

Artigos

Simulação da produção por sortimento de madeira em povoamentos de *Tectona grandis* L. na região norte do estado do Mato Grosso

Production simulation for wood assortment in *Tectona grandis* L. in the north region of the state of Mato Grosso

**Pedro Paulo Gomes de Oliveira^I , Paulo Costa de Oliveira Filho^{II} ,
Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães^{II} , Afonso Figueiredo Filho^{II} ,
Edilson Batista de Oliveira^{III} **

^IUniversidad Autónoma de Tamaulipas, Tamaulipas, México

^{II}Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, Brasil

^{III}Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Colombo, PR, Brasil

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com objetivo de disponibilizar equações para estimar o volume, sortimentos (funções de afilamento) e a construção de curvas de sítio, buscando realizar a prognose do crescimento e da produção de um povoamento de Teca localizado no município de Alta Floresta, região Norte do estado de Mato Grosso, utilizando um simulador de crescimento e produção florestal denominado SisTeca. Foram utilizadas 154 parcelas permanentes, cujas remedições totalizaram 909 observações, contemplando as idades 2 a 14 anos, além da cubagem de 139 árvores pelo método de Smalian. Foram ajustados o modelo de Schumacher-Hall para estimar os volumes individuais, a função de afilamento de quinto grau para estimar sortimentos e o modelo de Schumacher para a construção de curvas de sítio. Ao final foram realizadas projeções com o SisTeca usando as equações originais (*default*) e inserindo no SisTeca as equações de volume, afilamento e sítio desenvolvidas nesta pesquisa. As equações de volume, afilamento e sítio ajustadas para povoamentos de Teca na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso, apresentaram bons resultados de ajuste e precisão e são ferramentas importantes para o manejo da Teca, seja para estimar estoques correntes, seja para inserção em sistemas de crescimento e produção como o SisTeca. O simulador da EMBRAPA para a Teca quando munido com as equações dendrométricas desenvolvidas na pesquisa gerou melhores prognoses, comparativamente aos valores observados oriundos das parcelas disponíveis para a espécie na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de aquisição de dados mais representativos para a espécie, tanto em termos de idades como de sítio, no sentido de desenvolver sistemas de crescimento e produção robustos e/ou ferramentas dendrométricas mais eficientes visando calibrar o SisTeca.

Palavras-Chave: Teca; Modelagem; Produção

ABSTRACT

The present study was developed with the objective of providing equations to estimate the volume, assortments (tapering functions) and the construction of site curves, seeking to forecast the growth and production of a Teak stand located in the municipality of Alta Floresta, Northern region of the state of Mato Grosso, using a growth and forest production simulator called SisTeca. 154 permanent plots were used, whose remedies totaled 909 observations covering ages 2 to 14 years, in addition to the cubing of 139 trees by the Smalian method. The Schumacher-Hall model was adjusted to estimate individual volumes, the fifth-degree taper function to estimate assortments and the Schumacher model for the construction of site curves. At the end, projections were made with SisTeca using the original equations (default) and inserting into the SisTeca the volume, tapering and site equations developed in this research. The adjusted volume, tapering and site equations for Teak stands in the Alta Floresta region, state of Mato Grosso, showed good results of adjustment and precision and are important tools for Teca, either to estimate current stocks or to be inserted in systems growth and production like SisTeca. The EMBRAPA simulator for Teca, when equipped with the dendrometric tools developed in the research, generated better prognosis, compared to the observed values from the plots available for the species in the region of Alta Floresta, state of Mato Grosso. Thus, the need to acquire more representative data for the species is emphasized, both in terms of age and site to develop robust growth and production systems and / or more efficient dendrometric tools to calibrate the SisTeca.

Keywords: Teak; Modeling; Production

1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas no Brasil se estendem atualmente por cerca de 9,8 milhões de hectares (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS – SNIF, 2017), e, em sua grande maioria, são compostas por espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*. Porém, o cultivo de *Tectona grandis* L. vem ganhando espaço no setor florestal brasileiro, com aumento de áreas plantadas, principalmente nos estados de Mato Grosso, Rondônia e Pará, sendo uma alternativa para a produção de madeira de alta qualidade.

