3.6.7 Erro Médio Absoluto (EMA)	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	48
4.2 Equação de Volume.....	50
4.3 Crescimento.....	53
4.3.1 Crescimento do Diâmetro	54
4.3.2 Crescimento em Altura.....	59
4.3.3 Crescimento do Volume.....	64
4.4 CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DO LOCAL	70
4.4.1 Teste de Anamorfismo	70
4.4.2 Ajuste dos Modelos Testados	71
4.5 MODELOS DE PRODUÇÃO TOTAL.....	76
4.5.1 Produção Presente em Volume (m^3/ha).....	76
4.5.2 Produção Futura em Volume (m^3/ha).....	78
4.5.3 Produção Presente em Área Basal (m^2/ha)	79
4.5.4 Produção Futura em Área Basal (m^2/ha)	80
5 CONCLUSÕES.....	86
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CURVA DE CRESCIMENTO ACUMULADO (A). CURVAS DE INCREMENTO CORRENTE (IC) E MÉDIO (IM) (B).....	23
FIGURA 2 – SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PARA COLETA DE DADOS PARA ANÁLISE DE TRONCO.....	36
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	49
FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA EQUAÇÃO DE VOLUME.....	52
FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELO DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO.	55
FIGURA 6 - CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA, MT.....	56
FIGURA 7 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DA TECA NA ÍNDIA, TAILÂNDIA, MALÁSIA, RORAIMA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT.....	57
FIGURA 8 – INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM DIÂMETRO POR IDADE, PARA TECTONA GRANDIS, ALTA FLORESTA, MT.....	58
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE CRESCIMENTO EM ALTURA.....	60
FIGURA 10 - CRESCIMENTO EM ALTURA DE <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA, MT.....	61
FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DE TECA NA ÍNDIA, TAILÂNDIA, MALÁSIA, RORAIMA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT..	62
FIGURA 12 - INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM ALTURA POR IDADE, PARA <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA-MT.....	64
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE CRESCIMENTO EM VOLUME.....	66
FIGURA 14 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA – MT.....	67
FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DO VOLUME DA TECA NA ÍNDIA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT.....	68

FIGURA 16 - INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM VOLUME POR IDADE, PARA <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA – MT.....	69
FIGURA 17 - RELAÇÃO LINEAR ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO E A ALTURA DOMINANTE NAS IDADES DE 3, 6, 9 E 12 ANOS.....	70
FIGURA 18 - RESÍDUO PERCENTUAL EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA OS 6 MODELOS TESTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA.....	72
FIGURA 19 - CURVAS LIMITE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE PARA O POVOAMENTO DE <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA – MT.....	74
FIGURA 20 - RESÍDUO GRÁFICO DA PRODUÇÃO PRESENTE EM VOLUME.....	77
FIGURA 21 - RESÍDUO GRÁFICO DA PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO EM VOLUME.....	79
FIGURA 22 - RESÍDUO GRÁFICO DA PRODUÇÃO EM ÁREA BASAL.....	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	38
TABELA 2 - MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	39
TABELA 3 – MODELOS AJUSTADOS PARA O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO, ALTURA E VOLUME.	40
TABELA 4 - MODELOS AJUSTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA PARA EXPRESSAR A CAPACIDADE PRODUTIVA DO LOCAL.....	41
TABELA 5 – MODELOS DE PRODUÇÃO PRESENTE E FUTURA EM VOLUME E ÁREA BASAL POR HECTARE.	44
TABELA 6 – MODELOS, COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS.....	48
TABELA 7 – MODELOS DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	50
TABELA 8 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO.....	54
TABELA 9 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO PARA <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA, MT.	57
TABELA 10 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES TESTADAS PARA AJUSTAR O CRESCIMENTO DA ALTURA.....	59
TABELA 11 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA <i>Tectona grandis</i> , NA ÁREA DE ESTUDO.....	62
TABELA 12 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES TESTADAS PARA AJUSTAR O CRESCIMENTO DO VOLUME.	65
TABELA 13 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM VOLUME PARA <i>Tectona grandis</i> , ALTA FLORESTA - MT.....	68
TABELA 14 - PARÂMETROS ESTIMADOS PARA RELAÇÃO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE – ALTURA DAS ÁRVORES DOMINANTES PARA DIFERENTES IDADES.....	71
TABELA 15 - OS COEFICIENTES, AJUSTE (R^2_{AJ}), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV%), S_{YX} , F, ERRO MÉDIO E DESVIO DOS RESÍDUOS PARA CADA EQUAÇÃO.....	71
TABELA 16 - VALORES ENCONTRADOS PARA O CÁLCULO DOS LIMITES INFERIORES E SUPERIORES.	73

TABELA 17 - CLASSES DE SÍTIOS COM SEUS LIMITES, INFERIOR (LI), SUPERIOR (LS) E VALOR DO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE PARA A IDADE DE REFERÊNCIA DE 7 ANOS.....	74
TABELA 18 – VALORES DAS CURVAS DE ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE...	75
TABELA 19 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.....	77
TABELA 20 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.....	78
TABELA 21 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.....	79
TABELA 22 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO DE ÁREA BASAL FUTURA.....	81
TABELA 23 – PRODUÇÃO EM ÁREA BASAL PARA TECTONA GRANDIS EM ALTA FLORESTA – MT, PARA CLASSE DE PRODUTIVIDADE I, II, III E IV. .	83
TABELA 24 – PRODUÇÃO EM VOLUME PARA AS CLASSES DE PRODUTIVIDADE I, II, III e IV, NA ÁREA DE ESTUDO.....	83

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais
Universidade Federal de Mato Grosso

Crescimento e Produção de *Tectona grandis* L.f em um plantio no município de Alta Floresta, Mato Grosso.

Autora: Fabricia Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Versides Sebastião de Moraes e Silva

Cuiabá, 09 de maio de 2012.

Este estudo foi desenvolvido com objetivo de avaliar o desenvolvimento e a produção da espécie mediante o comportamento das variáveis diâmetro, altura e volume ao longo do período de 1998 a 2011; efetuar a classificação de produtividade do local (sítio) aplicando o método da curva média na idade de referência de 84 meses. Ajustar um modelo de produção em um plantio de teca (*Tectona grandis*) no município de Alta Floresta – MT. Foram utilizados dados oriundos de parcelas permanentes, cubagem e análise de tronco completa. Foram ajustados modelos hipsométricos, volumétricos, para estimar o crescimento das variáveis dendrométricas, elaboração de curvas de índice de sítio, e determinação da produção total em volume e área basal pela aplicação do modelo proposto por Beck e Della-Bianca. Como resultados obtidos neste trabalho têm-se: a equação de Prodan para explicar a relação altura e diâmetro; para estimar o volume a equação selecionada foi a de Shumacher-Hall, para gerar as curvas de classificação da produtividade o modelo de Schumacher foi o que apresentou o melhor desempenho. O teste de anamorfismo para o modelo selecionado demonstrou que a base de dados segue um padrão anamórfico. Após o ajuste e análises de precisão, o modelo de Beck e Della-Bianca mostrou-se eficiente na projeção das variáveis área basal e volume do povoamento. Diante dos resultados obtidos da análise de crescimento e produção pode-se inferir que a espécie, no local estudado, tem incrementos que são compatíveis quando comparados com outras regiões, o que permite concluir que o seu desenvolvimento é plenamente viável para a região.

Palavras – chave: teca, índice de produtividade, modelagem florestal.

ABSTRACT

**Master's Dissertation
Environmental and Florestal Sciences Post-Graduation Program
Federal University of Mato Grosso**

Growing and Production of *Tectona grandis* L.f in a plantation in Alta Floresta city, Mato Grosso.

Main Autor: Fabricia Rodrigues da Silva
Advisor: Prof. Dr. Versides Sebastião de Moraes e Silva
Cuiabá, April 17, 2012.

This study aimed to evaluate the growing and production of species by the behavior of the variables diameter, high and volume along the period from 1998 to 2011; to classificate the local productivity by aplying the medium curve method in the reference age of 84 months; and to adjust a growing and production model in a plantation of teak (*Tectona grandis*) in Alta Floresta city – MT. They were used data from permanent plots, scaling and complete stem analysis. They were adjusted hipsometric and volumetric models to estimate the growing of dendometric variables, to elaborate site index curves and to determine the total production in volume and basal area by applying Beck and Della-Bianca's model. As final results, there are the Prodan equation, to explain the ratio between high and diameter; Schumacher-Hall's equation, which was selected to estimate the volume; and Shumacher's model, which presented the best performance to generate the classification curves for productivity. Anamorphism test demonstrated that the data basis follow an anamorphic pattern. After the adjustment and accuracy analysis, Beck and Della-Bianca's model was efficient in projecting the variables basal area and population volume. Considering the results for growing and production analysis, it can be deduced that the studied species has increments which are compatible when compared to other regions, allowing to coclude that its development is fully viable to this region.

Keywords: teak, productivity index, forest modelling.

1 INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas brasileiro apresenta um grande potencial de crescimento, por apresentar menor custo e ciclo de produção, e maior produtividade, ativos menos sujeitos às oscilações do mercado financeiro, aspectos extremamente valorizados. O Brasil soma vantagens competitivas sobre outros países no setor florestal devido às suas condições naturais favoráveis, avanços científicos e empreendedorismo, resultando num alto potencial de crescimento (AMATA, 2009).

Uma espécie que tem se destacado no setor florestal, principalmente no mercado externo, é a teca (*Tectona grandis*). No Brasil ela é plantada em escala comercial nos estados do Mato Grosso, Amazonas, Acre e Pará. A madeira da espécie é utilizada principalmente na indústria naval, construção civil e indústria moveleira na fabricação de assoalhos e de decks. Em relação a 2009, a área de plantios florestais com Teca no Brasil aumentou 0,3%, totalizando 65.440 ha (ABRAF, 2011). Em Mato grosso a área plantada é de 48.526,2 há, e se encontra distribuída em 42 municípios (SHIMIZU *et al.*, 2007).

Contudo, para implantação de povoamento homogêneos, deve-se priorizar áreas onde o risco seja mínimo e considerar a análise de pelo menos, quatro aspectos básicos da atividade florestal tais como: determinação das classes de produtividade; relações hipsométricas; equações de volume; prognose da produção total. (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

A quantificação e a predição do crescimento e da produção dos povoamentos florestais são essenciais para definir a utilização dos produtos madeireiros da floresta, além de fornecer informações que subsidiarão a tomada de decisão para a maioria das atividades ligadas ao setor, como determinação da idade ótima de colheita e simulação do efeito de práticas silviculturais, como o desbaste (GUIMARÃES, 1994).

Os reflorestamentos com teca em Mato Grosso foram implantados com a promessa de obter uma matéria prima florestal de qualidade e de alto valor comercial, com rotações mais curtas que as praticadas no sudeste Asiático. Porém a pouca informação existente sobre o comportamento da

espécie no Estado e a falta de adoção de práticas silviculturais corretas podem implicar em frustrações quanto ao incremento da espécie.

Nota-se a necessidade de estudos para avaliação do crescimento e rendimento em regime de curta rotação, assim como estudos sobre as condições do plantio, com destaque para desbaste e desrama e a viabilidade econômica da espécie.

Embora no Brasil tenha se estudado a modelagem do crescimento e da produção, se nota que existe uma carência de informações sobre o comportamento da espécie estudada, pois a maioria dos trabalhos refere-se à teca jovem, com idades inferiores a 10 anos.

Diante desta constatação e da importância da espécie, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o desenvolvimento da espécie e estimar a produção de *Tectona grandis* Linn f. em um plantio localizado no município de Alta Floresta – MT.

Os objetivos específicos foram:

- Estimar o crescimento das variáveis dendrométricas: diâmetro, altura e volume;
- Efetuar a classificação da produtividade do local;
- Avaliar o crescimento e a produção presente e projetar a produção futura em área basal e volume.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *TECTONA GRANDIS* L.F.

A espécie *Tectona grandis* Linn. f., pertence à família Lamiaceae, segundo AN UPDATE OF THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP CLASSIFICATION FOR THE ORDERS AND FAMILIES OF FLOWERING PLANTS: APG II (2003). O nome *Tectona* é originário da palavra portuguesa teca, que é derivado do grego tekton, significando carpinteiro. *Grandis*, em Latim possui o significado de grande, nobre. Assim sendo, surgiu o nome dessa espécie, cuja tradução significa: o maior orgulho dos carpinteiros (TEWARI, 1999). Ocorre naturalmente nas latitudes de 23° a 10° N, no sudeste da Ásia, em uma área que abrange a maior parte da Península da Índia, grande parte do Myanmar, e parte de Laos e Tailândia. (WEAVER, 1993).

Árvore de grande porte, chegando até 30 metros de altura, muitas vezes com formação de sulco na base (BEBARTA, 1999), apresenta tronco geralmente cilíndrico e frequentemente bifurcado, casca mole que atinge 15 mm de espessura, desprendendo geralmente em longas faixas verticais e tem sabor amargo (LAMPRECHT, 1990).

As folhas da teca são opostas, elípticas ou obovadas, coriáceas e ásperas ao tato, base arredondada, pecíolos curto e robusto, ápice e base agudos. As folhas, em média, possuem 20 a 50 centímetros de comprimento e 15 a 40 centímetros de largura (BEBARTA, 1999).

Suas flores são monoicas, brancas e pequenas, dotadas de pecíolos curtos, dispostas em grandes e eretas inflorescências do tipo panícula; são recobertas por pelos finos, tendo um cálice de cor cinza-pálido, com seis lóbulos. Abrem poucas horas depois do amanhecer e o melhor período para a polinização ocorre entre as 11:30 h e 13:00 h. (WEAVER, 1993).

Na madeira da teca são visíveis às marcas do seu crescimento. As diferenças em tamanho, forma e espessura da parede celular precoce e tardia produzem os anéis de crescimento. A largura dos anéis depende das condições de crescimento, sendo que na teca 2 a 5 anéis por cm são considerados ideais. O cerne mostra uma cor amarelo dourado denso e escuro,

é extremamente durável, não deforma ou racha. O albarno aparece no anel externo do cerne e é de cor esbranquiçada. A durabilidade dessa madeira é de considerável interesse para os reflorestadores (BEBARTA, 1999).

A madeira de *Tectona grandis* é de elevado valor e procura no mercado internacional, representando uma combinação de beleza, estabilidade, durabilidade e resistência. É muito utilizada na construção naval, construção de móveis, estruturas, pisos, chapas, painéis, postes e dormentes, mas, especialmente, na produção de peças nobres e móveis finos devido a sua resistência a ação do sol, calor, frio, água de chuva e do mar, além de ser facilmente trabalhada (GOMES, 2002).

A espécie tolera uma grande variedade de climas, porém cresce melhor em condições tropicais moderadamente úmidas e quentes. Grande parte da área de distribuição natural da teca se caracteriza por climas do tipo monzonal, com precipitação entre 1.300 e 2.500 mm por ano e estação seca de 3 a 5 meses. Porém, a espécie suporta precipitações baixas de 500 mm/ano até altas intensidades pluviométricas de até 5.100 mm/ano; seu melhor desenvolvimento ocorre em regiões onde a temperatura mínima varia de 13°C a 17 °C e máxima entre 39°C a 43 °C. (WEAVER, 1993; PANDEY & BROWN, 2000).

Kaosa-Ard (1983) aponta que as geadas representam um dos mais importantes fatores limitantes à distribuição da teca. As geadas afetam tanto as mudas quanto as árvores jovens ou adultas. Os principais prejuízos acontecem nas partes suculentas do meristema apical, gemas, folhas, casca e câmbio jovem. Weaver (1993) aponta que regiões de relevo acidentado, solos com problemas de drenagem e altitudes maiores de 1000 metros também influenciam o desempenho da espécie de forma negativa.

A teca é uma espécie florestal exigente por luz e não tolera a sombra ou supressão da luz em qualquer fase de ciclo de vida. Para alcançar um adequado desenvolvimento, requer que não ocorra impedimento de luz sobre sua copa (PANDEY & BROWN, 2000).

A espécie se adapta em uma grande diversidade de solos, porém, o desenvolvimento é melhor em solos profundos, bem drenados e férteis, especialmente em solos aluviais de diversas origens. O potencial hidrogeniônico (pH) ótimo do solo deve variar entre 6,5 a 7,5. A disponibilidade de cálcio é

também um fator limitante, visto que a falta de cálcio traduz-se em raquitismo das árvores (CHAVES & FONSECA, 1991; KRISHNAPILLAY, 2000).

Devido às raízes serem sensíveis à deficiência de oxigênio, a espécie se desenvolve melhor em solos com boa aeração. Esta característica de alta demanda por oxigênio leva a espécie a concentrar entre 65% a 80% de sua biomassa radicular fina nos primeiros 30 cm de solo, com a maior concentração entre 10 e 20 cm (WEAVER, 1993; KRISHNAPILLAY, 2000).

2.2 RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS

A altura constitui-se em uma importante variável da árvore que pode ser medida diretamente ou estimada. Nos métodos estimativos, a altura também entra como uma variável independente nas tabelas de volume, funções de afilamento e em algumas outras relações dendrométricas (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Em inventários florestais, que se adota o uso de parcelas de área fixa permanente, normalmente mede-se todas as circunferências e certo número de alturas representativas em cada parcela. Isto porque a medição de todas as alturas eleva o custo, sem acrescentar maiores vantagens comparativas do ponto de vista de precisão, devido à fadiga, erro de medição com instrumentos hipsométricos, dentre outros (HOSOKAWA *et al.*, 1998). Segundo Scolforo (1997), a relação hipsométricas é uma opção de trabalho controvertida, mas de grande significado prático.

Ao empregar equações de volume ou de taper em áreas extensas de povoamentos equiâneos ou inequiâneos, é necessário estimar as alturas das árvores por meio de equações específicas, ajustadas com base de dados disponíveis a partir de modelos usualmente denominados hipsométricos (CAMPOS & LEITE, 2006).

A vantagem do uso das relações hipsométricas é que não precisa saber a idade das árvores, ou do povoamento, e tão pouco a qualidade de sítios. Assim como as equações de volume, se faz necessário também que ajuste várias relações hipsométricas para uma determinada base de dados, a fim de conseguir encontrar um modelo que consiga captar o máximo da relação diâmetro/altura, e posteriormente estimar com certa precisão a altura das

demais árvores do povoamento, no qual foi medido apenas o diâmetro (MIGUEL, 2009).

Muitos estudos foram realizados a fim de selecionar uma equação que melhor descrevesse a altura em relação ao diâmetro, encontram-se descritos na literatura (BATISTA *et al.*, 2001; CALDEIRA *et al.*, 2002; SOARES *et al.*, 2004; DRESCHER, 2004; TONINI & SCHWENGBER, 2006; MACHADO *et al.*, 2008; CABACINHA, 2003; MIGUEL, 2006). 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.

2.3 VOLUME

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais (MACHADO *et al.*, 2002).

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais, em se tratando de povoamentos destinados para fins comerciais (MACHADO & FIGUEIREDO FILHO, 2006).

O desenvolvimento de modelos volumétricos tem por objetivo utilizar recursos matemáticos para analisar cubagens de árvores, de modo que estas tenham suas formas naturais comparadas a sólidos geométricos de revolução para que seus volumes sejam determinados (FINGER, 1992).

Entende-se a cubagem como sendo a medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco da árvore, dividindo-o em seções, é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários (Belchior, 1996).

Segundo Campos & Leite (2006), na mensuração das seções das árvores a serem cubadas, deve-se: medir sempre o DAP e a altura total; as seções devem iniciar o mais próximo possível do solo, normalmente em torno de 5 cm; o comprimento das seções deve ter entre 1 metro e 2 metros, de maneira a controlar o efeito da conicidade do fuste e garantir que as seções sejam regulares. Quando se pretende o volume total, na última seção (ponta da

árvore) deve ser calculado como se fosse um cone e, quando se pretende obter o volume comercial, a última seção da árvore pode ter seu volume obtido pela fórmula normal selecionada.

Segundo Machado & Figueiredo Filho (2006), no Brasil, a fórmula de Smalian tem sido tradicionalmente a mais usada nos levantamentos florestais, normalmente empregando-se seções curtas até 2 m de altura e seções de 1 m ou 2 m no restante do tronco, mais pela praticidade de emprego que por questões de acuracidade.

As estimativas de volume podem ser realizadas por meio de funções de volume de árvore, com modelos de simples, dupla e tripla entrada, e o procedimento pode seguir várias metodologias. A equação de volume para árvores individuais é a mais utilizada (SCOLFORO, 1998).

O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro a altura do peito (DAP com casca) e a altura total (H) ou altura comercial. Uma terceira variável independente que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma (MACHADO *et al.*, 2002).

Muitos modelos matemáticos foram criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar de o uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor desempenho para todas as espécies e condições. Por isto, é recomendável testar vários deles para, através de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso (MACHADO *et al.*, 2002).

Dentre os autores que ajustaram equações de volume de simples e dupla – entrada encontra-se descritos na literatura (HIGUCHI *et al.*, 1979; DRESCHER, 2004; TONINI & SCHWENGBER, 2006; COLPINI *et al.*, 2009; TONINI *et al.*, 2009; MIGUEL, 2009). O modelo de Schumacher foi o mais utilizado para o ajuste das equações de volume.

2.4 ANÁLISE DE TRONCO

Barusso (1977) define análise de tronco como o levantamento de certo número de secções transversais retiradas do tronco de uma árvore, para determinar seu crescimento e qualidade, em diferentes períodos ao longo de sua vida. Prodan *et al.* (1997) considera que o caminho mais direto e preciso para estudar o desenvolvimento de uma árvore, determinar seu crescimento e investigar suas diferentes relações é realizando a análise de tronco.

A técnica de análise de tronco possibilita que seja feito o registro do crescimento passado de uma árvore mediante a contagem e a medição dos anéis de crescimento de seções transversais tomadas a diversas alturas ao longo do fuste, permitindo que, ao analisar uma árvore adulta, seja reconstituído todo o passado desta e conseqüentemente de um povoamento (CAMPOS & LEITE, 2002).

Barusso (1977) elaborou os passos básicos para se chegar a uma análise de tronco completa, sendo: a) escolha da árvore a ser analisada; b) marcação da árvore; c) derrubada da árvore; d) marcação das fatias a serem extraídas do tronco; e) extração das fatias; f) transporte das fatias; g) secagem das fatias; h) marcação das fatias; i) medição das fatias; j) cálculo do DAP, área transversal, altura, volume, fator de forma, cada item por idade, assim como o cálculo do ICA e do IMA de cada variável; l) quadro-resumo dos resultados; m) gráfico dos resultados; n) análise dos resultados.

O uso dessa técnica substitui até certo ponto a obtenção de dados levantados pelo emprego de parcelas permanentes, podendo ser utilizados em estudos de crescimento e produção florestal, sendo sua limitação ao uso restrito a espécies cujos anéis de crescimento são anuais e bem distintos (CAMPOS & LEITE, 2006).

Em Mato Grosso o trabalho pioneiro com análise de tronco foi realizado em 1979 pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, sob a coordenação do professor Niro Huguchi com a espécie *Tectona grandis* no Alto Jauru, município de Mirassol do Oeste, obtendo resultados satisfatórios com a utilização do método.

2.5 CRESCIMENTO E INCREMENTO

O crescimento é o incremento gradual de um organismo, população ou objeto em um determinado período de tempo. O crescimento acumulado para uma idade determinada representa o rendimento nessa idade. O crescimento das árvores é influenciado por suas características genéticas e sua inter-relação com o meio ambiente, como os fatores climáticos e do solo, características topográficas, cuja soma representa a qualidade do local. (PRODAN *et al.*, 1997).

Spathelf & Nutto (2000) citam que o crescimento se refere ao acréscimo nas dimensões de (altura, diâmetro, área basal, volume) ou no valor de um sistema orgânico (árvores individuais ou povoamentos), enquanto a produção é relacionada ao seu tamanho final após um período definido de observação.

A curva ideal de crescimento mostra um aumento progressivo e uma diminuição depois de um ponto de inflexão. O crescimento e o incremento são ligados matematicamente: se y for o crescimento, a derivação dy/dt é o incremento. Assim o modo, inverso a integral da função de incremento corrente anual, fornece a função de produção em volume (SCOLFORO, 1990).

O estudo do crescimento possibilita conhecer o potencial de produção florestal de um determinado sítio e com isso, a tomada de decisões sob vários aspectos para o atendimento da demanda do mercado (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

Os parâmetros de medição do crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume de uma árvore, apresentam comportamento semelhantes ao longo do tempo. Em forma gráfica parece a uma curva sigmoidal, em que a primeira fase corresponde a idade juvenil, a segunda a idade madura e a terceira a idade senil. Cada fase mantém um ritmo de crescimento característico da vida total da árvore e juntos eles formam a curva de crescimento (IMANÃ-ENCINAS *et al.*, 2005).

Assman (1970) ao descrever as curvas de incrementos corrente e médio, conforme ilustrado na Figura 1b, destaca três fases naturais de crescimento que são de extrema importância para o estudo da produção florestal. A primeira fase, a qual corresponde a um aumento no incremento

corrente (IC) até um ponto de máximo. A segunda fase que corresponde, segundo o autor, à fase de maior vigor ou maturidade. Inicia-se no ponto de máximo incremento corrente (que também ocorre no ponto de inflexão da curva de produção) e termina no ponto de máximo incremento médio (IM). A partir do ponto de máximo incremento médio, tanto a curva de IC quanto IM, são decrescentes, caracterizando a terceira fase de crescimento denominada de senescência ou declínio.

Verifica-se na Figura 1b que os incrementos corrente (IC) e médio (IM) se igualam em um determinado ponto no tempo (no caso de florestas equiâneas), definindo a idade técnica de colheita ou corte (ITC). Esta idade refere-se ao ponto de tangência de uma reta partindo da origem sobre a curva de produção (CAMPOS & LEITE, 2002).

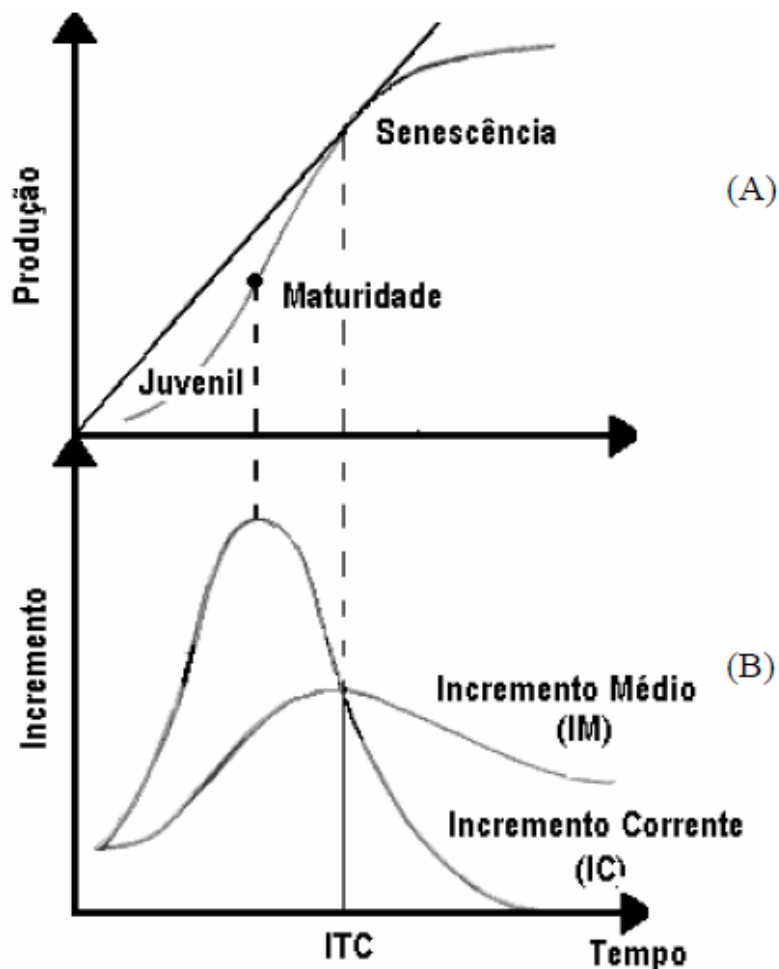


FIGURA 1 - CURVA DE CRESCIMENTO ACUMULADO (A). CURVAS DE INCREMENTO CORRENTE (IC) E MÉDIO (IM) (B). FONTE: ASSMAN (1970). Adaptada por DEMOLINARI (2006).

2.5.1 Crescimento Das Variáveis Dendrométricas: diâmetro, altura e volume

O crescimento das árvores consiste da alongação e aumento da espessura das raízes, troncos e galhos, provocando mudanças em termos de tamanho e forma. O crescimento linear (alongação) de todas as partes da árvore resulta da atividade do meristema primário, enquanto que o crescimento em diâmetro é uma consequência da atividade do meristema secundário ou câmbio (HUSCH *et al.*, 1982).

Em uma população florestal o crescimento em altura das árvores depende de vários fatores, dentre eles: o genótipo; também é influenciada pelo sítio, ou seja, quanto mais inclinada a curva de produção em altura, maiores serão os valores de incremento corrente anual – ICA_H e mais cedo estes ocorrerão; outro fator que influencia o crescimento em altura é o espaçamento, o máximo ICA_H ocorrerá mais cedo em espaçamentos menores; a posição do povoamento também deve ser analisado, se a planta está sombreada a culminação do ICA_H será mais tardia (SCOLFORO, 1998).

As curvas de crescimento e incremento do diâmetro são do mesmo tipo que as de altura. Se a culminação do incremento do diâmetro ocorre cedo ou mais tarde, depende dos mesmos fatores que a culminação do incremento da altura. Porém, a influência do espaçamento é muito mais significativa no crescimento do diâmetro que da altura. Geralmente o incremento do diâmetro culmina mais tarde que o da altura (BURGER, 1976).

O crescimento em volume se refere ao aumento do volume em um determinado período de tempo, e está alicerçado nos crescimentos em diâmetro e altura e na forma do fuste (IMANÃ-ENCINAS *et al.*, 2005). É muito influenciado pela densidade, assim como pelos demais fatores já mencionados para diâmetro e altura. De maneira geral a culminação do ICA_G (Incremento Corrente Anual em Área Basal), ocorre mais cedo que o ICA_V (Incremento Corrente Anual em Volume) (SCOLFORO, 1998).

É importante ressaltar que o cruzamento das curvas de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) é um ponto de referência que tem servido como base de manejo, por exemplo, para efetuar os desbastes, já que, este ponto representa a máxima produção em volume, e define a rotação silvicultural. Em contrapartida a este raciocínio existe uma

linha de manejo para o qual este ponto é irrelevante e, portanto, o manejo de plantações deve ser conduzido de tal maneira que se obtenham multiprodutos em quantidades apropriadas, de maneira economicamente eficiente e sem detrimento das condições ambientais (SCOLFORO, 1990).

Existem muitas maneiras de representar o crescimento de uma árvore. Dentre elas, o incremento corrente anual (ICA), o incremento médio anual (IMA), o incremento periódico anual (IPA) (FINGER, 1992).

2.6 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.

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.

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 as 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 ou índices de produtividade são construídas a partir de equações de índices do 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 e a variável independente idade de referência (CAMPOS & LEITE, 2002).

A identificação da curva da altura sobre a idade, referenciada à altura na idade índice, define os índices de produtividade. Da mesma forma, a relação altura/idade poderia ser identificada por números romanos (I, II, III, respectivamente, indicando do melhor ao pior sítio), dando origem às classes de sítio ou de produtividade (BURGER, 1976).

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 a altura depende dos fatores de sítios; sendo assim, se faz necessário conhecer o comportamento dos dados com a realização de teste do anamorfismo. Esse 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 (com dois e três coeficientes), Backman e os modelos de Clutter-Jons (SELLE, 1993).

Dentre os trabalhos realizados com a *Tectona grandis* encontram-se descritos na literatura mais recente; Gomes (2002); Drescher (2004); Figueiredo (2005); Passos *et al.* (2006); Cruz *et al.* (2008); Bezerra (2009); Novaes (2009); Tonini *et al.* (2009); Silva (2010).

2.7 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Uma maneira lógica de expressar o crescimento ou incremento (acréscimo do elemento dendrométrico considerado) e a produção florestal

(crescimento acumulado) é através de um modelo, sendo que este pode ser caracterizado por gráficos, tabelas, equação ou um conjunto de equações, ou ainda, um conjunto de sub-modelos cada qual com uma ou mais combinações (SCOLFORO, 1998).

Segundo Clutter *et al.* (1983), os modelos variam consideravelmente em função dos detalhes ou dos dados incluídos em sua projeção. Quando apenas um produto é envolvido, como volume para celulose, uma predição simples em termos de toneladas ou m^3 pode ser suficiente. Portanto, os modelos que estimam o volume ou outra medida por unidade de área, sem produzir informação sobre a estrutura do povoamento, são denominados de modelos do tipo povoamento total ou globais, também classificados como sistemas de produção explícitos.

Os estudos de crescimento e produção até 1962 foram desenvolvidos sem que fosse observado o princípio de compatibilidade entre eles, ou seja, os modelos de crescimento eram desenvolvidos independentemente dos modelos de produção. Estudos desenvolvidos por Buckman e Clutter resolveram o problema de incompatibilidade dos modelos com o uso do cálculo integral e do cálculo diferencial, ou seja, fazendo a primeira derivada do modelo de produção se obteve o modelo de crescimento e, com o processo inverso, a integral do modelo de crescimento se obteve o modelo de produção (MORAES e SILVA, 1999).

SULLIVAN & CLUTTER (1972) aperfeiçoaram o modelo desenvolvido por CLUTTER (1963), o que permitiu obter simultaneamente resultados consistentes do crescimento e da produção em termos analíticos e numéricos. Dando sequência a estes estudos muitos pesquisadores que aplicaram os modelos desenvolvidos por CLUTTER (1963), provocaram modificações e desenvolveram outros como nos trabalhos de BECK e DELLA-BIANCA (1972), que apresenta equações de predição do crescimento da área basal, volume e produção para povoamentos desbastados com vários níveis de área basal.

2.8 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA TECA

Chavez e Fonseca (1991) observaram que a teca tem um crescimento rápido na fase inicial, seguido por uma fase de crescimento médio, a partir da qual este tende a diminuir. Segundo Lamprecht (1990) o incremento na fase juvenil é muito acelerado; 3m de incremento em altura nos dois primeiros anos e alturas de 5m após 5 anos não costumam exceção.

Weaver (1993) descreve que o incremento médio anual da teca geralmente é relatado entre 10 e 25 m³/ha/ano. Este mesmo autor observa que o crescimento em altura da teca diminui mais rapidamente no neotrópico do que nas áreas onde a espécie é nativa.

Nas melhores terras em Mianmar e Índia, plantações de 50 anos têm alturas 30 m e diâmetros de 60 cm a altura do peito. Em condições favoráveis no início do seu ciclo de vida, uma plantação pode alcançar taxas de crescimento entre 10 e 20 m³/ha/ano (KRISHNAPILLAY, 2000). No entanto, o crescimento diminui até o nível geral de 4 m³ a 8 m³/ha/ano, quando o plantio tem mais idade (HTWE, 1999; CAO, 1999).

A produção de teca na Índia, calculado a partir de tabelas de rendimento, o incremento médio varia de 9,5 a 8,3 m³/ha/ano nos melhores sítios e de 2,2 a 1,6 m³/ha/ano nos piores sítios, numa rotação de 50 anos (BEBARTA, 1999). Em um experimento em Kerala, onde se desenvolveu um simulador de crescimento para plantios de teca, cujo nome é Planner Teca, as projeções encontradas é de que aos 70 anos a teca tenha um incremento médio anual de 10,87 m³/ha/ano em sítios de alta qualidade (JAYARAMAN, 2010)

Em sítios de produtividade média, o incremento médio anual máximo encontrado para Costa do Marfim foi de 12,2 m³/ha/ano e incremento médio anual aos 50 anos de 7,5 m³/ha/ano; na Indonésia o incremento médio anual máximo encontrado foi de 14,4 m³/ha/ano e incremento médio anual aos 50 anos de 13,8 m³/ha/ano; em Myanmar o incremento médio anual máximo encontrado foi de 12,5 m³/ha/ano e incremento médio anual aos 50 anos de 8,7 m³/ha/ano; na Nigéria o incremento médio anual máximo pode chegar a 18,5 m³/ha/ano (PANDEY & BROWN, 2000).

Keogh (1979) estudando o futuro da teca na América Tropical, obteve para El Salvador incremento médio anual para a classe IV de 3 m³/ha na idade de 5 anos e 3 m³/ha aos 20 anos, já na classe I o IMA obtido aos 5 anos foi de 7 m³/ha e de 16 m³/ha aos 20 anos.

Na Jamaica o IMA foi de 3 m³/ha aos 5 anos e de 4 m³/ha aos 20 anos na classe IV, na classe I os resultados para IMA foram: 7 m³/ha aos 5 anos e de 16 m³/ha na idade de 20 anos (KEOGH, 1979).

Em Trinidad e Tobago para a classe IV, obteve-se incremento médio anual de 3 m³/ha aos 10 anos e de 4 m³/ha aos 20 anos, para a classe I tem-se: 7 m³/ha aos 5 anos e 16 m³/ha na idade de 20 anos (KEOGH, 1979).

Em Porto Rico há sítios com IMA em volume total de 8 a 12 m³/ha/ano, em rotação de 50 a 80 anos (FRANCIS *et al.*, 1995).

Segundo a FAO (1977) há uma forte semelhança no crescimento e rendimento das plantações de teca em El Salvador, Trinidad e Tobago e Jamaica. Keogh (1979 e 1980) relatou para El Salvador um IMA em volume total de 17 m³/ha/ano em sítios excelentes e de 3 m³/ha/ano em sítios de baixa qualidade, aos 10 anos. Em Trinidad e Tobago e Jamaica, os melhores sítios apresentaram um IMA em volume maior que 16 m³/ha/ano e de apenas 3 e 2 m³/ha/ano em locais de baixa produtividade com 10 anos de idade.

Na Guatemala, Padilla Mena (1977) relatou um IMA do DAP de 2,33 cm/ano e a altura total de 1 m/ano na costa sul. Em outro estudo de crescimento e produtividade em plantações de teca na Guatemala na idade de 10 anos, foi encontrado para volume um incremento médio anual de 2,33 m³/ha/ano em classes de baixa produtividade e de 29,36 m³/ha/ano, para classes de excelente produtividade; quanto a área basal o incremento médio anual foi de 0,75 m²/ha/ano nas classes de baixa produtividade e de 3,95 m²/ha/ano para classes de excelente produtividade (VAIDES *et al.*, 2004).

Mollinedo Garcia (2003) obteve incremento médio anual em altura para teca no Panamá, com valores de 1,8 m/ano para sítios de baixo crescimento e de 3,72 m/ano para os melhores sítios; incremento médio anual em DAP de 1,99 cm/ano para sítios inferiores e de 3,67 cm/ano para sítios superiores; incremento médio anual em área basal de 0,47 m²/ha para sítios de baixo crescimento e de 0,95 m²/ha para sítios de alto crescimento; incremento

médio anual em volume de 3,44 m³/ha para sítios inferiores e de 11,93 m³/ha para os melhores sítios, aos 10 anos de idade.

Em Mato Grosso, os maiores incrementos médios anuais foram verificados nos municípios de São José dos Quatro Marcos (28,43 m³/ha/ano), Aripuanã (25,66 m³/ha/ano), Brasnorte (25,61 m³/ha/ano) e Cotriguaçu (23,75 m³/ha/ano), que se localizam em regiões de altitude de até 354 m, em solos dos tipos AV (Argissolo Vermelho), AVA (Argissolo Vermelho Amarelo), LV (Latosolo Vermelho) e LVA (Latosolo Vermelho Amarelo). Praticamente todas as faixas de precipitação média anual observadas no Estado de Mato Grosso mostraram-se favoráveis ao desenvolvimento da teca, com incrementos médios anuais de até 25 m³/ha/ano em locais com precipitação média anual variando de 1.200 mm até 2.400 mm (SHIMIZU *et al.*, 2007).

Drescher (2004) estudando o crescimento de teca em Mato Grosso obteve para plantios de 10 anos de idade ICA de 4,9 m³/ha e IMA de 6,5 m³/ha/ano nas classes menos produtivas, já nas melhores classes o ICA encontrado foi de 18,8 m³/ha e IMA de 26 m³/ha/ano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO PLANTIO

3.1.1 Localização e Acesso

A área do reflorestamento com a *Tectona grandis* L.f, objeto do presente estudo, situa-se no Município de Alta Floresta região norte do estado de Mato Grosso. A localização geográfica está entre as coordenadas 10° 02' 51" S e 56° 20' 18" W.

3.1.2 Caracterização Física

O clima da região é caracterizado por duas estações, sendo uma seca e outra chuvosa. A estação seca ocorre entre os meses de maio e setembro e a chuvosa entre os meses de outubro e abril. A temperatura média anual de 24° a 26°C e média máxima de 38° a 40°C (BRASIL, 1980).

A altitude não chega a influenciar nas temperaturas, sendo estas mais ou menos uniformes na região, mas o relevo pelo acúmulo de umidade e de material nas áreas deprimidas pode favorecer o estabelecimento de uma vegetação mais densa nas encostas.

Quanto às condições pluviométricas a região tem seu centro chuvoso com média anual de 2700 mm na confluência dos Rios Juruena e Teles Pires. O clima da região é caracterizado por duas estações, sendo uma seca e outra chuvosa. A estação seca ocorre entre os meses de maio e setembro e a chuvosa entre os meses de outubro e abril, caracterizando um regime monçônico (BRASIL, 1980).

A propriedade fica na bacia Rio Teles Pires que é o principal curso d'água da região. Na área do projeto são presentes pequenos cursos d'água sem denominação, sendo todos pertencentes à bacia do Rio Teles Pires.

A formação geológica da região é Pré-Cambriano Superior e Pré Cambriano Superior Médio a Superior, e na sua grande maioria formada pela

unidade do Complexo Xingú e, uma parte menor próximo ao Rio Teles Pires, pelo Grupo Beneficente (BRASIL, 1980).

Brasil (1980) descreveram a característica geomorfológica regional, como pertencente a secção Teles Pires - Aripuanã que estende da margem esquerda do Rio Teles Pires até o Rio Aripuanã. É dada pela homogeneidade topográfica, pela dissecação predominante tabular (t) e pelo padrão geral de drenagem subdendrítico.

O planalto encontra-se, na sua maior parte, composto por sedimentos permocarboníferos, porém no interflúvio Teles Pires-Peixes, afloram arenitos pré-cambriano da Formação Dardanelos.

Esta unidade geomorfológica é denominada de Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, que é a unidade mais extensa da área. Trata-se de uma superfície rebaixada, dissecada em formas predominantemente convexa, com altimetrias que variam entre 200 a 300 metros e drenagem organizada segundo o padrão dendrítico. Abrange quase totalmente litologias pré-cambrianas do complexo Xingú, com exceção da parte norte, onde envolve rochas sedimentares também pré-cambrianas do Grupo Beneficente. Comporta solos predominantemente Argissolos Vermelhos distróficos, e Latossolos Vermelhos-Amarelos, com cobertura de Floresta Ombrófila Aberta Tropical. Nesta área, aparecem relevos residuais dissecados em meio a superfície baixa. Contudo a presença deles diminui em direção a leste a partir do núcleo urbano de Alta Floresta. Entretanto, nesta área, não se observa relevos residuais, convém salientar que no entorno próximo à presença de matacões. Estes matacões ocupam as vertentes dos relevos dissecados em forma convexa (BRASIL, 1980).

Em função das características geológicas e geomorfológicas, a região onde a propriedade está localizada foi identificada e descrita como Argissolos Vermelho-Amarelo distrófico. Esta classe compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com atividade de argila e saturação de bases baixa, bem a moderadamente drenados, com profundidade variável e sequência de horizonte A, B e C . Possuem horizonte A de 10 a 40 cm, geralmente dividido em sub-horizontes que apresentam cores de todas as tonalidades de bruno, nos matizes 10YR e 7.5YR, ocorrendo cores mais avermelhadas ocasionalmente. A textura varia de franco-arenosa a franco-

argilo-arenosa, com uma estrutura geralmente pequena e muito pequena e fraco desenvolvimento.

O horizonte B de profundidade muito variável, vai desde raso a muito profundo, superior a 170 cm, e está dividido em sub-horizonte com poucas variações entre si. Possuem cores bruno-avermelhadas nos matizes 5YR e 7.5YR, ocorrendo vermelho e vermelho-escuro nos matizes 2.5YR e 10R, com menor frequência. A textura varia desde franco-argilo-arenosa até argila pesada com muita variabilidade na profundidade em que ocorre o maior teor de argila aluvial. Tem-se encontrado uma estrutura fraca em blocos subangulares pequenos e médios, que na maior parte das vezes está nas camadas inferiores do solo. A consistência quando úmido é geralmente friável, podendo em alguns casos ser firme, quando molhado o solo é plástico e pegajoso e raras vezes aumenta ou reduz esses graus. A maioria desses solos possuem um alto teor de floculação (>95%) e baixa relação silte/argila.