A importância e o valor comercial da Teca devem-se às propriedades físico-mecânicas desejáveis da madeira (durabilidade, estabilidade, trabalhabilidade, resistência natural ao ataque de organismos xilófagos). Além desses fatores, os aspectos qualitativos da madeira (desenho, cor e densidade) são importantes características que tornam a espécie uma das mais valorizadas no mundo (SCHUHLI; PALUDZYSZYN, 2010).

Nesse contexto, a Teca atende aos principais critérios de seleção de espécies florestais para a produção de madeira, com elevado valor agregado e baixo impacto ambiental, sendo considerada uma alternativa às espécies nativas de valor econômico, como a *Swietenia macrophylla* King (Mogno brasileiro) e a *Torresea acreana* Ducke (Cerejeira) para o suprimento sustentável das indústrias de base florestal.

Verifica-se, no entanto, que os povoamentos de Teca apresentam produtividade variável, muitas vezes relacionada à seleção de sítios impróprios para o desenvolvimento, práticas de manejo e seleção do material genético inadequados (MEDEIROS, 2018). Segundo Rocha *et al.* (2015), ainda há falta de informação e pouco investimento em pesquisa sobre a Teca relacionadas às práticas silviculturais, como a condução de plantios comerciais, características edafoclimáticas específicas e viabilidade econômica da atividade.

O problema surge quando são necessárias estimativas mais precisas para regimes de manejo, prognose do crescimento e da produção, e definição das idades em que as intervenções (desbastes e corte raso) deveriam ser executadas, levando em conta o sítio e a densidade inicial. Para Leite *et al.* (2013), um dos elementos essenciais do manejo florestal é a predição ou projeção do crescimento e da produção. Essa técnica permite compreender as relações sobre a dinâmica de crescimento da floresta, com os resultados das atividades silviculturais e prognosticar o seu potencial produtivo.

Modelos de crescimento e produção são as fontes básicas de informações para subsidiar as complexas decisões que devem ser tomadas, proporcionando estrutura necessária para uma análise adequada com objetivo de prescrever tratamentos silviculturais e estimar estoques de crescimento. Assim, os modelos de crescimento são ferramentas importantes para a prescrição de regimes de manejo adequados para cada espécie em cada sítio, em que se deseja a qualidade do produto (LEITE *et al.*, 2013).

Nesse sentido, a EMBRAPA Florestas desenvolveu vários *softwares* que descrevem como um plantio florestal cresce e produz, conforme os regimes de

manejo que o próprio usuário indica. Entre esses simuladores está o SisTeca, que tem como finalidade a geração da produção física, imprescindível para o planejamento e o manejo de plantios de povoamentos florestais, como a Teca, permitindo a simulação de desbastes em diferentes idades e índices de sítio, gerando estimativas dos sortimentos de madeira, conforme o uso na indústria. Essas prognoses, aliadas às técnicas de pesquisa operacional e de ferramentas econômicas, são fundamentais para a tomada de decisão sobre os regimes de manejo recomendados para a gestão adequada de um povoamento florestal (OLIVEIRA, 2011).

O *software* SisTeca utiliza várias equações, previamente desenvolvidas, para gerar a prognose do crescimento e produção. Algumas equações, entretanto, tais como de sítio, volume e sortimento, podem ser substituídas pelo usuário. Nesse sentido, para que os simuladores gerem informações confiáveis, há necessidade de utilizar uma base de dados consistente para ajustar modelos que representem bem as características do local. Nesse contexto, no presente estudo, objetivou-se ajustar equações de volume e de afilamento e construir curvas de sítio, inserindo-as no *software* SisTeca, com a finalidade de estimar o crescimento e a produção em povoamentos de Teca localizados no Norte do estado de Mato Grosso.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de plantios de Teca situados em uma propriedade rural denominada Fazenda IDC no município de Alta Floresta, região norte no estado de Mato Grosso (MT), com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 10° 02' 51" S e longitude 56° 20' 18" W (Figura 1).

A região se caracteriza por apresentar clima Am segundo Köppen, tropical chuvoso, com precipitação pluvial elevada (2.500 a 2.750 mm) e estações climáticas

bem definidas: chuvas no verão e seca no inverno. O solo da área do povoamento florestal é classificado, conforme EMBRAPA (2013), como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com textura argila arenoso.