Estes solos possuem teor de carbono geralmente menor que 2%, diminuindo acentuadamente com a profundidade. A saturação com alumínio geralmente está abaixo de 60%. A soma de bases trocáveis é muito baixa, geralmente inferior a 1 mE/100g e tem valores em torno de 0,5 mE/100g com maior ocorrência, sendo que estes valores decrescem com a profundidade. A saturação de bases é sempre inferior a 50%, tem sua maior ocorrência entre 10 a 20% e com menor frequência abaixo de 10%. Estes solos ocorrem em relevo variando desde o plano até forte ondulado. Associa-se com maior frequência à ocorrência de rochas cristalinas do denominado Complexo Xingú (BRASIL, 1980).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PLANTIO

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos em quatro plantios homogêneos de *Tectona grandis*, situadas na fazenda IDC, município de Alta Floresta, Mato Grosso.

As sementes utilizadas no plantio são procedentes da empresa Cáceres Florestal. O plantio foi feito a partir de mudas do tipo stamp produzidas pela própria empresa, implantada no período de chuvas da região, que ocorre de outubro a março. O primeiro plantio foi realizado entre os meses de

dezembro de 1996 a março de 1997, e os demais entre os anos de 2000 a 2004.

A área efetiva de plantio é de 1.204,25 ha, particionadas em quatro plantios, subdivididos em 49 talhões.

A condução do plantio procedeu-se da seguinte forma: No primeiro ano efetuou-se a limpeza dos talhões, e replantio em casos de mortalidade superior a 20%; Do segundo ao quarto ano foi feita a limpeza com uso de roçadeira, e aplicação de herbicida para o combate de gramíneas, nesse período também foi realizado a desrama e desbaste das árvores sem aproveitamento comercial; A partir do quinto ano, manteve-se a desrama até que o fuste comercial atingisse uma altura de 8 metros e a roçada a cada dois anos. Os desbastes foram efetuados no 6º efetuou-se o primeiro desbaste com intensidade de 25% e o segundo no 11º ano, com a mesma intensidade.

3.3 COLETA DE DADOS

3.3.1 Parcelas Permanentes

Foram utilizados dados provenientes de 146 parcelas permanentes com espaçamento variável de 3 m x 2 m, 3 m x 2,20 m, 4 m x 2 m e 3 m x 3 m e área de 900 m², 924 m², 792 m² e 896 m², respectivamente, medidos no período de 1998 a 2011.

Em cada parcela o diâmetro foi medido a 1,30 m de altura em todas as árvores; Quanto à altura, foi medida de forma alternada dentro da parcela, uma linha foi medida e outra não e assim subsequentemente; as alturas das demais foram estimadas por equação de relação hipsométrica.

3.3.2 Cubagem

Os dados de cubagem foram coletados nos anos de 2005, 2009 e 2011, totalizando 448 árvores, em diferentes classes de diâmetros e em diferentes locais em função da heterogeneidade do terreno (sítio). As árvores selecionadas foram derrubadas e medidas as circunferências do tronco em

diferentes alturas, a saber: 0,0 m; 1,0 m; 1,30 m; 2,0 m e em distância regulares de 2 m até diâmetro igual a 5 cm.

O volume individual de cada árvore foi obtido pela aplicação sucessiva da expressão de Smalian:

$$v = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \cdot L$$

Onde: v= volume total do tronco, em m³; g= área basal da seção, em m²; L= comprimento das seções, em metros.

3.3.3 Análise Completa de Tronco

Em decorrência de não haver a determinação da altura, nas medições das parcelas, existiu a necessidade de reconstruir o desenvolvimento passado pela utilização da técnica de análise de tronco completa.

Foram utilizadas 47 árvores de *Tectona grandis* com características de dominante, distribuídas em toda área, em função da heterogeneidade do terreno (sítio), com idade que variou de 7 a 13 anos.

Para a análise de tronco, foi empregada a metodologia descrita por Barusso (1977). As fatias foram retiradas em posições fixas a 0,10 m, 1,0 m, 1,30 m, 2,0 m e as demais equidistantes de 1,0 m até a ponta fina, quando esta atingiu diâmetro de 5 cm. A espessura de cada fatia foi de aproximadamente 5 centímetros; na presença de nó, a posição de retirada dos discos foi deslocada para os entre-nós.

A descrição do local onde foram coletadas as árvores tais como coordenadas geográficas, altura, altura das seções, e circunferência a diferentes alturas, foram anotadas em campo em planilhas elaboradas para este fim.

Na marcação dos discos foram utilizadas plaquetas que foram fixadas com pregos, além de marcação com lápis de carpinteiro, com informações do número da árvore e do local (Figura 2-D e E). Os discos foram transportados em sacos de ráfia para o local de secagem para ser lixado e posterior medição (Figura 2-F).



FIGURA 2 – SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES PARA COLETA DE DADOS PARA ANÁLISE DE TRONCO: (A) Seleção da árvore dominante e medida do CAP; (B) Derrubada da árvore dominante; (C) Retirada do disco; (D) Identificação do disco com plaquetas; (E) Marcação do disco com giz; (F) Discos no saco de ráfia para serem transportados; (G) Secagem; (H) Discos no laboratório; (I) Marcação dos 4 raios para posterior leitura. (Foto: Soely Ovidio de Miranda)

Em cada disco efetuou-se a marcação de 4 raios em 90 graus entre si, sendo que após escolhido o maior raio a partir do anel mais externo, gira-se 45 graus no sentido anti-horário, e a partir deste marcam-se os 4 raios que deverão formar 2 diâmetros formando 90 graus entre si (Figura 2-I). A medição dos anéis nos discos foi feita em cima destes quatro raios marcados.

Com o auxílio de uma régua, de tal forma que o número zero coincidissem com a medula da fatia, foram medidos os anéis sobre os quatro raios. Os valores de cada anel em cada raio foram anotados em planilhas, posteriormente exportados para uma planilha eletrônica.

Após a leitura do raio de cada anel de crescimento, foram feitos desenhos do afilamento do fuste para cada uma das 47 árvores, sendo obtida a altura dessas árvores em cada idade.

Para a definição da altura do anel utilizou-se o método trigonométrico, que considera que o término do anel se dá de acordo com o ângulo de saída da última fatia onde aparece e é igual ao ângulo imediatamente posterior (mais externo, da medula para fora) (HUSCH *et al.*, 1982).

A altura total da árvore na idade correspondente ao anel foi obtida somando-se a altura de tomada da fatia inferior à altura estimada do término do anel.

Por meio desta análise foram determinados os pares de altura e idade para cada árvore dominante.

Os volumes dos anéis em cada seção foram computados pelo método de Smalian, utilizando-se os diâmetros de duas fatias consecutivas (inferior e superior); foi calculada a área transversal média, depois multiplicada pelo comprimento da seção.

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Relação Hipsométrica

Para o ajuste da relação hipsométrica, utilizaram-se dados de altura e diâmetro. Foram mensuradas 101 árvores obtidas na última cubagem (2011). Os modelos utilizados neste trabalho foram selecionados na literatura (LOESTSCH *et al.*, 1973) e estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1 - MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.

N	Modelos	Autor
1	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$	Trorey
2	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$	Stoffels
3	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d)$	Curtis
4	$h - 1,3 = \left(\frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2} \right)$	Prodan
5	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$	Modelo Linear

Onde: Ln = logaritmo natural; h = altura; d = diâmetro; β_0 , β_1 , β_2 = coeficientes a serem estimados.

3.4.2 Volume

Com os dados obtidos na cubagem foram calculados os volumes individuais para cada uma das árvores-amostra. Os dados destas árvores serviram de base para ajuste dos modelos de volume relacionados na Tabela 2. Os modelos de volume testados foram selecionados na literatura (LOESTSCH *et al.*, 1973).

O estudo dos modelos de volume possibilitou, através de métodos estatísticos, determinar o modelo que melhor se ajusta à teca no plantio estudado.

TABELA 2 - MODELOS VOLUMÉTRICOS.

N	Modelos	Autor
1	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln h$	Schumacher-Hall Log
2	$v = \beta_0 + \beta_1(d^2 h)$	Spurr
3	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d \cdot h) + \beta_4 \cdot (d^2 \cdot h) + \beta_5(h)$	Meyer
4	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot h + \beta_3 \cdot (d^2 h)$	Stoate
5	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$	Husch
6	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 \cdot h) + \beta_3 \cdot (d \cdot h^2) + \beta_4 \cdot h^2$	Naslund Modificado
7	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln^2 d + \beta_3 \cdot \ln h + \beta_4 \cdot \ln^2$	Prodan

Onde: Ln = logaritmo natural; v = volume; d = diâmetro; h= altura; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = coeficientes a serem estimados.

3.4.3 Crescimento

Com os dados de diâmetro, altura e volume por idade, obtidos pela análise de tronco, tornou-se possível ajustar os modelos de crescimento para cada uma das variáveis dendrométricas.

Os modelos testados foram selecionados na literatura aplicada ao estudo de crescimento (PRODAN, 1997; HESS, 2006). Os modelos estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – MODELOS AJUSTADOS PARA O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO, ALTURA E VOLUME.

Nº	Modelo Matemático	Autor
1	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * \ln x_i + \beta_2 * \ln^2 x_i$	Backman
2	$y = \beta_0 * (1 - \exp(-\beta_1 * x_i)^{\beta_2})$	Chapman-Richards
3	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * \ln x_i + \beta_2 * x_i$	Gram
4	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * (1/x_i) + \beta_2 * \ln x_i$	Hoerl
5	$y = \beta_0 * (1 - \exp(-\beta_1 * x_i))$	Mitscherlich
6	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * x_i + \beta_2 * x_i^2 + \beta_3 * x_i^3$	Moissev
7	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * (x_i^{-1})$	Schumacher
8	$\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * (x_i^{-1}) + \beta_2 * (x_i^{-1})^2 + \beta_3 * (x_i^{-1})^3$	Desconhecido

Onde: Ln = logaritmo natural; y = variável dependente (Vol, D, H e g); x_i = variável independente (idade); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes a serem estimados.

Foram ajustados oito modelos matemáticos, seis lineares (Backman, Gram, Hoerl, Moissev, Schumacher e um Desconhecido) e dois não lineares (Chapman-Richards e Mitscherlich) disponíveis na literatura, utilizando o pacote estatístico SAS, os modelos foram ajustados por regressão linear (Método dos Quadrados Mínimos) e regressão não linear (Método Marquardt).

O incremento corrente foi determinado pela derivada primeira da função de crescimento e o incremento médio pela razão do crescimento pela idade.

3.4.4 Classificação de Sítio

Foram utilizados dados de análise completa de tronco, referente a 329 pares de dados altura-idade, entre as idades de 3 e 13 anos. Optou-se pela utilização de dados a partir dos 3 anos, pela dificuldade de ajuste dos modelos nas menores idades.

Para a classificação do sítio foi empregado o método da curva guia, ou curva média. Este método gera curvas anamórficas, onde a taxa de

crescimento relativo em altura é considerada constante ao longo de toda idade do plantio.

A idade índice ou idade de referência pode ser adotada de forma arbitrária, trabalhos com a espécie *Tectona grandis* mostram que ainda não existe uma idade de referência definida para esta espécie; Drescher (2004) adotou a idade índice de 10 anos, Novaes (2009) utilizou a idade de referência de 7 anos, Bezerra (2009) definiu uma idade índice de 5 anos, Figueiredo (2005) utilizou idade de referência de 9 anos, e Cruz (2005) adotou como idade de referência 4 anos.

Neste estudo, optou-se por uma idade índice de 7 anos.

Foram testados 6 modelos matemáticos para expressar a evolução da altura dominante em cada idade, os quais se encontram na Tabela 4.

TABELA 4 - MODELOS AJUSTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA PARA EXPRESSAR A CAPACIDADE PRODUTIVA DO LOCAL.

Nº	Modelos	Autor
1	$\ln(Hdom) = \frac{Id^2}{\beta_0 + \beta_1 * Id + \beta_2 * Id^2}$	Prodan
2	$\ln(Hdom) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{Id}\right)$	Schumacher
3	$\ln(Hdom) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(Id) + \beta_2 * \ln^2(Id)$	Backman
4	$Hdom = \beta_0 * [1 - e^{(\beta_1 * Id)^{\beta_2}}]$	Chapman-Richards
5	$Hdom = \beta_0 * (1 - e^{-\beta_1 * Id^{\beta_2}})$	Bailey (3 coeficientes)
6	$Hdom = \beta_0 * \left(1 - e^{-\beta_1 * Id^{\beta_2}}\right)^{\beta_3}$	Bailey (4 coeficientes)

Onde: Ln = logaritmo natural; hdom = altura das árvores dominantes (m); Id = Idade da medição; β_0 , β_1 , β_2 = coeficientes a serem estimados.

Foram ajustados seis modelos matemáticos, três lineares (Prodan, Schumacher e Backman) e três não-lineares (Chapman-Richards, Bailey com três e quatro coeficientes) disponíveis na literatura, utilizando o pacote estatístico SAS, os modelos foram ajustados por regressão linear (Método dos Quadrados Mínimos) e regressão não linear (Método Marquardt).

Foi empregada uma base de dados de pares de altura média das árvores dominantes e idade, advindos neste estudo de 47 árvores por meio da análise de tronco.

Inicialmente, deve ser selecionado um modelo de regressão envolvendo as variáveis altura dominante (Hd) e idade (I). A equação resultante representa a curva de índice de local médio, curva esta denominada curva-guia, que mostra a estimativa do crescimento médio ao longo do tempo.

A partir da equação da curva-guia, uma equação de índice de local é obtida ao observar a condição de que, quando a idade (I) do povoamento for igual à idade-índice (I_i), a altura dominante é igual ao índice de local ($Hd = S \Leftrightarrow I = I_i$).

A construção das classes de produtividade ocorre com a subtração e adição de um valor “X” ao valor central, delimitando, desse modo, a amplitude de cada classe. Assim o procedimento é repetido sucessivamente até se obter todas as classes que englobam os valores observados.

3.4.5 Teste de Anamorfismo

Depois de selecionado o melhor modelo para classificação de sítio, realizou-se um teste para verificar se as curvas eram anamórficas.

O teste de anamorfismo consiste basicamente em verificar a existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas diferentes idades. No entanto, antes de verificar essa relação linear por meio de regressão linear simples, foi necessário encontrar o valor do índice de sítio correspondente a cada valor de h_{dom} , por meio da seguinte expressão matemática:

$$\ln(IS) = \ln(Hdom) + \beta_1 * (1/I - 1/Iref)$$

Onde: IS = índice de sítio;

h_{dom} = altura dominante;

I_{ref} = idade de referência;

I = idade para a qual a relação linear entre IS- h_{dom} será ajustada;

b_1 = coeficiente do modelo estatístico ajustado para classificação de sítios.

Posteriormente, a confiabilidade das curvas anamórficas foi testada, verificando-se a existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas diversas idades.

O modelo linear simples foi ajustado para confirmar a hipótese de que há forte relação linear entre as variáveis envolvidas, expressando que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local. Nesse caso, segundo Scolforo (2006), os resultados esperados são: coeficiente b_0 estatisticamente igual a zero e coeficiente b_1 estatisticamente maior que 1 nas idades menores do que a idade de referência, sendo tanto maior quanto menores forem as idades.

Para confirmação do anamorfismo, segundo Scolforo (2006), os coeficientes de variação devem apresentar valores semelhantes para as diversas idades de uma mesma classe de sítio.

3.4.6 Modelos de Crescimento e Produção

Para estimar as variáveis de interesse, volume e área basal, optou-se por modelos de crescimento e produção que permitiram expressar a produção no tempo presente e futuro. Foram utilizados dados de parcelas permanentes de inventário florestal contínuo.

Os modelos foram ajustados pela aplicação de técnica de regressão linear múltipla, pelos métodos descritos por Draper e Smith (1980). Após o ajuste, fez-se uma avaliação individual, a fim de comprovar a eficiência de cada modelo para estimar a produção presente e prever a futura. Os modelos testados foram selecionados na literatura (MORAES e SILVA, 1999) e estão relacionados na Tabela 5.

TABELA 5 – MODELOS DE PRODUÇÃO PRESENTE E FUTURA EM VOLUME E ÁREA BASAL POR HECTARE.

Nº	Modelo
1	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \ln AB + \beta_3 \left(\frac{1}{I}\right)$
2	$\ln(AB_2) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \ln AB_1 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_4 IS \left(\frac{1}{I}\right)$
3	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln AB + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 (IS * (\ln AB)) + \beta_4 \left(\frac{\ln AB}{I}\right)$
4	$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \ln AB_2$
5	$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2}\right) * \ln(AB_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_5 IS \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$
6	$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_4 \left(\frac{I_1}{I_2}\right)$
7	$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{IS}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2}\right) * \ln(AB_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_5 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) IS$
8	$\ln(AB_2) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \ln AB_1 + \beta_4 IS \left(\frac{1}{I}\right)$
9	$\ln(AB) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I_1}\right) + \beta_3 (\ln Gi) * \left(\frac{1}{I_1}\right) + \beta_4 IS \left(\frac{1}{I}\right)$
10	$\ln(AB) = \beta_0 + \beta_1 (\ln Gi) * \left(\frac{1}{I_1}\right) + \beta_2 IS + \beta_3 \left(\frac{1}{I_1}\right) + \beta_4 IS \left(\frac{1}{I}\right)$
11	$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{IS}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \left(\frac{I_1}{I_2}\right) * \ln(AB_1) + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_5 IS \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$
12	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 IS + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \ln AB$
13	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{IS}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \ln(AB)$

Onde: IS = índice de local; I = idade atual; I₁ = idade inicial para projeção; I₂ = idade de projeção; G = área basal atual (m²); G₂ = área basal projetada na idade I₂ (m²); V = volume atual (m³); V₂ = volume projetado na idade I₂ (m³); ln= logaritmo neperiano; e $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = parâmetros a serem estimados.

3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para processamento dos dados foi utilizado o programa estatístico Excel da Microsoft Office, além da parte gráfica e da plotagem dos resíduos. Para análise de regressão e cálculo das derivadas foram utilizados os programas estatísticos Statistical Analysis System (SAS, 2002) e Maple.

3.6 Critérios de Avaliação e Escolha dos Modelos

Com o objetivo de selecionar o melhor modelo de regressão analisou-se o ajuste de cada equação comparativamente, observando-se os critérios estatísticos definidos pelo: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, coeficiente de variação, valor de F, valor ponderado dos escores estatísticos e a distribuição gráfica dos resíduos. Para uma maior exatidão da avaliação dos modelos testados foram utilizadas três estatísticas auxiliares; raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ), erro médio absoluto (EMA) e desvio padrão dos resíduos (DPR).

3.6.1 Coeficiente de Determinação Ajustado ($R^2_{Aj.}$)

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação total explicada pela regressão. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{Aj.}$) para número de coeficientes da equação, como critério de seleção do modelo, obtido pela expressão:

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

Onde: $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação; K= número de coeficientes da equação; N= número de observações.

Quanto mais próximo de 1 forem os valores dos coeficientes de determinação melhor será o ajuste da linha de regressão. Sendo assim, por

este critério, foi selecionado o modelo matemático que apresentou o maior valor de R^2_{Aj} .

3.6.2 Erro Padrão da Estimativa

O erro padrão da estimativa indica a precisão do ajuste do modelo matemático e somente deve ser utilizado como comparador quando as variáveis dependentes apresentarem mesma unidade de medida. O Erro Padrão da Estimativa (S_{yx}) é obtido através da fórmula:

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}}$$

Sendo S_{yx} = erro padrão da estimativa; QM_{res} = quadrado médio do resíduo, obtido na análise de variância.

Assim, quanto menor for o erro padrão da estimativa, melhor são as estimativas obtidas na equação, portanto deveria ser selecionada.

3.6.3 Coeficiente de Variação

O Coeficiente de Variação (CV%) é obtido pela fórmula:

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

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

Dessa forma, foi selecionado o modelo matemático que apresentou o menor valor de CV%.

3.6.4 Valor de F

O valor de F calculado na análise de variância das equações foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos para a seleção do melhor modelo matemático.

3.6.5 Distribuição Gráfica dos Resíduos

Na seleção dos modelos matemáticos considerou-se também a distribuição gráfica dos resíduos, sendo selecionado o modelo que apresentou a menor variação de resíduos.

Neste método, foram plotados os resíduos ($Y_{\text{observado}} - Y_{\text{estimado}}$) em função da variável dependente, sendo possível examinar melhor a tendência de superestimar ou subestimar os valores.

Para comparação dos modelos foram utilizadas medidas de exatidão e desvio das estimações, entre eles:

3.6.6 Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REMQR)

$$REMQR = \sqrt{\frac{\sum(O_i - E_i)^2}{n}}$$

Onde: REMQR= Raiz quadrada do erro médio quadrático; O_i = valor observado; E_i = valor estimado; n = número de observações.

3.6.7 Erro Médio Absoluto (EMA)

$$EMA = \frac{\sum|O_i - E_i|}{n}$$

Onde: EMA= Erro médio absoluto; O_i = valor observado; E_i = valor estimado; n = número de observações

Tanto via raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQR) quanto via Erro médio absoluto (EMA) a diferença das estatísticas são mínimas e só será notória se os modelos apresentarem valores de resíduos extremos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Com o ajuste das equações matemáticas descritas no subitem 3.3, foram obtidos os estimadores dos parâmetros que permitiram selecionar o modelo estatístico que melhor ajustou aos dados. Os valores dos coeficientes (b_0 , b_1 , b_2), o coeficiente de determinação ($R^2_{aj.}$), o erro padrão de estimativa (S_{yx}), o coeficiente de variação (CV%) e a estatística F (F) são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 – MODELOS, COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS.

Modelo	Autor	Coeficientes			$R^2_{aj.}$	S_{yx}	CV%	F
		b_0	b_1	b_2				
1	Trorey	5,029	0,932	-0,014	0,515	2,018	12,024	54,038
2	Stoffels	1,464	0,474	-	0,521	0,130	0,775	109,859
3	Curtis	3,262	-7,411	-	0,543	0,127	0,757	119,863
4	Prodan	-1,090	0,679	0,030	0,902	2,851	16,992	458,977
5	Modelo Linear	9,365	0,423	-	0,499	2,050	12,217	100,616

Foi observado que, com exceção do modelo Linear, todos apresentaram coeficientes de determinação ajustado superiores a 0,50, com destaque ao modelo de Prodan, que obteve $R^2_{aj.}$ igual a 0,902.

Os modelos apresentaram erro padrão da estimativa (S_{yx}) variando de 0,127 a 2,851, sendo que o modelo de Curtis apresentou o menor valor; quanto ao coeficiente de variação, o menor valor observado foi nesse modelo e o maior no modelo de Prodan.

Em relação à estatística F, este parâmetro foi significativo para todos os modelos, destacando-se o modelo de Prodan, indicando que há evidências que as variáveis independentes explicam a variável dependente.

Na Figura 3, pode-se verificar o comportamento da distribuição dos resíduos entre a altura observada e a altura estimada pelas equações em função do diâmetro à altura do peito. Observa-se pela análise do gráfico que foi verificada a ausência de tendências nas estimativas das alturas e uma

dispersão homogênea dos resíduos, com a amplitude de erro de $\pm 45\%$, exceto o modelo Linear que tem tendência de superestimar os dados.

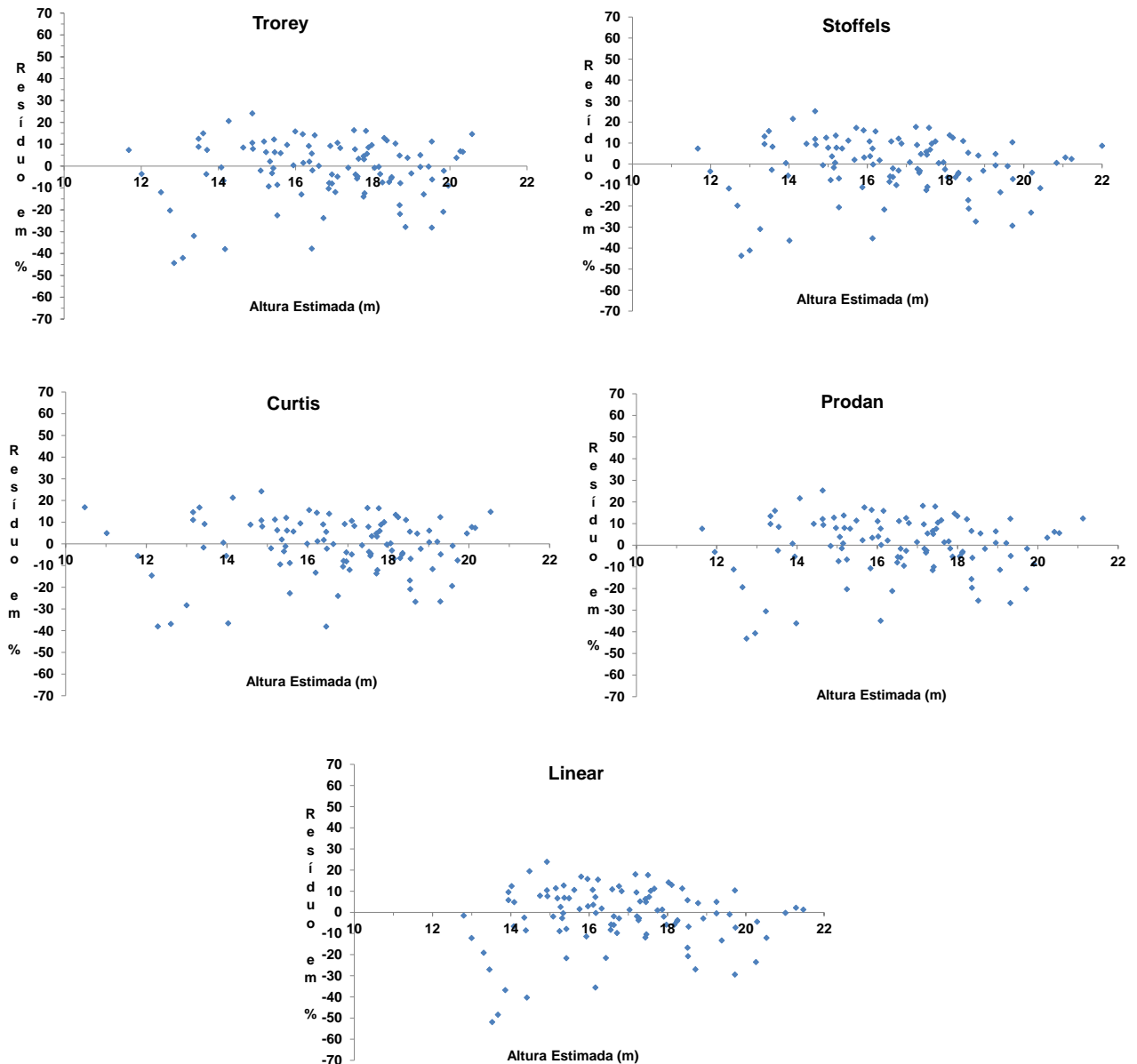


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.

A análise da Tabela 6 e da Figura 3 aponta o modelo de Prodan como o mais adequado para descrever a relação hipsométrica, por apresentar uma superioridade no R^2_{ajus} e não apresentar tendência de superestimar ou subestimar ao longo do crescimento em altura.

Diversos trabalhos realizados em povoamentos florestais mostraram uma superioridade do modelo de Prodan. Entre eles Dimitrov & Vichev¹ (1980) citado por Cabacinha (2003), testaram modelos para relação hipsométrica em povoamento de *Pinus sylvestris* e consideraram o modelo de Prodan como o mais adequado. O mesmo resultado foi encontrado por Barros (2000), estudando o comportamento de modelos hipsométricos para plantação de *Pinus oocarpa*, considerou também este modelo o mais adequado para estimativa de altura. Miguel (2006) chegou ao mesmo resultado ajustando modelos hipsométricos para povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, na região de Aracruz no Espírito Santo.

4.2 Equação de Volume

Os resultados obtidos no ajuste das equações volumétricas para teca (Tabela 2) são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – MODELOS DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Equação	Autor	Coeficientes						R ² _{ajus}	S _{yx}	CV%	F	REMQ	EMA
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅						
1	Schumacher	-9,042	1,8432	0,7247				0,92	0,02	10,6	2661,92	0,02	0,02
2	Spurr	0,022	0,00003					0,92	0,02	10,8	5147,64	0,02	0,02
3	Meyer	0,036	-0,0064	0,0004	0,001	4,4E-06	-0,003	0,92	0,02	10,6	1079,18	0,02	0,02
4	Stoate	-0,022	0,0002	0,0024	2E-05			0,93	0,02	10,5	1801,92	0,02	0,02
5	Husch	-7,811	2,1069					0,87	0,03	13,9	2944,15	0,03	0,02
6	Naslund Mod.	-0,009	0,0005	0,0000	4E-05	-0,0003		0,93	0,02	10,3	1433,47	0,02	0,02
7	Prodan	-8,114	2,2807	-0,0762	-0,44	0,2161		0,93	0,02	10,5	1371,04	0,02	0,02

Nota: Nesta tabela, encontram-se os estimadores dos parâmetros, coeficientes de determinação ajustado (R²_{aj}), erro padrão de estimativa (S_{yx}), coeficiente de variação (CV%), o valor de F, erro médio quadrático (REMQ) e erro médio absoluto (EMA) para os modelos de volume ajustado para a espécie na área em estudo.

Verifica-se que os modelos apresentaram resultados similares, com ajuste (R²_{ajus.}) em torno de 0,90, baixos valores para o erro padrão da estimativa (S_{yx}) indicando pouca dispersão relativa entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, coeficiente de variação (CV%) indicando precisão

¹ DIMITROV, E.T.; VICHEV, I. Analytical construction and expressions of height curves for Scots Pine. **F. A.**, v.41, n. 10, p. 491, 1980. (Resumo)

satisfatória da estimativa com valores em torno de 10%, estatística F altamente significativa para todas as equações.

Tanto na raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) quanto no erro médio absoluto (EMA) a diferença das estatísticas foi mínima e só seria notória se os modelos apresentarem valores de resíduos extremos.

A distribuição dos resíduos dos modelos volumétricos, conforme mostrado na Figura 4, aponta para os de Schumacher-Hall Log e Prodan como os mais pertinentes em função da ausência de tendências nas estimativas dos parâmetros e dispersão homogênea dos resíduos, com amplitude de erro de $\pm 25\%$, nos demais modelos ocorreu maior dispersão dos dados e amplitude de erro maior ($\pm 35\%$).

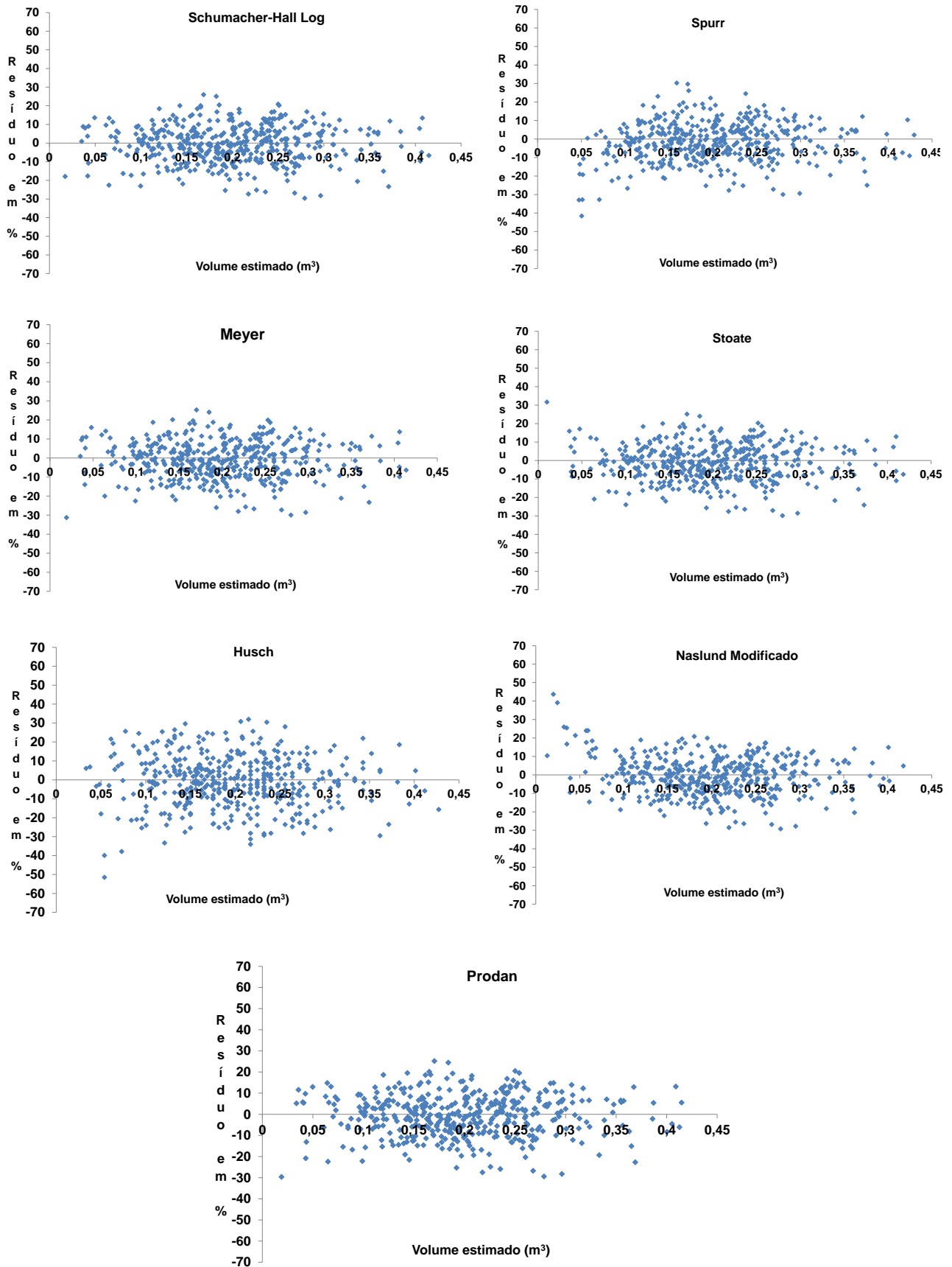


FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA EQUAÇÃO DE VOLUME.

A análise da Tabela 7 e da Figura 4 mostra o modelo Schumacher-Hall Log como o mais adequado para descrever o volume, por apresentar ajuste satisfatório, baixo erro padrão da estimativa e coeficiente de variação, e distribuição homogênea ao longo do eixo do volume estimado, atendendo os critérios exigidos para seleção da equação.

Resultado semelhante a este foi encontrado por Drescher (2004) que ao ajustar uma série de modelos para estimar o volume para a teca no estado de Mato Grosso, concluiu que o modelo de Schumacher-Hall foi considerado melhor para estimar o volume, frente ao coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}) igual a 0,98 e um S_{yx} igual a 3,4%. O modelo de Schumacher-Hall é amplamente utilizado para estimar o volume nos plantios de teca em Mato Grosso, citando também os trabalhos de Novaes (2009) e Cruz (2005).

Tonini *et al.* (2009) ajustou 5 modelos de volume para 122 árvores de *Tectona grandis*, no município de Iracema – RR, e concluiu que o modelo de Schumacher-hall na forma logarítmica apresentou melhor precisão estatística, com coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}) igual a 0,92 .

Esse mesmo modelo também foi selecionado para descrever o volume por Passos *et al.* (2006) com R^2_{ajus} igual a 0,87.

Keogh (1987) encontrou melhores ajustes para a estimativa de volume com o modelo 2 (Spurr) para plantios de teca na Costa Rica e em El Salvador. Esse modelo foi testado por Higuchi (1979) para teca na região de Cáceres que obteve como parâmetros estatísticos coeficiente de correlação igual a 0,96 e um erro padrão de estimativa de 0,0160. Porém para este estudo, o modelo de Spurr não teve o mesmo desempenho, sendo rejeitado.

4.3 Crescimento

No estudo do crescimento da *Tectona grandis* na região, foram testados os modelos matemáticos, relacionados na Tabela 3, utilizando-se dados provenientes da análise de tronco completa das variáveis dependentes diâmetro, altura e volume, e da variável independente idade. Deste estudo foram obtidos os coeficientes e os parâmetros estatísticos das equações, bem como as idades de maximização do crescimento em diâmetro, altura e volume.

4.3.1 Crescimento do Diâmetro

Os dados utilizados permitiram ajustar os modelos de crescimento e analisar o comportamento estatístico de cada modelo. Na Tabela 8, encontram-se os estimadores dos parâmetros do modelo, os coeficientes de determinação ($R^2_{aj.}$), coeficiente de variação (CV%), erro padrão da estimativa (S_{yx}), valor de F, erro médio quadrático (REMQ) e erro médio absoluto (EMA) para cada modelo.

TABELA 8 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO.

Equação	Autor	Coeficientes				R^2_{Aj}	S_{yx}	CV%	F	REMQ	EMA
		b_0	b_1	b_2	b_3						
1	Backman	-2,308	1,771	-0,1449	-	0,88	1,51	12,47	939,0	1,52	1,22
2	Chapman-Ricards	19,984	0,017	1,0246	-	0,86	1,52	12,52	804,6	1,51	1,23
3	Gram	-1,163	0,989	-0,0061	-	0,86	1,53	12,60	793,4	1,52	1,23
4	Hoerl	0,985	-9,764	0,4103	-	0,86	1,55	12,77	768,0	1,54	1,23
5	Mitscherlich	20,184	0,0161	-	-	0,86	1,52	12,51	1209,5	1,50	1,23
6	Moissev	0,691	0,0567	-0,0005	0,000002	0,85	1,60	13,20	533,4	1,59	1,28
7	Schumacher	2,923	-22,460	-	-	0,80	1,82	15,01	390,9	1,81	1,44
8	Desconhecido	3,222	-49,140	464,879	-1976,54	0,86	1,52	12,56	599,5	1,51	1,22

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações apresentaram ajustes com valores próximos entre si e superiores a 0,80. O modelo Backman foi aquele que apresentou melhor ajuste devido ao seu coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) ter apresentado valor de 0,88.

Os modelos também apresentaram valores semelhantes para o erro padrão da estimativa, o que indica pouca diferença no ajuste dos modelos.

Quanto ao coeficiente de variação, os que apresentaram maior precisão das estimativas foram os modelos de Backman e Mitscherlich.

Quanto à estatística F, esse parâmetro se mostrou bastante elevado em todas as equações, altamente significativo, destacando o modelo de Mitscherlich.

Tanto na raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) quanto no erro médio absoluto (EMA) a diferença das estatísticas foram mínimas.

Na Figura 5, que representa a distribuição gráfica dos resíduos entre o diâmetro observado em cada idade e o estimado pelo modelo, pode-se verificar que os modelos de uma forma geral apresentam certo padrão de tendenciosidade de superestimar. O modelo de Backman se destaca, devido a distribuição mais homogênea dos resíduos, diferente do que ocorre nos demais

modelos, nos quais ocorreu maior dispersão dos resíduos destes e maior tendenciosidade para superestimar os dados.

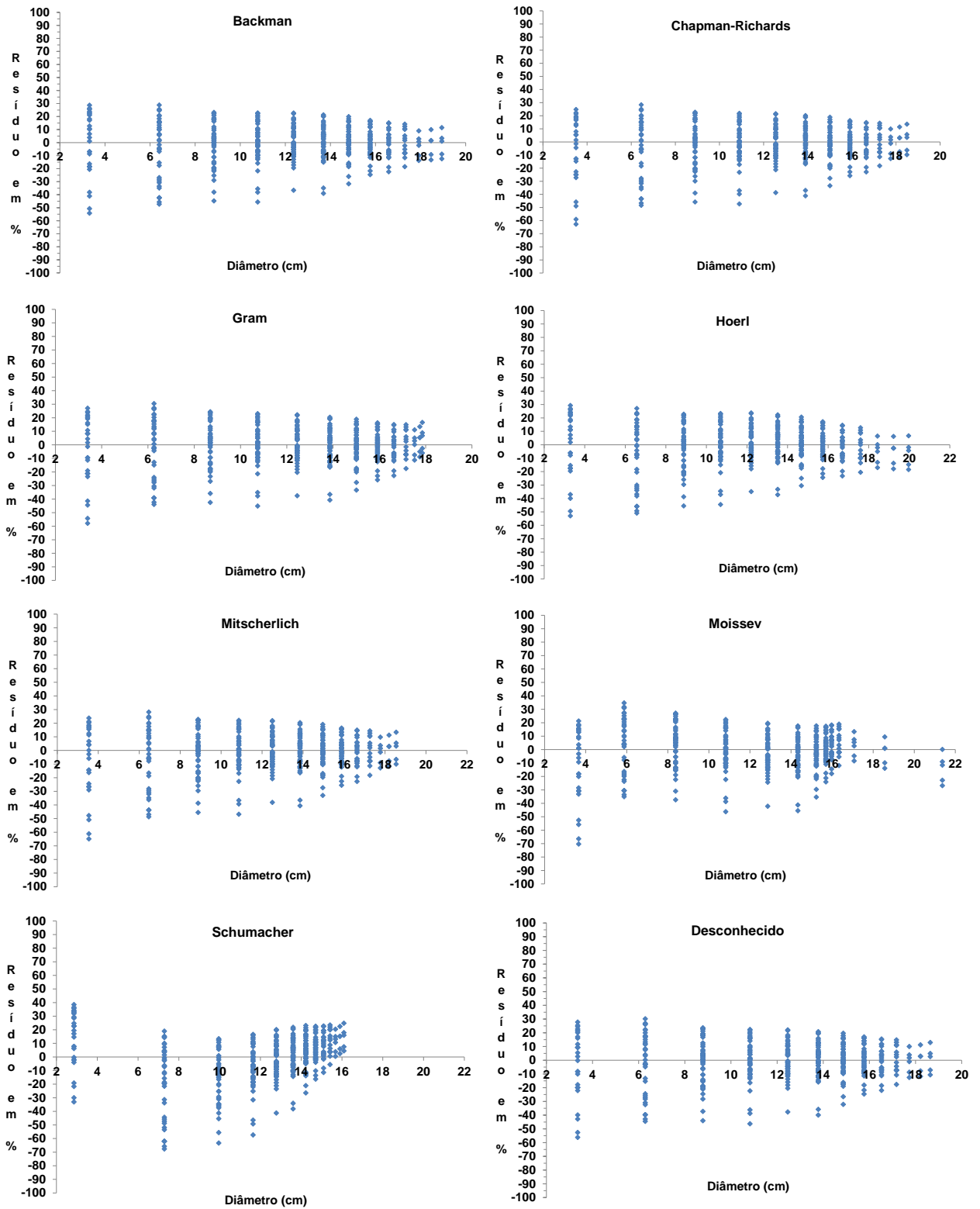


FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELO DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO.

A análise da Tabela 8 e da Figura 5 mostra o modelo de Backman como o mais adequado para descrever o crescimento do diâmetro, por apresentar uma superioridade no R^2_{aj} , menor erro padrão, coeficiente de variação inferior e distribuição mais homogênea dos resíduos.

Com o uso do modelo selecionado de Backman foi estimado o crescimento do diâmetro no período de 1998 a 2011 (13 anos), cujo padrão é mostrado na Figura 6, na qual se observa que este é mais acelerado nos cinco anos iniciais da série seguido por mudança na tendência do crescimento. No entanto, não houve ponto de culminio do crescimento em diâmetro, indicando que as árvores não alcançaram a fase de assíntota, ou seja, a espécie ainda continua crescendo em diâmetro na idade de 13 anos.

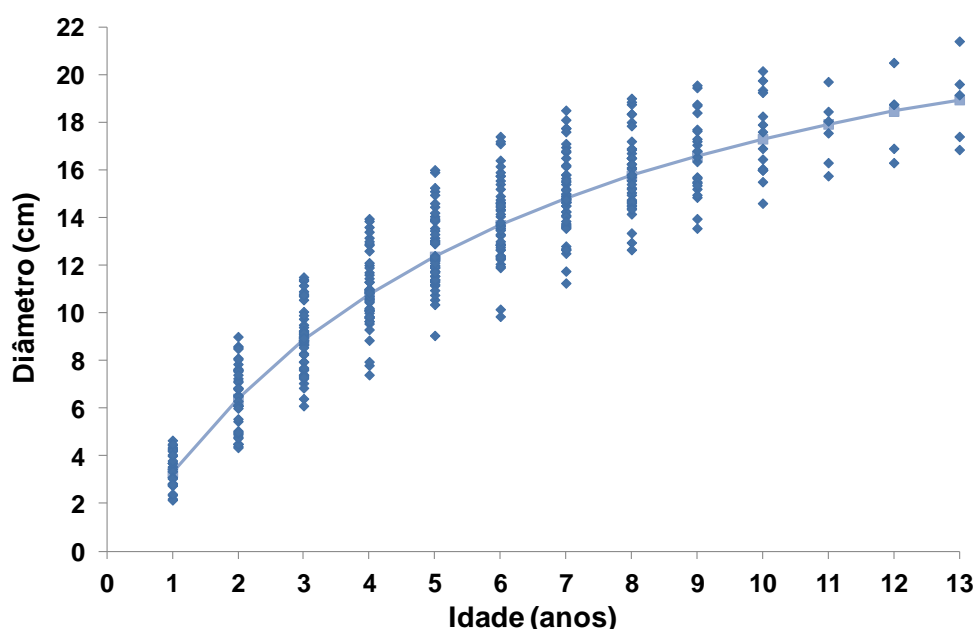


FIGURA 6 - CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DE *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA, MT.