Figura 1 – Localização da área de estudo com plantios de Teca, município de Alta Floresta - MT, Brasil



Fonte: Autores (2019)

2.2 Caracterização dos plantios

A Fazenda IDC possui uma área de 1.372,38 ha plantada com *T. grandis* com idades variando de 2 a 14 anos, subdivididos em 51 talhões, variando entre 5 a 86 ha. O preparo do solo para o plantio foi realizado pelo método convencional, sendo primeiramente descompactado, arado e nivelado. Não houve correção e adubação no preparo do solo ou durante a condução do povoamento.

As sementes utilizadas nos plantios são procedentes da empresa Cáceres Florestal, localizada no município de Cáceres, estado do Mato Grosso. Nos plantios, foram utilizadas mudas produzidas pela própria empresa e implantadas no período de chuvas da região, que ocorre de outubro a março.

Os tratamentos silviculturais, como a limpeza dos talhões e replantio, em caso de mortalidade acima de 20%, foram realizados no primeiro ano; do segundo ao quarto ano foram realizados periodicamente desramas, roçadas e aplicação de herbicidas. A partir do quinto ano, manteve-se a desrama até que o fuste comercial atingisse uma altura de 8,0 m e a roçada era realizada a cada dois anos. Aos 6 e 11 anos foram executados desbastes do tipo seletivo, com a remoção média de 25% do número de árvores por hectare.

2.3 Obtenção dos dados

A base de dados utilizada nesta pesquisa é composta por informações do cadastro florestal da fazenda e dados de cubagem. O cadastro florestal contém informações do inventário florestal, como: datas dos plantios; datas dos inventários, idades dos povoamentos; números dos talhões; números das parcelas; DAP (Diâmetro a altura do peito) médios; DAP dominantes; diâmetros quadráticos; alturas médias; alturas dominantes; área basal por parcelas; área basal por hectare; números de árvores por parcelas; números de árvores por hectare; volume total por parcelas; e volume total por hectare. Foram utilizados dados provenientes de 154 parcelas permanentes com espaçamento variável de 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,2 m; 4,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m, bem como parcelas com áreas de 792 m², 896 m², 900 m² e 924 m², respectivamente aos espaçamentos. Na Tabela 1, é apresentada a quantidade de remedições realizadas. As parcelas foram classificadas de acordo com o índice de sítio.

Tabela 1 – Quantidade de remedições por índice de sítio que foram realizadas nos povoamentos de *T. grandis* na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso

Idade (anos)	Nº de remedições por Índice de Sítio (m)			Total
	12	16	20	
2	5	12	17	34
3	8	36	38	82
4	36	81	30	147
5	23	60	24	107
6	19	65	46	130
7	4	81	52	137
8	1	46	3	50
9	1	66	56	123
10	-	8	2	10
11	2	36	24	62
12	-	5	4	9
13	-	3	3	6
14	-	4	8	12
Total	99	503	307	909

Fonte: Autores (2019)

Para o ajuste da equação de volume e afilamento, foram utilizados dados de cubagem de 139 árvores. A seleção das árvores foi realizada de forma a abranger todas as classes de diâmetro e em diferentes locais em função da heterogeneidade do sítio. As árvores selecionadas foram derrubadas e medidas suas circunferências em diferentes alturas, a saber: 0,0; 1,0; 1,30; 2,0; 4,0; 6,0 m e assim sucessivamente em distâncias regulares de 2,0 m até diâmetro igual a 5,0 cm, incluindo a altura total. Os volumes foram obtidos pela fórmula de Smalian.

2.4 Estatística descritiva

As estatísticas descritivas dos dados utilizados no ajuste dos modelos estão apresentadas na Tabela 2, enquanto a distribuição diamétrica para as árvores cubadas é apresentada na Figura 2.