O crescimento em diâmetro obtido neste estudo foi superior aos encontrados onde a teca é nativa, como na Índia e na Tailândia (Gyi & Tint, 1998), quando comparado o com o crescimento na Malásia (Noor, 2003), no Pará (Rossi, 2011) e Roraima (Tonini, 2009), até a idade de 7 anos. Comparativamente, verifica-se ainda que a taxa de crescimento em diâmetro observada neste estudo começa a desacelerar mais rapidamente ao redor dos oito anos de idade, enquanto que nos estudos de Gyi & Tint (1998), Noor (2003), Tonini (2009) e Rossi (2011) tal passa a ocorrer a partir dos 20 anos de idade (Figura 7), o que indica necessidade de intervenção no plantio.

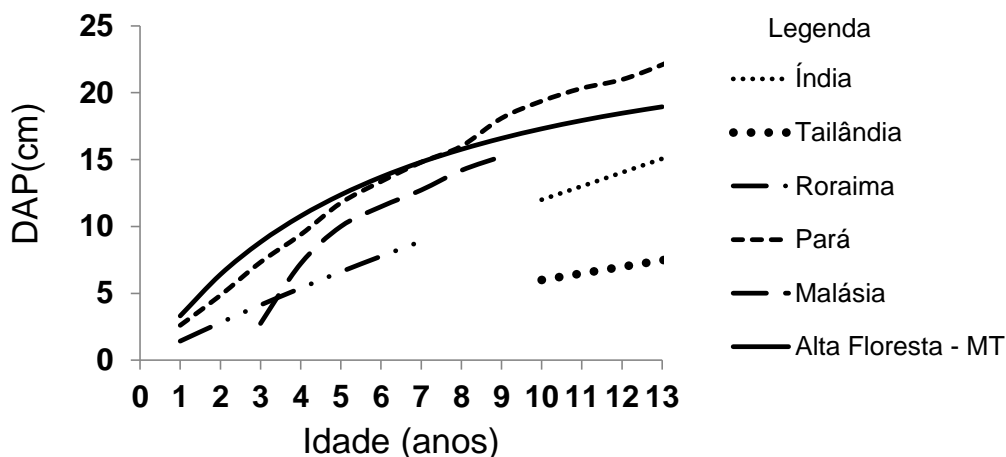


FIGURA 7 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO DA TECA NA ÍNDIA, TAILÂNDIA, MALÁSIA, RORAIMA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT. Fonte: Gyi & Tint, 1998; Noor, 2003; Rossi, 2011; Tonini, 2009.

Para completar a análise do crescimento, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em diâmetro cujos resultados são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO PARA *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA, MT.

ID (anos)	DAP (cm)	ICA (cm/ano)	IMA (cm/ano)
1	3,3156	3,4852	3,3156
2	6,4085	2,7246	3,2043
3	8,8337	2,1577	2,9446
4	10,7767	1,7496	2,6942
5	12,3677	1,4464	2,4735
6	13,6930	1,2139	2,2822
7	14,8120	1,0310	2,1160
8	15,7669	0,8840	1,9709
9	16,5889	0,7638	1,8432
10	17,3014	0,6642	1,7301
11	17,9225	0,5805	1,6293
12	18,4665	0,5094	1,5389
13	18,9448	0,4486	1,4573

O crescimento em diâmetro obtido no plantio estudado aos 10 anos de idade (17,3 cm) foi superior ao obtido por Gyi & Tint (1998), que encontraram 12 cm na Índia e 6 cm na Tailândia, aos 10 anos de idade. Chaves & Fonseca (1991) obtiveram crescimento em diâmetro de 11,3 a 12,5

cm na idade de 10 anos, para a América Central, resultado esse inferior ao encontrado neste estudo.

O incremento médio em DAP aos 9 anos foi semelhante ao observado por Noor (2003) em plantios de teca na Malásia com valor de 1,7 cm/ano.

Também foi encontrado resultado semelhante ao obtido por Rossi *et al.* (2011) ao encontrar incremento médio de 2,11 cm/ano aos 7 anos para o município de Monte Dourado, Pará.

Tonini *et al.* (2009) obtiveram incremento médio anual de 1,27 cm/ano aos 7 anos para o município de Iracema-RR, resultado esse que difere do encontrado neste trabalho, onde o IMA foi de 2,11 (cm/ano), o que mostra que a espécie teve um melhor crescimento nessa região da Amazônia, norte do Estado de Mato Grosso.

A plotagem do incremento médio anual e do incremento corrente anual em gráfico bivariado (Figura 8) mostra que o máximo incremento médio anual em diâmetro ocorre aos 1,3 anos, quando a curva do IMA interceptou a curva do ICA, indicando ser esta a idade aproximada da maximização do crescimento em diâmetro.

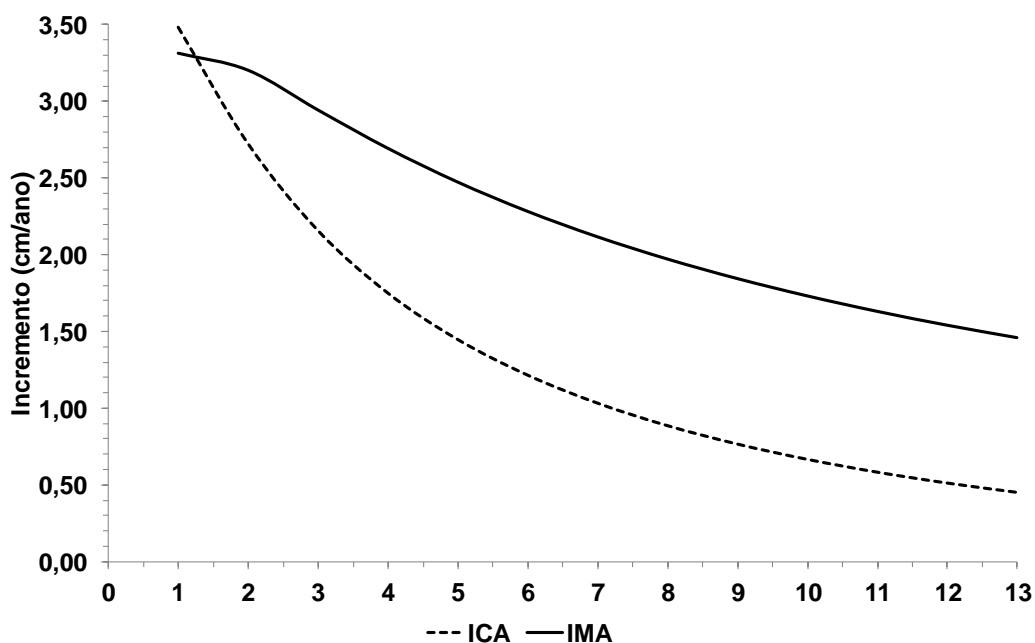


FIGURA 8- INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM DIÂMETRO POR IDADE, PARA *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA, MT.

O resultado verificado neste estudo para o máximo IMA difere do obtido por Menon *et al.* (2011) para a mesma espécie e município onde as referidas

curvas se cruzaram entre os 4 e 5 anos de idade; o mesmo foi verificado por Noor (2003) em Perlis-Malásia para a *Tectona grandis*. Isso indica que o máximo incremento em diâmetro no plantio estudado ocorreu antes do esperado.

4.3.2 Crescimento em Altura

Na análise do crescimento da altura, foram testados os modelos matemáticos relacionados na Tabela 3. Os estimadores dos parâmetros dos modelos, os coeficientes de determinação ($R^2_{aj.}$), coeficiente de variação (CV%), erro padrão da estimativa (S_{yx}), valor de F, erro médio quadrático (REMQ) e erro médio absoluto (EMA) para cada modelo são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES TESTADAS PARA AJUSTAR O CRESCIMENTO DA ALTURA.

Equação	Autor	Coeficientes				R^2_{Aj}	S_{yx}	CV%	F	REMQ	EMA
		b_0	b_1	b_2	b_3						
1	Backman	-3,10	2,31	-0,223	-	0,86	1,51	11,68	815,7	1,50	1,21
2	Chapman-Ricards	18,31	0,02	1,081	-	0,86	1,51	11,65	820,4	1,50	1,21
3	Gram	-1,26	1,07	-0,009	-	0,85	1,56	12,10	751,3	1,56	1,25
4	Hoerl	2,09	-15,98	0,187	-	0,87	1,50	11,62	825,7	1,49	1,20
5	Mitscherlich	18,65	0,02	-	-	0,86	1,51	11,65	1230,2	1,50	1,21
6	Moissev	0,72	0,06	-0,001	0,000002	0,84	1,65	12,80	494,0	1,64	1,31
7	Schumacher	2,98	-21,80	-	-	0,85	1,57	12,17	1111,1	1,57	1,29
8	Desconhecido	3,15	-38,80	372,263	-2196,86	0,87	1,50	11,59	830,2	1,49	1,20

Os resultados da Tabela 10 mostram que, de maneira geral, os modelos apresentaram ajuste e coeficiente de variação em torno de 0,85 e 12%, respectivamente, assim como a estatística F se mostrou bastante elevada para todos. A raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) variou entre 1,49 m e 1,64 m, e o erro médio absoluto (EMA) apresentou resultados entre 1,21m e 1,31m.

Em função dos valores obtidos, os modelos de Hoerl e Desconhecido foram os que apresentaram maior precisão nas estimativas.

Na Figura 9, que representa a distribuição gráfica dos resíduos entre a altura observada em cada idade e a estimada pelo modelo, pode-se verificar que os modelos de uma forma geral apresentam certo padrão de tendenciosidade de superestimar. O modelo Desconhecido se destaca devido a dispersão mais homogênea dos resíduos, diferente do que ocorre nos demais modelos, onde ocorreu maior dispersão dos resíduos e maior tendenciosidade para superestimar os dados.

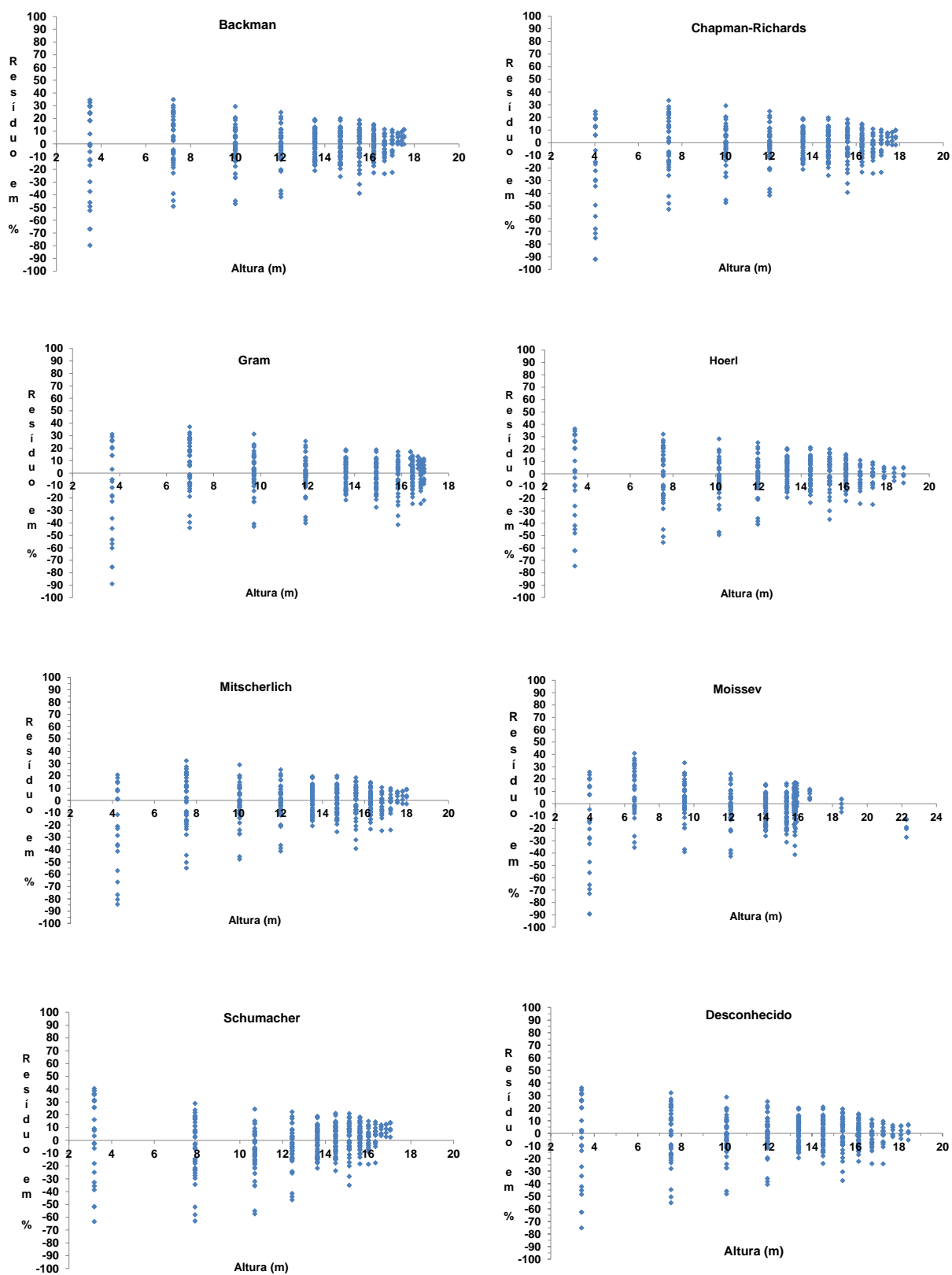


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE CRESCIMENTO EM ALTURA.

A análise da Tabela 10 e da Figura 9 mostra o modelo Desconhecido como o mais adequado para descrever o crescimento em altura, por apresentar uma superioridade no R^2_{aj} (0,87), menor erro padrão (1,50), coeficiente de variação com menor valor (11,59%) e dispersão mais homogênea dos resíduos.

Selecionado o modelo Desconhecido, estimou-se o crescimento em altura em função da idade, cujo resultado é mostrado na Figura 10.

Observa-se na Figura 10 que o crescimento em altura apresenta padrão sigmoidal, com crescimento inicial rápido até os 3 anos de idade, diminuindo gradativamente após esta. Nota-se, ainda, que a altura da teca neste estudo aumentou progressivamente com a idade.

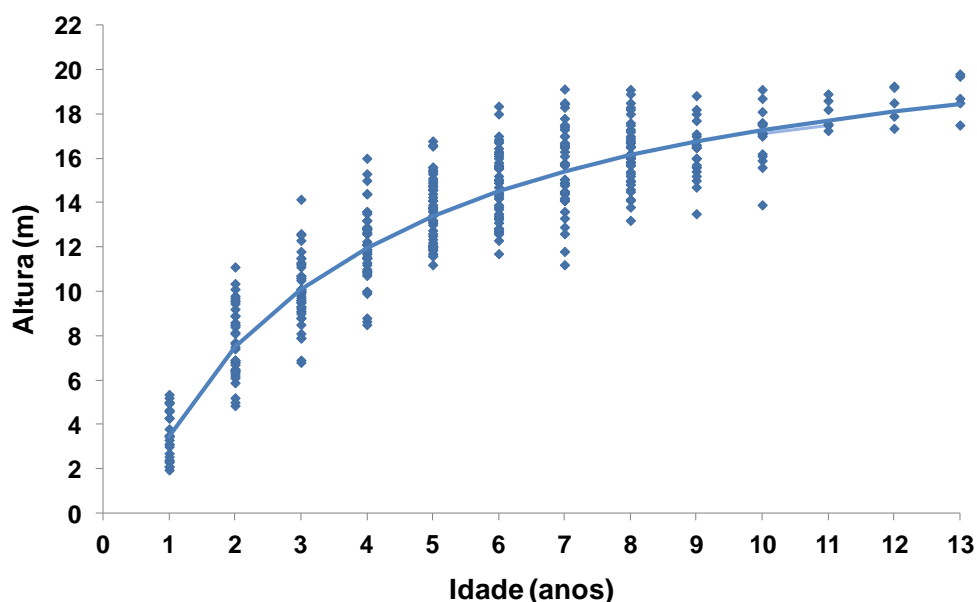


FIGURA 10 - CRESCIMENTO EM ALTURA DE *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA, MT.

Esse comportamento também foi observado por Chaves e Fonseca (1991) que estudando *Tectona grandis* na América Central descreveram que o crescimento inicial em altura da teca é rápido.

O crescimento em altura obtido neste estudo foi superior aos encontrados onde a teca é nativa, como Índia e Tailândia; também foi mais significativo quando compara com o crescimento na Malásia e nos estados de Roraima e do Pará (Figura 11).

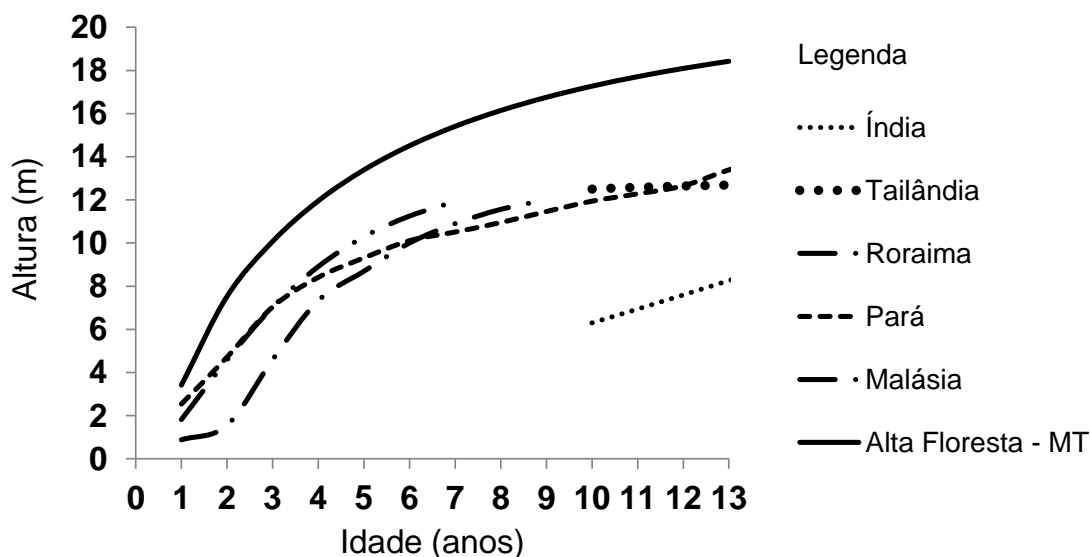


FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DE TECA NA ÍNDIA, TAILÂNDIA, MALÁSIA, RORAIMA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT. Fonte: Gyi & Tint, 1998; Noor, 2003; Rossi, 2011; Tonini, 2009.

Para completar a análise do crescimento, foram calculados o incremento médio anual (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) em altura para a espécie, cujos resultados são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM ALTURA PARA *Tectona grandis*, NA ÁREA DE ESTUDO.

ID (anos)	H (m)	ICA (m/ano)	IMA (m/ano)
1	3,42	6,41	3,42
2	7,53	3,01	3,76
3	10,08	2,16	3,36
4	11,95	1,63	2,99
5	13,39	1,26	2,68
6	14,51	1,00	2,42
7	15,41	0,81	2,20
8	16,14	0,67	2,02
9	16,75	0,56	1,86
10	17,27	0,48	1,73
11	17,71	0,41	1,61
12	18,09	0,36	1,51
13	18,42	0,31	1,42

As alturas observadas no presente estudo (Tabela 11) ao longo dos 13 anos de idade do plantio se mostram ora inferiores, ora superiores aquelas

observadas na literatura técnica. Para plantios da espécie na Malásia em espaçamento de 3 X 4 m, Krishnapillay (2000) obteve crescimento de 4,0 m em altura no primeiro ano de idade, resultado este superior o encontrado neste estudo, que foi de 3,42 m nessa mesma idade.

Resultados em altura inferiores aos verificados neste estudo para povoamentos de teca foram obtidos por: Gyi e Tint (1998) na Índia, altura de 6,3 m, e na Tailândia, altura de 6,0 m, ambos com 10 anos de idade, frente ao valor de 17,27 m observada em Alta Floresta-MT; Tonini *et. al.* (2009), em Iracema-RR, espaçamento de 3 m x 2m, altura de 11,92 m na idade de 7 anos contra 15,41 m em Alta Floresta-MT; Rossi *et. al.* (2011), em Monte Dourado-PA, espaçamento de 3 m x 2 m e 3 m x 3m, altura de 13,39 m aos 13 anos de idade frente ao valor de 18,42 m deste estudo.

O incremento corrente anual em altura, na idade de 2 anos, calculado em 3,01 m/ano, foi superior ao obtido por Noor (2003) em Perlis-Malásia, para a mesma idade (0,72 m/ano).

Quanto ao incremento médio anual em altura, os valores constantes na Tabela 11 se posicionam ora superiores, ora inferiores aos constantes na literatura técnica. Chaves & Fonseca (1991) obtiveram valores de IMA variando entre 2,62 m/ano a 3,06 m/ano para sítios na América Central, aos 5 anos de idade, e IMA com valores variando entre 1,83 m/ano a 2,24 m/ano, aos 9 anos de idade, todos superiores aos verificados neste estudo.

Também, para a teca no Panamá, Mollinedo (2003) obteve valor de IMA de 1,81 m/ano em sítios de baixo crescimento e de 3,72 m/ano em sítios de alto crescimento aos 10 anos de idade, valores estes superiores ao verificado neste estudo para essa idade, que foi de 1,73 m/ano.

Por outro lado, valores inferiores àqueles obtidos neste estudo foram observados nos trabalhos de Noor (2003) e Rossi *et. al.* (2011). Para a idade de 2 anos Noor (2003) obteve IMA de 0,72 m/ano para a teca em Perlis-Malásia, enquanto que Rossi *et. al.* (2011) obtiveram o valor de 1,03 m/ano aos 13 anos (Monte Dourado – PA); neste estudo, o valor do IMA foi de 3,76 m/ano aos 2 anos e de 1,42 m/ano aos 13 anos.

Através da plotagem dos valores do incremento médio anual em altura com os do incremento corrente anual em gráfico bivariado (Figura 12), verifica-se que o máximo incremento médio anual em altura ocorre aos 1,8

anos quando as curvas se interceptam, indicando ser esta a idade aproximada de maximização do crescimento em altura.

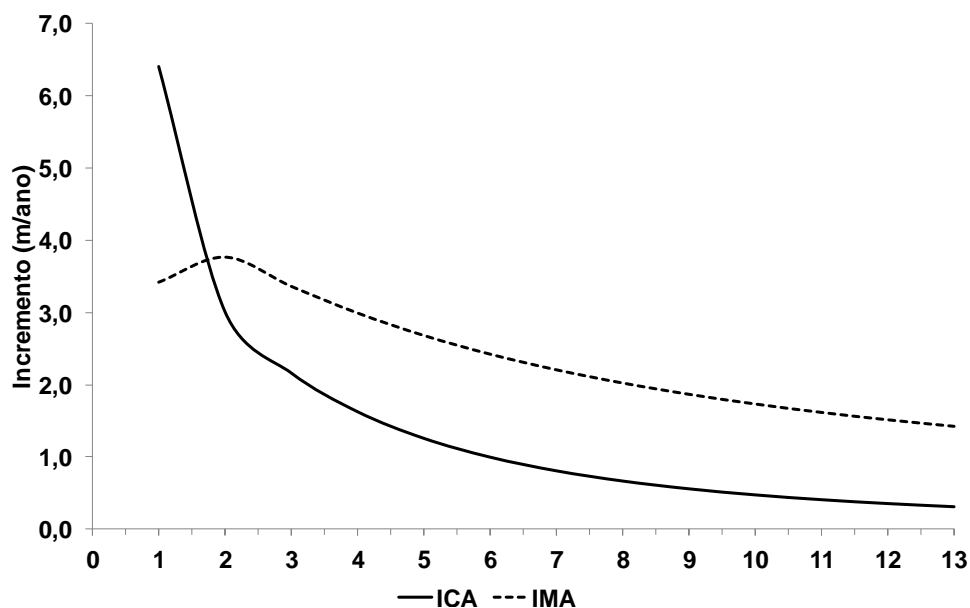


FIGURA 12 - INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM ALTURA POR IDADE, PARA *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA-MT.

A falta de tratamentos silviculturais influencia o crescimento das variáveis dendrométricas, no caso da altura, o máximo ICA_H ocorre mais cedo em espaçamentos menores devido a maior competição entre os indivíduos.

4.3.3 Crescimento do Volume

Na análise do crescimento do volume, foram testados os modelos matemáticos relacionados na Tabela 3. Os estimadores dos parâmetros dos modelos, os coeficientes de determinação ($R^2_{aj.}$), coeficiente de variação (CV%), erro padrão da estimativa (S_{yx}), valor de F, erro médio quadrático (REM_Q) e erro médio absoluto (EMA) para cada modelo são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES TESTADAS PARA AJUSTAR O CRESCIMENTO DO VOLUME.

Equação	Autor	Coeficientes				R^2_{Aj}	S_{yx}	CV%	F	REMQ	EMA
		b_0	b_1	b_2	b_3						
1	Backman	-14,34	4,401	-0,370	-	0,82	0,024	22,7	478,1	0,023	0,017
2	Chapman-Ricards	0,28	0,014	2,130	-	0,83	0,023	22,6	482,6	0,023	0,018
3	Gram	-10,53	2,122	-0,011	-	0,82	0,024	22,8	472,6	0,023	0,017
4	Hoerl	-4,55	-39,477	0,656	-	0,82	0,024	22,8	474,4	0,023	0,017
5	Mitscherlich	53,20	0,00003	-	-	0,81	0,025	23,9	630,3	0,025	0,019
6	Moissev	-5,86	0,094	-0,001	0,000002	0,82	0,024	22,8	472,0	0,023	0,017
7	Schumacher	-1,24	-72,357	-	-	0,80	0,025	24,4	600,7	0,025	0,018
8	Desconhecido	-0,74	-135,330	1993,91	-16203,0	0,82	0,024	22,7	478,4	0,023	0,017

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações apresentaram certa uniformidade para expressar o crescimento volumétrico da espécie estudada.

Os modelos apresentaram pouca diferença para valores do erro padrão da estimativa, o que indica que todos os modelos tiveram comportamento equivalente.

Quanto ao coeficiente de variação apresentaram valores altos, sendo que o que apresentou maior precisão das estimativas foi o modelo de Chapman-Richards.

Quanto à estatística F, esse parâmetro se mostrou ser significativo para todas as equações.

Tanto na raiz quadrada do erro médio quadrático (REMQ) quanto no Erro médio absoluto (EMA) a diferença das estatísticas foi mínima.

De acordo com a Tabela 12 destacam-se os seguintes modelos: o de Chapman-Richards, que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado (0,83) e menor coeficiente de variação de 22,6%; o modelo desconhecido, com valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,82 e coeficiente de variação de 22,7%.

Na Figura 13, que representa a distribuição gráfica dos resíduos entre o volume observado em cada idade e a estimada pelo modelo, pode-se verificar que os modelos de uma forma geral apresentam o mesmo padrão. O modelo de Chapman-Richards se destaca, devido a dispersão mais homogênea dos resíduos; todos os modelos apresentaram tendenciosidade para superestimar os dados.

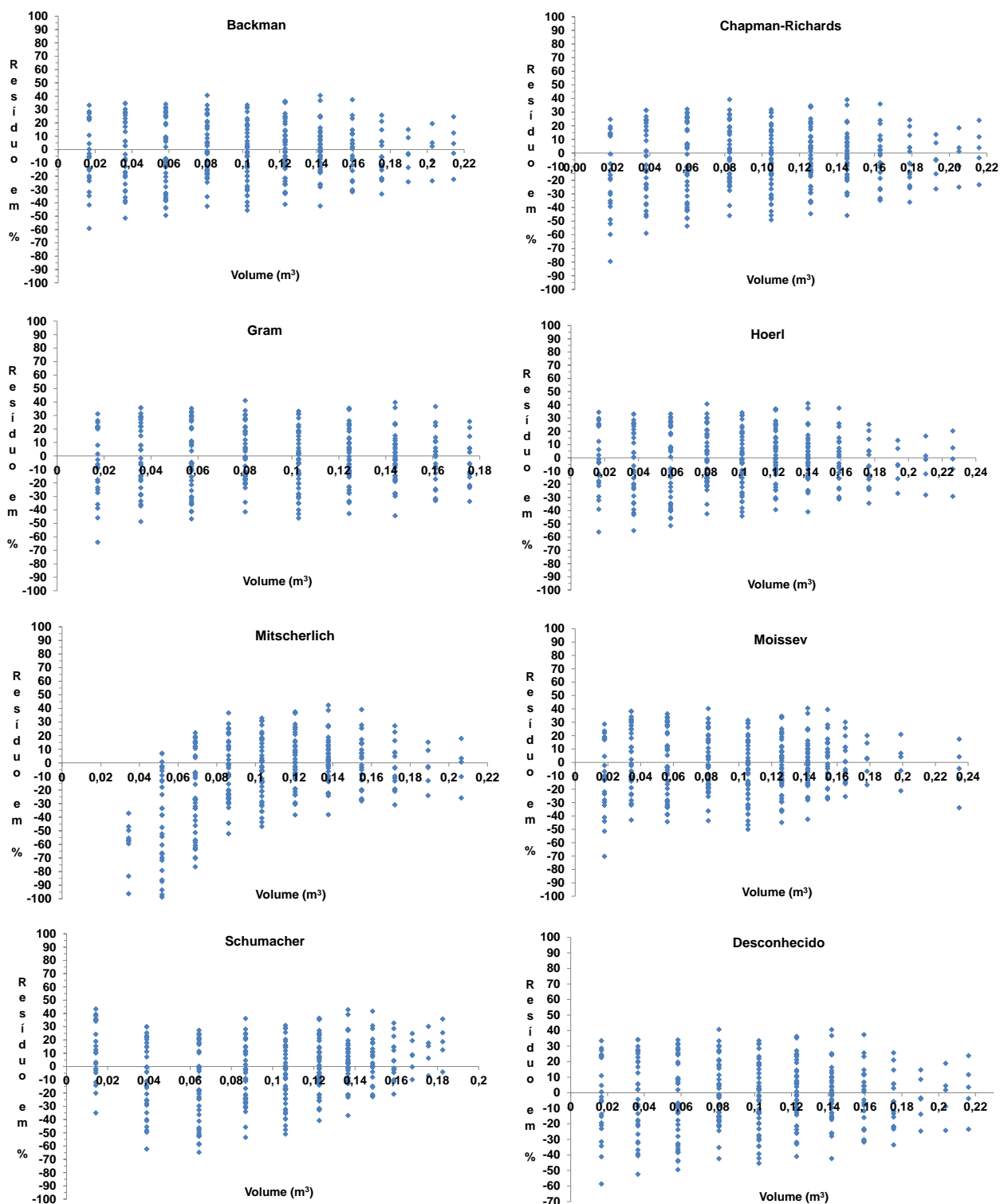


FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA MODELOS DE CRESCIMENTO EM VOLUME.

Analisando a Tabela 12 e a Figura 13 mostra o modelo de Chapman-Richards como o mais adequado para descrever o crescimento do volume, por apresentar uma superioridade no R^2_{aj} , erro padrão com o menor

valor, coeficiente de variação inferior e dispersão com um padrão homogêneo dos resíduos.

Em função disso, o modelo de Chapman-Richards foi o selecionado; resultado semelhante foi obtido por Tonini *et. al.* (2009), estudando o crescimento em volume, no município de Iracema – RR.

Com o modelo de Chapman-Richards estimou-se o crescimento em volume em função da idade, cujo resultado é mostrado na Figura 14. Observa-se na Figura 14 que o padrão apresentado coincide com o padrão típico de crescimento das árvores que é sigmoidal; o crescimento aumenta lentamente nos anos iniciais, porém com aumento exponencial ao longo dos 13 anos.

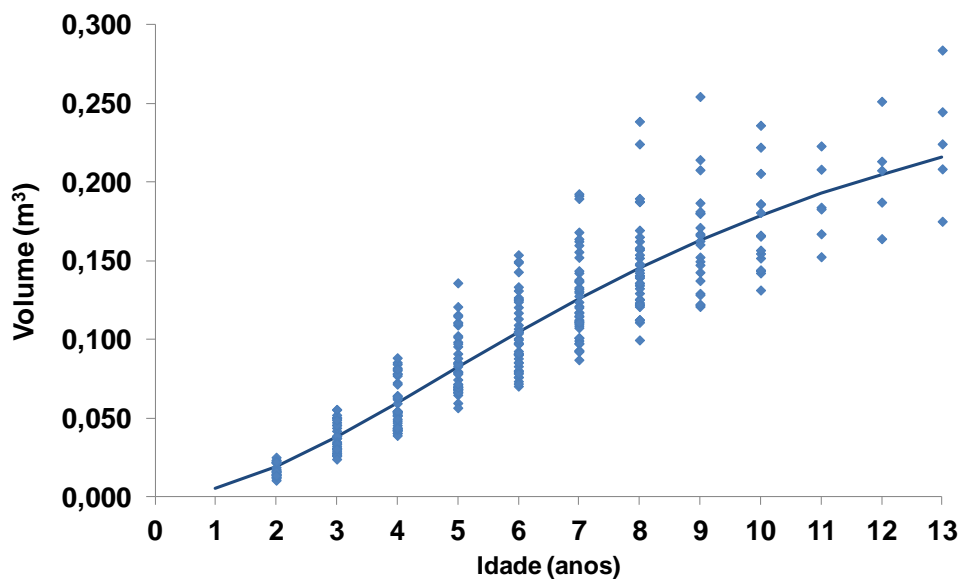


FIGURA 14 - CRESCIMENTO EM VOLUME DE *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA - MT.

O crescimento em volume obtido neste estudo foi superior aos encontrados na Índia, onde a teca é nativa, e no estado de Roraima (Figura 15). No entanto, observa-se que a curva de crescimento em Alta Floresta tende a decrescer por volta dos 13 anos de idade diferentemente do que ocorre nas outras regiões.

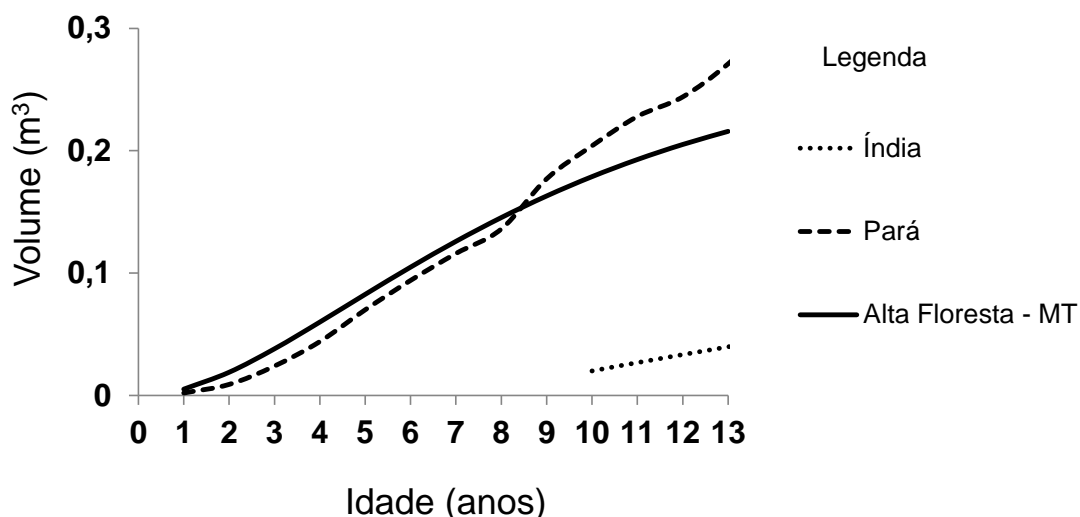


FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DO VOLUME DA TEÇA NA ÍNDIA, PARÁ E ALTA FLORESTA – MT. Fonte: Gyi & Tint, 1998; Rossi, 2011.

Para completar a análise de crescimento, foi calculado o incremento médio anual em volume (IMA) e o incremento corrente anual (ICA) cujos resultados são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 - ESTIMATIVAS DO CRESCIMENTO EM VOLUME PARA *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA - MT.

ID	Volume (m ³)	ICA (m ³ /ano)	IMA (m ³ /ano)
1	0,0051	0,0100	0,0051
2	0,0189	0,0170	0,0095
3	0,0381	0,0209	0,0127
4	0,0600	0,0225	0,0150
5	0,0826	0,0226	0,0165
6	0,1049	0,0217	0,0175
7	0,1259	0,0203	0,0180
8	0,1454	0,0186	0,0182
9	0,1630	0,0167	0,0181
10	0,1788	0,0149	0,0179
11	0,1928	0,0131	0,0175
12	0,2051	0,0115	0,0171
13	0,2159	0,0100	0,0166

O crescimento em volume obtido no plantio estudado aos 10 anos de idade (0,178 m³) foi superior ao obtido por Gyi & Tint (1998), que encontraram 0,02 m³ na Índia, aos 10 anos de idade. Rossi *et. al.* (2011) obteve

crescimento de 0,204 em volume, aos 10 anos de idade, resultado superior ao encontrado neste estudo.

O incremento médio em volume aos 10 anos foi superior ao observado por Gyi & Tint (1998) em plantios de teca na Índia, com valor de 0,0149 m³/ano.

Comportamento semelhante foi observado no trabalho de Rossi *et al.* (2011), com a espécie *Tectona grandis*, no município de Monte Dourado - Pará, quando a partir dos 10 anos de idade o incremento corrente anual em volume começa a diminuir, indicando a necessidade de intervenção silvicultural no plantio.

A plotagem dos valores do ICAv e IMAv, conforme Figura 16, mostra que o máximo incremento médio anual em volume ocorre aos 8,6 anos, quando as curvas se interceptam, indicando ser esta a idade aproximada de maximização do crescimento em volume e portanto aquela indicada para a exploração da espécie nesse povoamento localizado em Alta Floresta – MT.

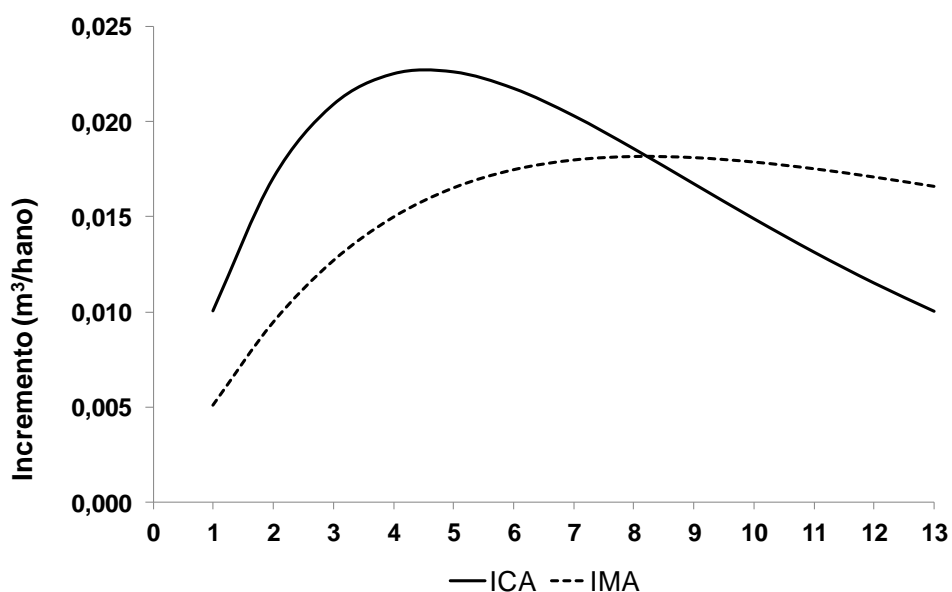


FIGURA 16 - INCREMENTO MÉDIO E CORRENTE EM VOLUME POR IDADE, PARA *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA – MT.

O crescimento em volume é dependente do crescimento em diâmetro e altura. Segundo Noor (2003) se as curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual em diâmetro e altura se cruzam em determinada idade, o mesmo deveria ocorrer com as curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual em volume.

Analisando o crescimento das variáveis dendrométricas estudadas para a espécie *Tectona grandis* em um plantio em Alta Floresta-MT, verifica-se que o incremento máximo para diâmetro e altura ocorre em torno dos 1,5 anos e para volume em torno dos 8 anos, o que indica que deveria ter ocorrido um desbaste no povoamento por volta dos 6 anos de idade, frente as variáveis dendrométricas serem altamente influenciadas pelo espaçamento; isto pode explicar o fato do incremento máximo, ter ocorrido muito cedo para algumas variáveis.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DO LOCAL

4.4.1 Teste de Anamorfismo

O teste de anamorfismo foi realizado com o uso do modelo de Shumacher para gerar as curvas de sítios. Após estabelecer a relação linear entre o índice de sítio e a altura dominante nas idades em estudo (Figura 17), foi notável a existência de uma alta correlação entre o índice de sítio e a altura das árvores dominantes, em que o coeficiente de correlação (R^2) sempre foi maior que 0,999.

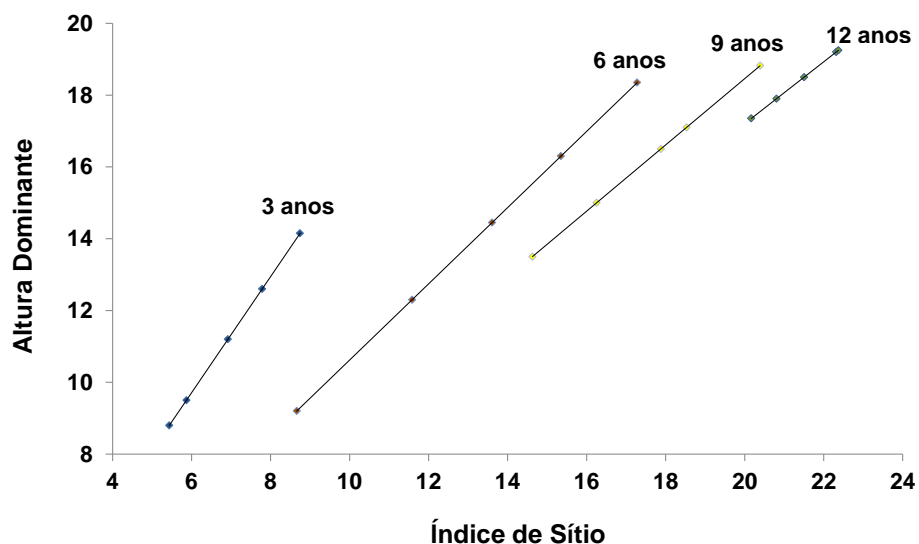


FIGURA 17 - RELAÇÃO LINEAR ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO E A ALTURA DOMINANTE NAS IDADES DE 3, 6, 9 E 12 ANOS.

O parâmetro β_1 variou e β_0 permaneceu constante, conforme Tabela 14, esse fato indica que os pares de altura – idade são anamórficos. Assim, conclui-se que há relação linear entre o índice de sítio e a idade.

TABELA 14 - PARÂMETROS ESTIMADOS PARA RELAÇÃO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE – ALTURA DAS ÁRVORES DOMINANTES PARA DIFERENTES IDADES.

Idades Consideradas (anos)	β_0	β_1
3	0,0000000000000001	0,617860816
6	0,0000000000000004	0,941588903
9	-0,0000000000000011	1,08355649
12	-0,0000000000000039	1,162376097

Este comportamento indica, segundo Scolforo (1997) que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local, o que indica que as curvas de índice de sítio para a *Tectona grandis* das áreas estudadas têm um padrão anamórfico. A dispersão das observações individuais em relação à linha de regressão sugere uma relação linear com intercepto zero, como sendo uma suposição válida para a maioria dos casos.

4.4.2 Ajuste dos Modelos Testados

A Tabela 15 apresenta o resultado dos 6 modelos matemáticos ajustados para a classificação de sítio pelo método da curva-guia.

TABELA 15 - OS COEFICIENTES, AJUSTE (R^2_{AJ}), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV%), S_{YX} , F, ERRO MÉDIO E DESVIO DOS RESÍDUOS PARA CADA EQUAÇÃO.

Equação	Autor	Coeficientes				R^2_{Aj}	S_{yx}	CV%	F	REMQ	EMA
		b_0	b_1	b_2	b_3						
1	Prodan	-0,017	0,209	0,042	-	0,70	1,46	10,16	249,9	1,45	1,17
2	Schumacher	3,064	-2,263	-	-	0,71	1,44	10,03	388,2	1,43	1,16
3	Backman	1,406	1,022	-0,172	-	0,71	1,45	10,06	256,6	1,44	1,16
4	Chapman-Richards	18,956	0,227	0,861	-	0,71	1,44	10,06	257,1	1,44	1,16
5	Bailey (3 coeficientes)	19,163	0,286	0,907	-	0,71	1,44	10,05	257,3	1,44	1,16
6	Bailey (4 coeficientes)	21,060	3,106	0,230	38,76	0,71	1,44	10,03	259,1	1,43	1,16

Constata-se que os seis modelos testados apresentaram ajustes médios e com estatísticas muito próximas.

A Figura 18 mostra os gráficos de dispersão dos resíduos, onde é visível a semelhança de todos os modelos, podendo-se perceber que não existe nenhuma tendência clara de dispersão.