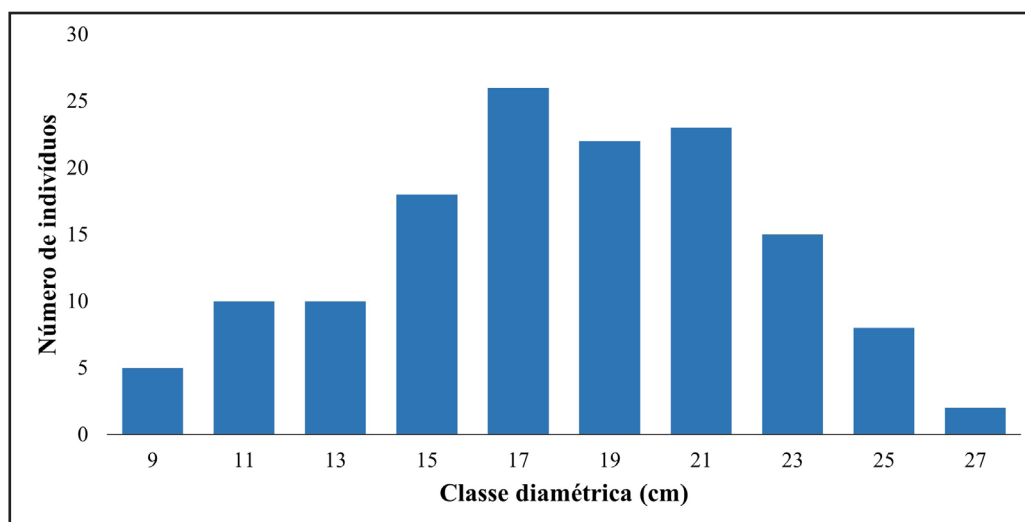
Tabela 2 – Análise estatística descritiva dos dados utilizados para ajuste das equações de sítio, volume e afilamento

Variáveis	Mínimo	Médio	Máximo	s	CV%
Equação de Sítio					
Idade (anos)	1,8	6,1	14,6	2,6945	44,17
hdom (m)	3,4	12,71	20,54	3,3750	26,55
Equações de Volume e Afilamento					
DAP (cm)	8,12	17,95	27,06	4,1765	23,27
h total (m)	18,37	20,60	23,40	2,9213	16,60
Volume (m ³)	0,04	0,23	0,64	0,1167	50,75

Fonte: Autores (2019)

Em que: DAP = diâmetro a 1,30 m do solo, h total = altura total; s = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Figura 2 – Distribuição das árvores cubadas por classes diamétricas para Teca na região de Alta Floresta - MT



Fonte: Autores (2019)

2.5 Equações de volume e afilamento

Para gerar as estimativas do volume total com casca por árvore, foi ajustado o modelo logarítmico de Schumacher-Hall, enquanto para o sortimento foi ajustado

o Polinômio de quinto grau, Equações (1) e (2), respectivamente. A opção por esses modelos foi buscando usar os mesmos modelos utilizados como “*default*” no SisTeca, além de serem modelos bastante usados para as finalidades descritas em plantios florestais brasileiros.

$$\ln(\ln v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\ln d) + \beta_2 \cdot \ln(\ln h) \quad (1)$$

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right) + \beta_2 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + \beta_3 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + \beta_4 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + \beta_5 \cdot \left(\frac{h_i}{h}\right)^5 \quad (2)$$

Em que: \ln = logaritmo natural; v = volume total com casca (m^3); d = diâmetro a 1,3 m do solo – DAP (cm); h = altura total (m); β_{is} coeficientes a serem estimados; d_i = diâmetro (cm) correspondente a uma altura h_i ; h = altura total (m); h_i = alturas ao longo do fuste (m).

2.6 Projeção do sortimento de madeira

A projeção do sortimento de madeira foi realizada de acordo com os sortimentos utilizados pela empresa, separadas pelos seguintes diâmetros na ponta fina (bitolas): Tora I - toras de 2,50 m com diâmetro ≥ 25 cm; Tora II – toras de 2,20 m com diâmetro entre 22 a 25 cm e Tora III – toras de 2,20 m com diâmetro variando entre 20 a 21,99 cm.

2.7 Curvas de sítio

A avaliação da capacidade produtiva local baseou-se na relação entre altura dominante (h_{dom}) e a idade (I) do povoamento. Para o ajuste do modelo, foram utilizados 909 pares de valores h_{dom} e idade (I). O modelo ajustado foi o de Schumacher (3), também usado no “*default*” do SisTeca. O método utilizado para obtenção de curvas de índices de sítio foi o da curva-guia, o qual gera curvas anamórficas.

$$h_{dom} = \beta_0 \cdot e^{\left(\frac{\beta_1}{I}\right)} \quad (3)$$

Em que: h_{dom} = altura dominante (m); β_0 e β_1 = coeficientes a serem estimados; I = idade (anos); e = base do logaritmo natural (2,718...).