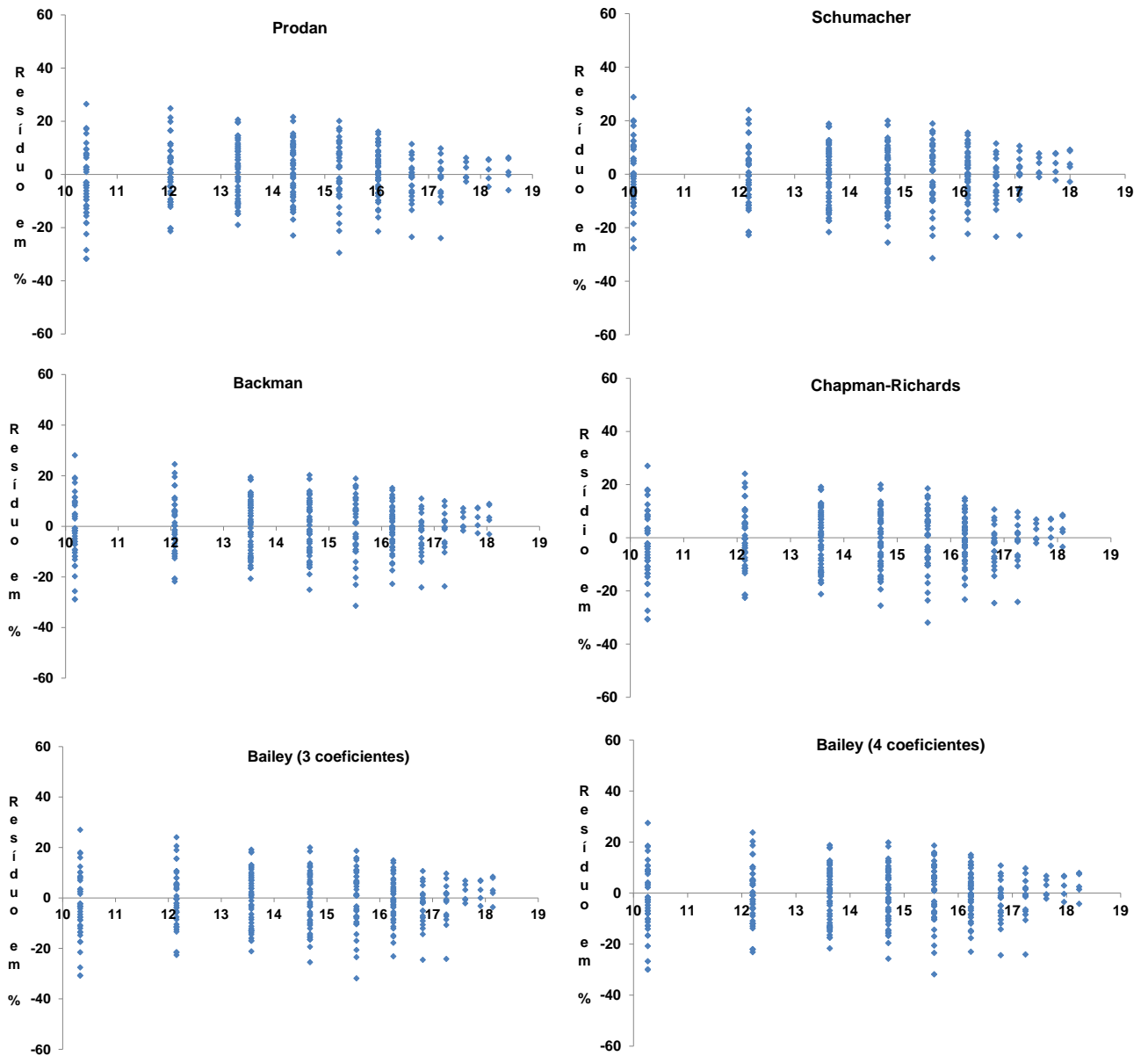


FIGURA 18 - RESÍDUO PERCENTUAL EM FUNÇÃO DA IDADE, PARA OS 6 MODELOS TESTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA.

Sendo assim, pelo motivo de todas as estatísticas avaliadas dos seis modelos serem muito parecidas e os gráficos de resíduos não se diferirem visualmente, o modelo de Schumacher foi selecionado para gerar as curvas de sítio, por ser amplamente utilizado na literatura e apresentar ajustes precisos.

A escolha do modelo de Schumacher está em consonância com a literatura. Trabalhos de classificação de sítios desenvolvidos por pesquisadores na área florestal o apontaram como um modelo de boa performance para a construção de curvas de índice de sítios, entre os que se pode citar Martins, *et al.* (2007), trabalhando com plantios de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no agreste de Pernambuco e 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.

Após ser escolhido o melhor modelo foi possível construir os limites inferiores e superiores para as diferentes classes de sítio. Foi adotada a utilização de 4 diferentes classes de sítio visando uma maior estratificação do povoamento, em consonância ao realizado em outros trabalhos da literatura técnica.

Os limites inferiores e superiores de cada sítio na idade índice ou referência (7 anos), determinados via modelo de Schumacher, são apresentados Tabela 16 .

TABELA 16 - VALORES ENCONTRADOS PARA O CÁLCULO DOS LIMITES INFERIORES E SUPERIORES.

Dados calculados	Valores encontrados
Hdom na idade de índice (m)	15,5
Limite inferior (m)	11,8
Limite superior (m)	19,12
Amplitude total (m)	7,32
Número de classes de sítio	4
Amplitude entre classes (m)	1,83

Para a classificação de sítios tomou-se como base a curva média de crescimento, ajustada segundo o modelo utilizado; foram traçadas 4 curvas de sítio, com amplitude de 1,83 m, na idade índice 7 anos, cujos resultados são apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 - CLASSES DE SÍTIOS COM SEUS LIMITES, INFERIOR (LI), SUPERIOR (LS) E VALOR DO ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE PARA A IDADE DE REFERÊNCIA DE 7 ANOS.

Classes de sítio	LI	LS	Índice de sítio(S)
I	17,29	19,12	18,20
II	15,46	17,29	16,37
III	13,63	15,46	14,54
IV	11,8	13,63	12,71

O método da curva guia demonstrou ser para a base de dados estudada, um procedimento a se considerar, pois quando ajustados os modelos por este procedimento eles apresentaram estatísticas convincentes, com uma distribuição de resíduos sem nenhuma tendenciosidade e geram uma classificação quase que estável com o modelo selecionado (Schumacher). A Figura 19 mostra as quatro curvas limites definidas pelos valores da Tabela 17, que delimitam as 4 classes de sítio (I, II, III e IV).

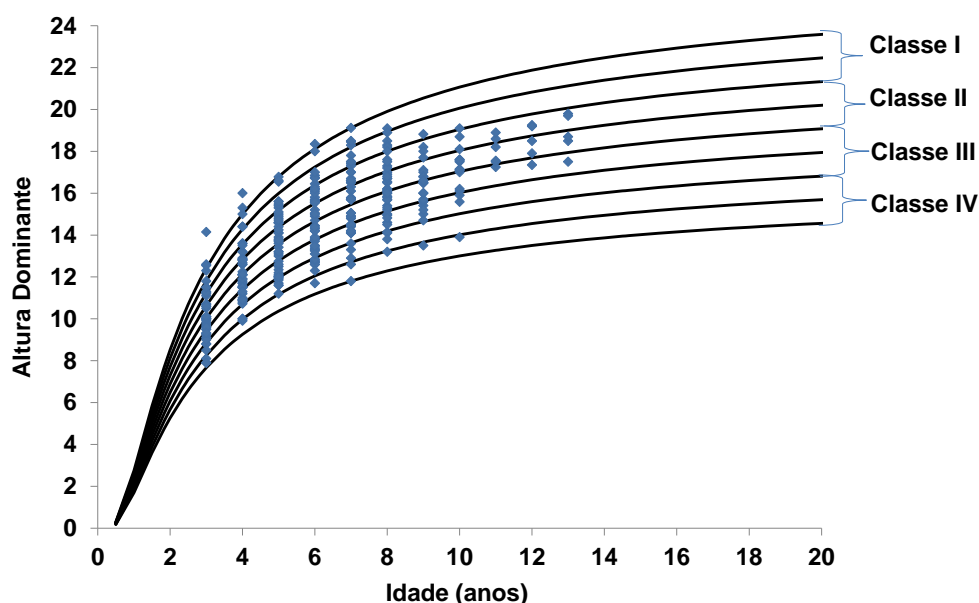


FIGURA 19 - CURVAS LIMITE DAS CLASSES DE PRODUTIVIDADE PARA O POVOAMENTO DE *Tectona grandis*, ALTA FLORESTA – MT.

Comparando os índices de sítio obtidos neste trabalho com aqueles encontrados por Novaes (2009) no município de Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, pode-se concluir que essa variabilidade entre os limites mínimos e máximos das classes é normal.

Encontrou-se para 4 classes de produtividade aos 7 anos de idade, alturas dominantes iguais: 18,21 m na classe I, 16,38 e 14,55 m na classe II e III, e 12,72 na classe IV (Tabela 18).

TABELA 18 – VALORES DAS CURVAS DE ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE.

Classes de Produtividade												
Idade (anos)	Classe I			Classe II			Classe III			Classe IV		
	LS 19,12	IS 18,20	LI 17,29	LS 17,29	IS 16,37	LI 15,46	LS 15,46	IS 14,54	LI 13,63	LS 13,63	IS 12,71	LI 11,8
1,0	2,75	2,62	2,49	2,49	2,35	2,22	2,22	2,09	1,96	1,96	1,83	1,70
2,0	8,52	8,11	7,71	7,71	7,30	6,89	6,89	6,48	6,07	6,07	5,67	5,26
3,0	12,42	11,83	11,24	11,24	10,64	10,05	10,05	9,45	8,86	8,86	8,26	7,67
4,0	15,00	14,29	13,57	13,57	12,85	12,13	12,13	11,41	10,70	10,70	9,98	9,26
5,0	16,80	16,00	15,19	15,19	14,39	13,58	13,58	12,78	11,98	11,98	11,17	10,37
6,0	18,12	17,25	16,38	16,38	15,52	14,65	14,65	13,78	12,92	12,92	12,05	11,18
7,0	19,12	18,21	17,29	17,29	16,38	15,46	15,46	14,55	13,63	13,63	12,72	11,80
8,0	19,91	18,96	18,00	18,00	17,05	16,10	16,10	15,14	14,19	14,19	13,24	12,29
9,0	20,54	19,56	18,58	18,58	17,59	16,61	16,61	15,63	14,65	14,65	13,66	12,68
10,0	21,07	20,06	19,05	19,05	18,04	17,03	17,03	16,03	15,02	15,02	14,01	13,00
11,0	21,51	20,48	19,45	19,45	18,42	17,39	17,39	16,36	15,33	15,33	14,30	13,27
12,0	21,88	20,83	19,78	19,78	18,74	17,69	17,69	16,64	15,60	15,60	14,55	13,50
13,0	22,20	21,13	20,07	20,07	19,01	17,95	17,95	16,89	15,82	15,82	14,76	13,70
14,0	22,47	21,40	20,32	20,32	19,25	18,17	18,17	17,10	16,02	16,02	14,95	13,87
15,0	22,72	21,63	20,54	20,54	19,46	18,37	18,37	17,28	16,19	16,19	15,11	14,02
16,0	22,93	21,84	20,74	20,74	19,64	18,54	18,54	17,45	16,35	16,35	15,25	14,15
17,0	23,12	22,02	20,91	20,91	19,80	18,70	18,70	17,59	16,48	16,48	15,38	14,27
18,0	23,30	22,18	21,07	21,07	19,95	18,84	18,84	17,72	16,61	16,61	15,49	14,38
19,0	23,45	22,33	21,21	21,21	20,08	18,96	18,96	17,84	16,72	16,72	15,60	14,47
20,0	23,59	22,46	21,33	21,33	20,20	19,08	19,08	17,95	16,82	16,82	15,69	14,56

Chaves e Fonseca (1991) definiram para Páramo na Colômbia 3 classes de sítio e encontraram altura dominantes aos 7 anos, com valores de 17,2 m, 15,8 m e 14,3 m. Esses valores demonstram que o crescimento da teca em Mato Grosso é ligeiramente superior.

Os valores encontrados neste trabalho diferem dos resultados obtidos por Weaver (1993) que classificando sítios nos países da Bacia do Caribe, utilizou 5 classes, cujos valores encontrados foram: 18 m para a classe I, 16 m para a classe II, 13 m para a classe III, 10 m para a classe IV e 7,5 m para a classe V.

Nunifu e Murchison (1999) classificaram o sítio para plantações do norte de Ghana e obtiveram 3 classes de sítio, com altura de 19 m, 14 m e 10 m, para as classes de sítio I, II e III, respectivamente, na idade de referência de 20 anos, resultados inferiores aos obtidos no presente estudo.

Quando se compara o crescimento de teca em Alta Floresta - MT com o obtido por Figueiredo (2005) na microrregião do Baixo Rio - Acre, percebe-se que os mesmos são bem diferenciados; este autor determinou 3 classes de sítio, com altura de 16 m para a classe I e de 10 m para a classe III, na idade de referência de 9 anos.

Os resultados encontrados para o plantio estudado mostram que a teca em Alta Floresta - Mato Grosso possui um crescimento em altura satisfatório, quando comparado com outras regiões.

4.5 MODELOS DE PRODUÇÃO TOTAL

Após definidos os modelos para estimar o volume de árvores individuais, alturas e a classificação do sítio, foi possível ajustar os modelos compatíveis para estimar a produção presente e futura em volume e área basal por unidade de área. Os modelos testados encontram-se relacionados na Tabela 5.

Neste trabalho optou-se pelo modelo de BECK & DELLA-BIANCA (1972), pela simplicidade e pela ligeira vantagem do ajuste e precisão em relação aos demais.

4.5.1 Produção Presente em Volume (m³/ha)

Para produção presente em volume (m³/ha) foi utilizada a equação de Beck & Della-Bianca (Tabela 5).

$$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{IS}\right) + \beta_2 * \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 * \ln(AB_1)$$

Onde:

V=volume em m³

IS=Índice de sítio

I=Idade (meses)

AB₁=Área basal na primeira medição (I₁) em m²/há

β₀, β₁, β₂, β₃=coeficientes do modelo

ln=logaritmo natural

As estatísticas do modelo são apresentadas na Tabela 19.

TABELA 19 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.

Coefficientes	Estimativa	R^2	R^2_{ajus}	S_{yx}	F
β_0	1,8147				
β_1	0,0606	0,9996	0,9996	0,0143	567849,73
β_2	-3,1272				
β_3	1,0368				

Os resultados mostram que a equação proporcionou um ótimo ajuste aos dados, com coeficiente de determinação ajustado com mais de 0,99, demonstrando que a variação dos dados foi bem explicada pelo modelo. Quanto ao erro padrão de estimativa, o valor encontrado foi muito pequeno, em torno de 0,0140. Com respeito a estatística F, este parâmetro mostrou-se bastante elevado, sendo altamente significativo.

Na Figura 20, pode ser observada a distribuição dos resíduos. Verifica-se pela análise do gráfico, que a equação selecionada, não apresenta nenhuma tendência de superestimar ou subestimar os dados.

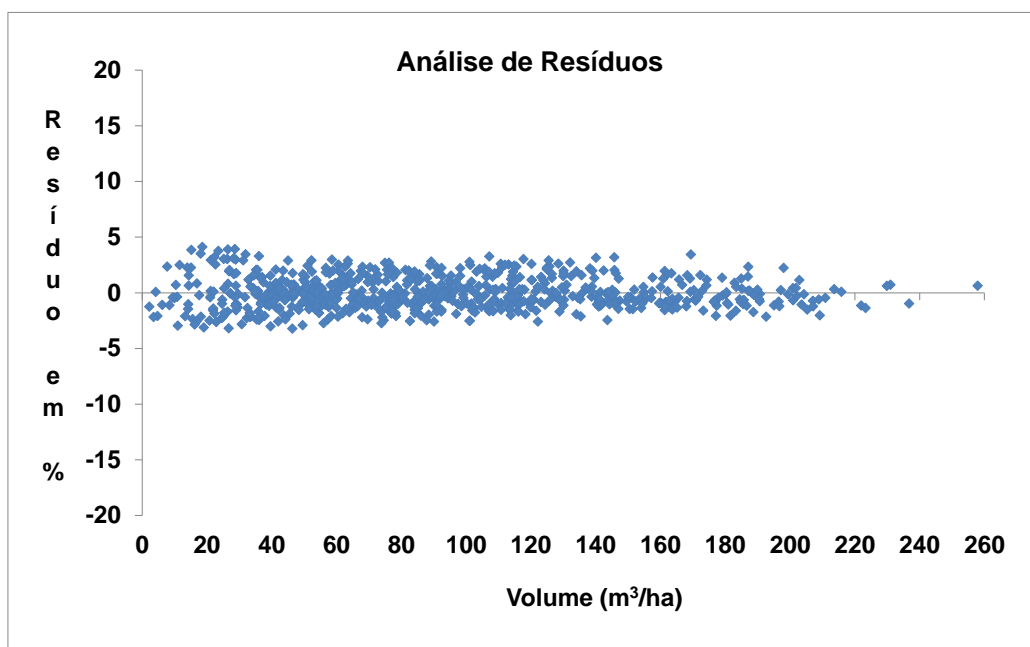


FIGURA 20 - RESÍDUO GRÁFICO DA PRODUÇÃO PRESENTE EM VOLUME.

4.5.2 Produção Futura em Volume (m³/ha)

Para produção futura em volume (m³/ha) foi utilizado o modelo de Beck & Della-Bianca (Tabela 5).

$$\ln(v_2) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{IS}\right) + \beta_2 * \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 * \left(\frac{I_1}{I_2}\right) * \ln(AB_1) + \beta_4 * \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) + \beta_5 * \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) * IS$$

Onde:

V₂=volume na idade de projeção (I₂) em m³/ha

I₁=idade presente

I₂=idade de projeção

As estatísticas do modelo são apresentadas na Tabela 20.

TABELA 20 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.

Coeficientes	Estimativa	R ²	R ² _{ajus}	S _{yx}	F
β ₀	1,516				
β ₁	2,328				
β ₂	-0,731	0,9654	0,9651	0,1034	3963,30
β ₃	1,099				
β ₄	1,173				
β ₅	0,177				

Este modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9651, explicando mais de 95% da variação total pela regressão, e um erro padrão de estimativa de 0,1034. Com respeito à estatística F, este parâmetro mostrou-se bastante elevado, sendo significativo.

Na Figura 21, podem ser observados os resíduos. Verifica-se pela análise do gráfico, que o modelo selecionado, não apresenta tendenciosidade, com amplitude de erro de ± 40%. Em função disso, esse foi o modelo selecionado.

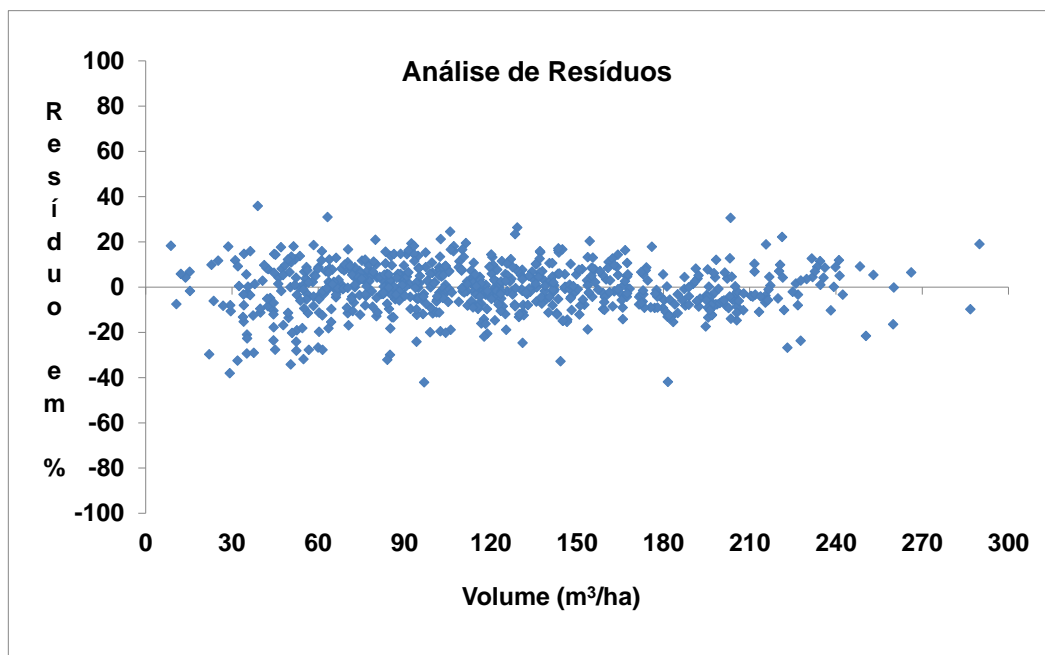


FIGURA 21 - RESÍDUO GRÁFICO DA PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO EM VOLUME.

4.5.3 Produção Presente em Área Basal (m²/ha)

Para produção presente em área basal (m²/ha) foi utilizado o modelo de Beck & Della-Bianca (Tabela 5).

$$\ln(AB) = \beta_0 + \beta_1 * IS + \beta_2 * \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 * \ln(AB) * \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_4 * \left(\frac{IS}{I}\right)$$

Onde:

AB=Área Basal em m²/ha

Ln, β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , IS, I=já definidos.

As estatísticas do modelo são apresentadas na Tabela 21.

TABELA 21 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO, ERRO PADRÃO E ESTATÍSTICA F.

Coeficientes	Estimativa	R ²	R ² _{ajus}	S _{yx}	F
β_0	2,6517				
β_1	0,0817				
β_2	-133,2576	0,8780	0,8772	0,1941	1137,11
β_3	-1,9559				
β_4	4,5907				

Este modelo apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,8772, explicando mais de 87% da variação total pela regressão, erro padrão de estimativa de 0,1941 indicando pouca dispersão entre os valores observados e os estimados pela equação, e estatística F significativa.

Na Figura 22, podem ser observados a dispersão dos resíduos deste modelo. Observa-se que não houve tendenciosidade para subestimar ou superestimar os dados; a amplitude de dispersão dos resíduos ficou em torno de $\pm 50\%$.

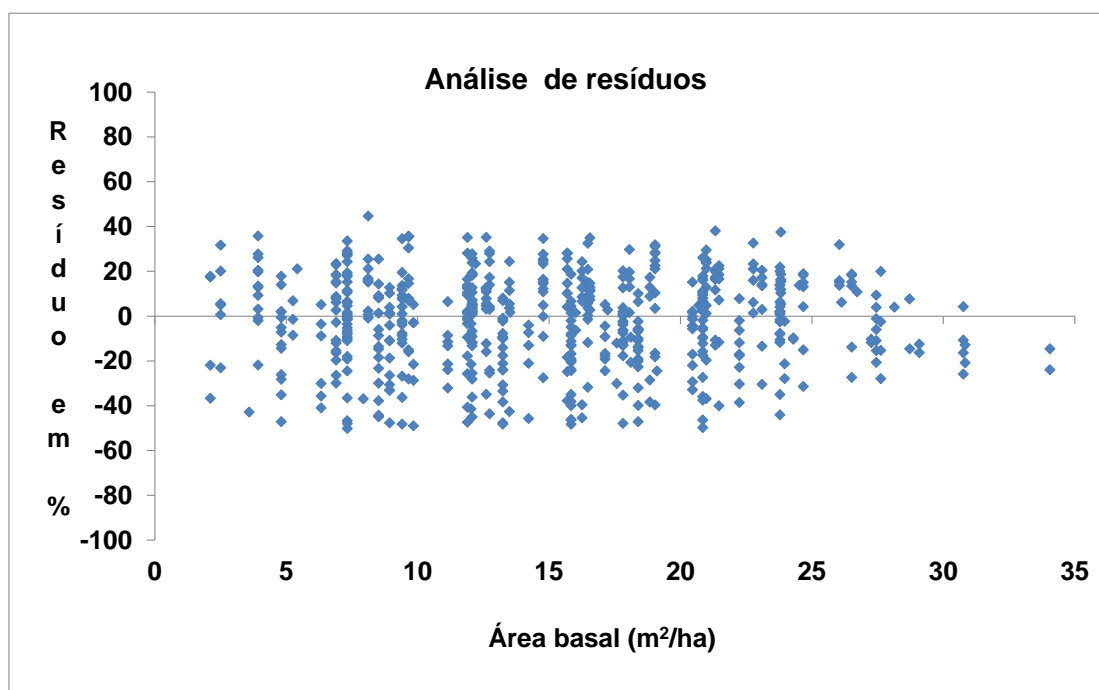


FIGURA 22 - RESÍDUO GRÁFICO DA PRODUÇÃO EM ÁREA BASAL.

4.5.4 Produção Futura em Área Basal (m^2/ha)

Do modelo de produção futura em volume (m^3/ha), derivou-se a função de produção futura em área basal (m^2/ha), que é dada pelo modelo:

$$\ln(AB_2) = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) * \ln(AB_1) + \alpha_1 * \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) + \alpha_2 * \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2}\right)\right) * IS$$

Onde:

AB_2 =Área Basal na idade de projeção em m^2/ha

$\alpha_1=\beta_4/\beta_3$

$\alpha_2=\beta_5/\beta_3$

I_1, I_2, IS = já definidos.

As estimativas dos parâmetros são apresentadas na Tabela 22.

TABELA 22 – ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DA FUNÇÃO DE ÁREA BASAL FUTURA.

Coeficientes Estimativa	
α_1	1,3265
α_2	0,1466

De posse das estimativas foi estimada a produção futura da área basal.

Diversos autores utilizaram o modelo de Beck & Della-Bianca para obter a produção presente e futura da floresta, entre eles:

Beck & Della-Bianca (1972) estudando o crescimento e produção de álamo-amarelo (*Liriodendron tulipifera* L.), para várias combinações de índice de sítio, idade e densidade de povoamentos não desbastados e em grande parte intacto, como resultado todas as variáveis independentes do modelo de rendimento foram altamente significativos, portanto, a equação foi utilizada para projetar o rendimento total.

Moraes e Silva (1999) estudando a produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. utilizou o modelo de Beck e Della-Bianca para representar a produção em volume e área basal da floresta estudada, e obteve estimativas precisas.

Resultados satisfatórios também foram encontrados por Scolforo (1992), testando funções em área basal e em volume; para predição e análise presente e futura do crescimento florestal, este autor optou por utilizar o modelo de Deck e Della-Bianca pela sua simplicidade.

Nas tabelas 23 e 24 são apresentados os resultados obtidos pela função de produção presente e futura em volume e área basal por classe de sítio e por hectare nas idades de 2 a 20 anos do povoamento de teca em Alta Floresta – MT.

Cabe ressaltar que os valores para as idades superiores a 13 anos foram calculados por extrapolação das funções do crescimento e por isso devem ser vistos com cautela.

TABELA 23 – PRODUÇÃO EM ÁREA BASAL PARA TECTONA GRANDIS EM ALTA FLORESTA – MT, PARA CLASSE DE PRODUTIVIDADE I, II, III E IV.

Idade (anos)	Classes de Produtividade											
	I			II			III			IV		
	G (m ² /ha)	IMA (m ² /ha/ano)	ICA (m ² /ha)	G (m ² /ha)	IMA (m ² /ha/ano)	ICA (m ² /ha)	G (m ² /ha)	IMA (m ² /ha/ano)	ICA (m ² /ha)	G (m ² /ha)	IMA (m ² /ha/ano)	ICA (m ² /ha)
2	5,05	2,75	6,94	2,99	1,63	4,72	1,78	0,97	3,16	1,07	0,58	2,11
3	12,28	4,33	7,07	8,31	2,93	5,49	5,62	1,98	4,19	3,84	1,36	3,18
4	18,79	4,90	5,91	13,54	3,53	4,89	9,76	2,55	3,98	7,08	1,85	3,20
5	24,12	4,99	4,77	18,02	3,73	4,09	13,48	2,79	3,45	10,13	2,10	2,88
6	28,41	4,87	3,86	21,76	3,73	3,39	16,67	2,86	2,93	12,82	2,20	2,50
7	32,42	4,63	3,06	25,32	3,62	2,74	19,78	2,83	2,42	15,50	2,21	2,10
8	34,78	4,44	2,62	27,44	3,50	2,37	21,66	2,77	2,11	17,15	2,19	1,86
9	37,18	4,21	2,20	29,63	3,35	2,01	23,62	2,67	1,81	18,88	2,14	1,61
10	39,21	3,99	1,87	31,50	3,20	1,73	25,30	2,57	1,57	20,38	2,07	1,40
11	40,95	3,78	1,61	33,10	3,06	1,50	26,77	2,47	1,37	21,69	2,00	1,23
12	42,45	3,59	1,40	34,50	2,92	1,31	28,05	2,37	1,20	22,85	1,93	1,08
13	43,77	3,41	1,40	35,73	2,78	1,15	29,17	2,27	1,06	23,87	1,86	0,96
14	45,49	3,07	1,31	37,04	2,50	0,92	30,17	2,03	0,65	24,61	1,66	0,48
15	46,42	2,93	1,23	37,93	2,40	0,86	31,00	1,96	0,61	25,38	1,60	0,45
16	47,26	2,81	1,15	38,74	2,30	0,81	31,76	1,89	0,58	26,08	1,55	0,42
17	48,02	2,69	1,09	39,47	2,21	0,76	32,45	1,82	0,54	26,71	1,50	0,40
18	48,70	2,59	1,03	40,13	2,13	0,72	33,07	1,76	0,51	27,29	1,45	0,37
19	49,33	2,49	0,98	40,74	2,05	0,69	33,65	1,70	0,49	27,83	1,40	0,36
20	49,90	2,40	0,93	41,29	1,98	0,65	34,17	1,64	0,47	28,32	1,36	0,34

Legenda:
I = Altura dominante na idade de referência → 18,21 m
II = Altura dominante na idade de referência → 16,38 m
III = Altura dominante na idade de referência → 14,55 m
IV = Altura dominante na idade de referência → 12,72

TABELA 24 – PRODUÇÃO EM ÁREA BASAL PARA TECTONA GRANDIS EM ALTA FLORESTA – MT, PARA CLASSE DE PRODUTIVIDADE I, II, III E IV.

Idade (anos)	Classes de Produtividade											
	I			II			III			IV		
	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha)	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha)	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha)	Volume (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha)
2	28,62	15,61	38,57	16,64	9,08	25,95	9,70	5,29	17,16	5,73	3,13	11,31
3	75,68	26,71	42,71	50,46	17,81	32,94	33,69	11,89	24,96	22,70	8,01	18,75
4	120,49	31,43	37,14	85,77	22,37	30,59	61,11	15,94	24,73	43,85	11,44	19,78
5	158,26	32,74	30,69	117,05	24,22	26,26	86,64	17,93	22,06	64,50	13,34	18,30
6	189,31	32,45	25,20	143,59	24,62	22,11	108,98	18,68	19,05	83,11	14,25	16,19
7	218,70	31,24	20,22	169,28	24,18	18,10	131,10	18,73	15,91	101,95	14,56	13,79
8	236,14	30,15	17,43	184,77	23,59	15,78	144,65	18,47	14,02	113,65	14,51	12,28
9	254,03	28,76	14,75	200,81	22,73	13,49	158,82	17,98	12,10	126,02	14,27	10,70
10	269,24	27,38	12,61	214,58	21,82	11,63	171,10	17,40	10,52	136,83	13,92	9,38
11	282,31	26,06	10,90	226,51	20,91	10,11	181,81	16,78	9,21	146,33	13,51	8,26
12	293,66	24,82	9,50	236,92	20,02	8,87	191,22	16,16	8,12	154,72	13,08	7,81
13	303,59	23,66	9,01	246,08	19,18	8,38	199,54	15,55	7,69	162,18	12,64	6,99
14	342,93	23,12	8,01	254,20	18,71	7,49	225,46	15,20	6,90	184,45	12,44	6,29
15	350,76	22,15	7,17	284,97	18,00	6,72	232,41	14,68	6,22	190,85	12,05	5,69
16	357,81	21,26	6,46	291,69	17,33	6,07	238,70	14,18	5,63	196,67	11,68	5,17
17	364,18	20,42	5,85	297,79	16,70	5,51	244,43	13,71	5,13	201,98	11,33	4,72
18	369,98	19,64	5,32	303,36	16,11	5,02	249,67	13,26	4,68	206,85	10,98	4,32
19	375,27	18,92	4,86	308,45	15,55	4,60	254,48	12,83	4,30	211,33	10,66	3,97
20	380,12	18,25	4,02	313,12	15,03	3,84	258,91	12,43	3,60	215,47	10,34	3,33

Legenda:
 I = Altura dominante na idade de referência → 18,21 m
 II = Altura dominante na idade de referência → 16,38 m
 III = Altura dominante na idade de referência → 14,55 m
 IV = Altura dominante na idade de referência → 12,72 m

Comparando os resultados deste estudo com os obtidos por tabelas de rendimentos na Índia (BEBARTA, 1999), habitat natural da espécie, pode-se observar que o incremento médio em volume obtido em Alta Floresta – MT é superior ao encontrado na Índia.

Quando se compara os dados de produção da teca encontrados por Bermejo *et. al* (2004) na Costa Rica e o plantio estudado em Alta Floresta – MT, o incremento corrente anual em volume na Costa Rica é superior a partir dos 8 anos de idade, nas classes de produtividade I, II e III.

Vaides *et. al.* (2004) realizando estudos de crescimento e produção na Guatemala, com 4 classes de produtividade na idade de 10 anos, obteve dados de incremento médio anual para volume e área basal, cujos resultados encontrados foram inferiores quando comparados aos obtidos neste estudo.

Keogh (1979) estudando o futuro da teca na America Tropical, obteve para El Salvador, Jamaica e Trinidad incremento médio anual inferior quando comparados ao plantio estudado, nas idades de 5, 10, 15 e 20 anos.

KFRI (2003) estudando a situação de países produtores de teca relatou o incremento médio anual da teca para alguns países, dentre eles: Bangladesh (7,4 m³/ha/ano), Malásia (4-10 m³/ha/ano), Sri Lanka (7 m³/ha/ano), Tailândia (13,52 m³/ha/ano), Gana (8-10 m³/ha/ano) e Brasil (10-13 m³/ha/ano). Pode-se comparar com os dados de Shimizu (2007), estudando a produtividade de teca no Estado de Mato Grosso; dentre os resultados encontrados está o incremento médio anual do município de Alta Floresta, que foi de 15,45 m³/ha/ano. Pode-se observar que o IMA encontrado em Alta Floresta foi superior a todos os países citados acima, mesmo quando comparado ao Brasil.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que:

- As equações testadas para estimar o crescimento em diâmetro, altura e volume em função da idade apresentaram resultados satisfatórios, exceto o modelo de Mitscherlich, que não apresentou ajuste aceitável.
- Os resultados de crescimento no local estudado demonstram que a espécie tem incrementos significativos, quando comparadas a países onde a espécie é nativa.
- A área estudada tem quatro classes de produtividade, sendo que a equação de Schumacher descreve de forma adequada a relação altura dominante e idade, pelo método da curva-guia; as curvas resultantes deste modelo tiveram padrão anamórfico.
- O modelo de crescimento e produção de Beck e Della-Bianca empregado para o reflorestamento de *Tectona grandis* L. f. apresentou resultado satisfatório para estimar a produção;
- O crescimento de teca no plantio estudado, em Alta Floresta – MT é superior que em países como, Índia, Guatemala, El Salvador, Jamaica e Trinidad, nas idades de 5 a 20 anos. .

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). **Anuário estatístico da ABRAF 2011**. Brasília. 2011. 130 p.

AMATA. **Mercado florestas plantadas**. São Paulo. 2009. 55p.

AN UPDATE OF THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP CLASSIFICATION FOR THE ORDERS AND FAMILIES OF FLOWERING PLANTS: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**. London, GB: Academic Press, v. 141, n. 4, p. 399–436, 2003.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.

BARROS, D. A. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* na região de Agudos-SP em diferentes idades e números de desbastes**. 2000. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BARUSSO, A.P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

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

BEBARTA, K.C. 1999. **Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability**. International Book Distributors. Dehra Dum, Índia. Chapter 6. 1999. 379 p.

BECK, D.E.; DELLA-BIANCA, L. Growth and yield of thinned yellow-poplar. **Asheville**, Forest Service, 1972. 20 p. (Research Paper SE, 101).

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

BERMEJO, I.; CAÑELLAS, I.; MIGUEL, A. S. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**. V. 189. 2004. 97–110 p.

BEZERRA, A.F. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2009. 60 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRASIL. **Departamento Nacional da Produção Mineral**. Levantamento de recursos naturais. Folha SC. 21. Juruena; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso do potencial da terra. Rio de Janeiro: Gráfica Alvorada Ltda., 1980.

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

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

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

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 407p.

CAO, Q. N. The process of establishment of teak (*Tectona grandis*) plantations in Vietnam and the results obtained. Paper presented at the Regional Seminar on Site, **Technology and Productivity of Teak Plantations**, Chiang Mai, Thailand. 1999. 25-29 January.

CHAVES, E.; FONSECA, W. Teca (*Tectona grandis* L.F.) árbol de uso múltiple em América Central. Turrialba, **CATIE - Informe Técnico** n° 179, 1991. 47p.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Manaus, vol. 39(1), p. 97-104, 2009.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963.

CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. John Wiley & Sons. New York, 1983. 333p.

CRUZ, J.P.; **Crescimento e produção de *Tectona grandis* na região de Tangará da Serra – Mato Grosso**. 2005. 51f. (Dissertação de Mestrado). Universidade federal de Viçosa, Viçosa.

CRUZ, J.P.; LEITE, H.G.; SOARES, CP.B.; CAMPOS, J.C.C.; SMIT,L.;NOGUEIRA, G.S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Árvore**, Viçosa, v.32, n. 4, p. 669 - 676, 2008.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados**. 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2006.

DIMITROV, E.T.; VICHEV, I. Analytical construction and expressions of height curves for Scots Pine. **F.A.** , v.41, n.10, p.491, 1980. (Resumo).

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York. John Wiley e Sons. 1980. 407p.

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.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Elaboración de una tabla de volumen y un estudio de incremento para teca (*Tectona grandis*) en El Salvador. **Documento de trabajo No. 14 FO:DP ELS/73/004**. 1977. 53 p.

FIGUEIREDO, E.O. **Avaliação de povoamentos de Teca (*Tectona grandis* L.f) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria. 1992. 269p.

FRANCIS, J. K, Lugo, A. C; Lowe, C. (eds). Forest plantations in Puerto Rico. Tropical Forests: **Management and Ecology**. New York, US. Ecology Studies v. 112. 210-223 p., 1995.

GYI, K. K.; TINT, K. Management Status of Natural Teak Forests. In Proc. Second Regional Seminar on Teak: Teak for the Future, 1995, Yangon, Nyanmar. **FAO Regional Office for Asia and the Pacific**, Bangkok, Thailand, 1998. p. 27-48.

GOMES, A.M.A. **Medição de arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa. 1957. 413p.

GOMES, J. E. **Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f (Teca) em área de cerrado sob diferentes espaçamentos**. 2002. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** 1994, 178 f..Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul.** 2006. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HIGUCHI, N.; SILVA, V.S.M. **Informações básicas para o manejo florestal da *Tectona grandis* L. introduzida no Alto Jaurú.** Cuiabá: UFMT/DEF, 1979, 92p. (mimeografado).

HIGUCHI, N., GOMES, B.; SANTOS, J.; CONSTANTINO, N.A. Tabela de volume para povoamento de *Eucalyptus grandis* plantado no município de Várzea Grande (MT). **Floresta**, Curitiba, 10(1): 43-47. 1979.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Curitiba: UFPR, 1998. 162 p.

HTWE, U. M. M. Teak plantations in Myanmar. **In:** Paper presented at the regional seminar on site, technology and productivity of teak plantations. Chiang Mai, Thailand. 1999. p. 25-29 January.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration.** 3^a ed., John Wiley & Sons. New York: 1982.

IMANÃ ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações técnicas florestais**, Brasília, UFB, Departamento de Engenharia Florestal, v.7, n.1, 2005. ISSN 1517-1922. 43p.

JAYARAMAN, K.; Profitability of teak plantations: The Kerala experience. **Teaknet Bulletin.** Kerala, India. Vol. 3. April 2010.

KAOSA-ARD, A. 1983: Teak seed collection zones in Thailand. **In:** Seed collection units: 1. Seed Zones (edited by H. Barner and R.L. Willan). Technical Note 16. Danida Forest Seed Centre. Humlebæk. Denmark.

KEOGH, R. **The Care and Management of Teak (*Tectona grandis* L.f.) Plantations.** 1987. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

KEOGH, R.M. El futuro de la teca en América Tropical: estudio sobre *Tectona grandis* en el Caribe, Centro América, Venezuela y Colombia. **Unasyuva**, Roma, v. 31, n. 126, p. 13-19, 1979.

KFRI unpublished. **Exposli prroslish rrla Conffnfshe internationale sur les produits de qualita em teck issus de la gestion forestiifo durable,** organisis par lpar l et let llsise de recherche forestiie du Kerala, 2-5 dd-5la,, 2003, Peechi, Inde.

KRISHNAPILLAY, B. Silviculture and management of teak plantations. **Unasyuva**. Roma, v. 51, n. 201, p. 14-21, 2000.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn. Dt. Ges. für. Techn. Zusammenarbeit (GTZ), GmbH. [Trad. de Guilherme de Almeida-Sedas e Gilberto Calcagnotto]. 1990. 343p.

LOESTSCH, F. et al. **Forest inventory**. Munchen: BLV Verlagssellschaft, 1973. v.2. 70 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2^a ed. Guarapuava, Paraná: Editora Unicentro, 2006, 316 p.

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

MACHADO, S.A.; TONON, A.E.N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E.B. Comportamento da mortalidade natural em Bracatingais nativos em diferentes densidades iniciais e classe de sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 41-50. 2002.

MARTINS, E. F. P.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; JANKOVSKI T.; BRITO, C. C. R. B. 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.

MENON, F. V. *et. al.* Crescimento de *Tectona grandis* L. f. a partir de análise de tronco. 5^o Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal. **Anais**. UFSM. 2011.

MIGUEL, E. P. **Avaliação de dois procedimentos para inventariar pequenos povoamentos florestais baseados somente na medição de diâmetros**. 2006. 48 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Curso de graduação em Engenharia Florestal, Faculdades Integradas de Mineiros, Mineiros.

MIGUEL, E.P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás**. 2009. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

MOLLINEDO GARCÍA, M. S. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.) en La zona oeste, cuenca del canal de Panamá. 2003. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. **CATIE**. 89 p.

MORAES E SILVA, V. S. **Produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. no Estado de Mato Grosso**. 1999. 178 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

NOVAES, D. M. **Modelagem e prognose em povoamentos de *Tectona grandis* a partir de análise de tronco**. 2009. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

NOOR, H. 2003. Growth of teak (*Tectona grandis*) on lateritic soil at Mata Aver forest reserve, Perlis. **Journal of Tropical Forest Science**, 15 (1), p. 190-198, 2003.

NUNIFU, T. K.; MURCHISON, H. G. Provisional yield models of Teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management**, Amstersan, v.120, n.1/3, p.171-178, 1999.

PADILLA MENA, L.F. 1977. **AnDILLA de germinacina de teca (*Tectona grandis*), especie con grandes posibilidades de reforestacitn en Guatemala**. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomon.

PANDEY D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **UnasyIva**, Roma, v. 51, n^o. 201, 3-13, 2000.

PASSOS, C.A.M.; BUFULIN. L. & GONÇALVES, M.R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f em Cáceres – MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, V.16, n.2, p.225-232, 2006.

PRODAN, M., PETERS, R., COX, F. & REAL, P. **Mensura florestal**. San José – Costa Rica. IICA, 1997. 586p.

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 PA. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, p. 301-307, 2011.

SAS Institute Inc. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.0 ed. Cary: SAS Institute, USA, 2002.

SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 1990. 290p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCOLFORO, J. R. S. Um modelo de crescimento e produção para *Pinus caribaea* Var. *hondurensis* sujeito a desbastes. Rev. **Árvore**, Viçosa, v.16, n.2, p.144-156, 1992.

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

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 441p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393p.

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.

SHIMIZU, J.Y.; KLEIN, H.; OLIVEIRA, J.R.V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá, MT. 63 p. 2007.

SILVA, F. R. **Aplicação do modelo de Schumacher 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.

SOARES, T. S. *et al.* Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6. 2004.

SPATEHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento e produção florestal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 70 p.

SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952. 476 p.

SULIVAN, A.D.; CLUTTER, J.L. Simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, n. 1, p. 76-86, 1972.

TEWARI, D.N. **Monograph on Teak (*Tectona grandis* Linn. F.)**. International Book Distrutors. Dehra Dun - India, 1999. 478p.

TONINI, H.; COSTA, M.C.G ; SCHWENGBER, L.A.M . Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 59, p. 05-14, 2009.

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.

VAIDES, E.; UGALDE, L.; GALLOWAY, G. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. **Recursos Naturales y Ambiente**/n. 46-47:137-145. 2006.

WEAVER, P. L. *Tectona grandis* Linn f. Teak. New Orleans: U. S. Department of Agriculture, **Forest Service, Southern Forest Experiment Station**, 1993. 18 p.