Após o ajuste do modelo de sítio, foram construídas as curvas de índice de sítio, considerando uma amplitude de 4 m, com idade-índice de 12 anos. Cabe ressaltar que as curvas de sítio geradas são consideradas curvas provisórias, uma vez que os dados utilizados contemplam idades de até 14 anos, quando a rotação prevista para a espécie é de 25 a 30 anos. Dessa maneira, para melhoria e calibração dos modelos ajustados há necessidade de incorporação de novos dados à medida que os povoamentos se aproximem das idades previstas para o corte final.

2.8 Estatísticas de avaliação dos modelos

Para análise dos modelos ajustados (volume, afilamento e sítio), foram utilizados os seguintes critérios estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão de estimativa ($Syx\%$) para a variável de interesse e a análise gráfica da distribuição de resíduos ($Res\%$). O nível de significância α adotado na regressão foi de 5% de significância para os coeficientes ($\alpha \leq 0,05$).

2.9 Avaliação das projeções geradas por meio do simulador SisTeca

Para obtenção da prognose do crescimento e da produção, assim como estimar o sortimento de madeira por classe diamétrica, foi utilizado o *software* SisTeca desenvolvido pela EMBRAPA Florestas. O programa simula a produção da Teca com base em dados de inventário da floresta fornecidos pelo usuário, usando as equações existentes no *default* do simulador. Todavia, o usuário pode substituir algumas equações do *default*, com equações desenvolvidas para um local específico. No presente estudo, foram realizadas duas simulações: dados do inventário local

e equações *default* do SisTeca e dados do inventário e inserção das equações de volume, afilamento e sítio desenvolvidas nesta pesquisa.

A fim de avaliar as duas projeções de crescimento e produção geradas pelo *software* SisTeca, essas simulações foram confrontadas com os resultados observados no inventário. Para realizar a comparação entre os dados reais com os projetados, foram selecionadas as parcelas que tinham um histórico de remedições. Utilizaram-se, então, 64 parcelas, sendo 11 para o sítio 12 m, 33 para o sítio 16 m e 20 para o sítio 20 m, com idades variando de 4 a 11 anos.

Os *inputs* para as simulações provieram de informações iniciais das parcelas permanentes: índice de sítio, densidade inicial (ár.v.ha^{-1}), idade em que as condições eram conhecidas (anos) e o diâmetro médio quadrático dg (cm) das parcelas. Os resultados do simulador foram comparados com dados das parcelas permanentes nas idades que a Fazenda IDC possuía informações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Equação de volume, afilamento e sítio

O modelo de volume individual de Schumacher-Hall apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,9601 e um erro padrão de estimativa de 10,08%, mostrando uma boa performance, sendo adequado para estimar o volume total com casca de Teca.

A função de afilamento ajustada para representar o perfil médio dos troncos de Teca e estimar os sortimentos apresentou resultados satisfatórios para o coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) de 0,9686 e erro padrão de estimativa de 10,06% para estimar os diâmetros ao longo do fuste.

O ajuste do modelo de Schumacher para sítio apresentou resultados satisfatórios para a obtenção da curva-guia, apresentando um coeficiente de determinação

ajustado de 0,7340 e um erro padrão de estimativa de 13,69%. As equações ajustadas de volume (4), afilamento (5) e sítio (6) estão a seguir:

$$\ln v = -9,5368 + 1,8064 \cdot \ln d + 0,9660 \cdot \ln h \quad (4)$$

$$\left(\frac{di}{d}\right) = 1,3863 + (-6,9596) \cdot \left(\frac{hi}{h}\right) + 32,7319 \cdot \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + (-73,2304) \cdot \left(\frac{hi}{h}\right)^3 + 72,8712 \cdot \left(\frac{hi}{h}\right)^4 + (-26,8005) \cdot \left(\frac{hi}{h}\right)^5 \quad (5)$$

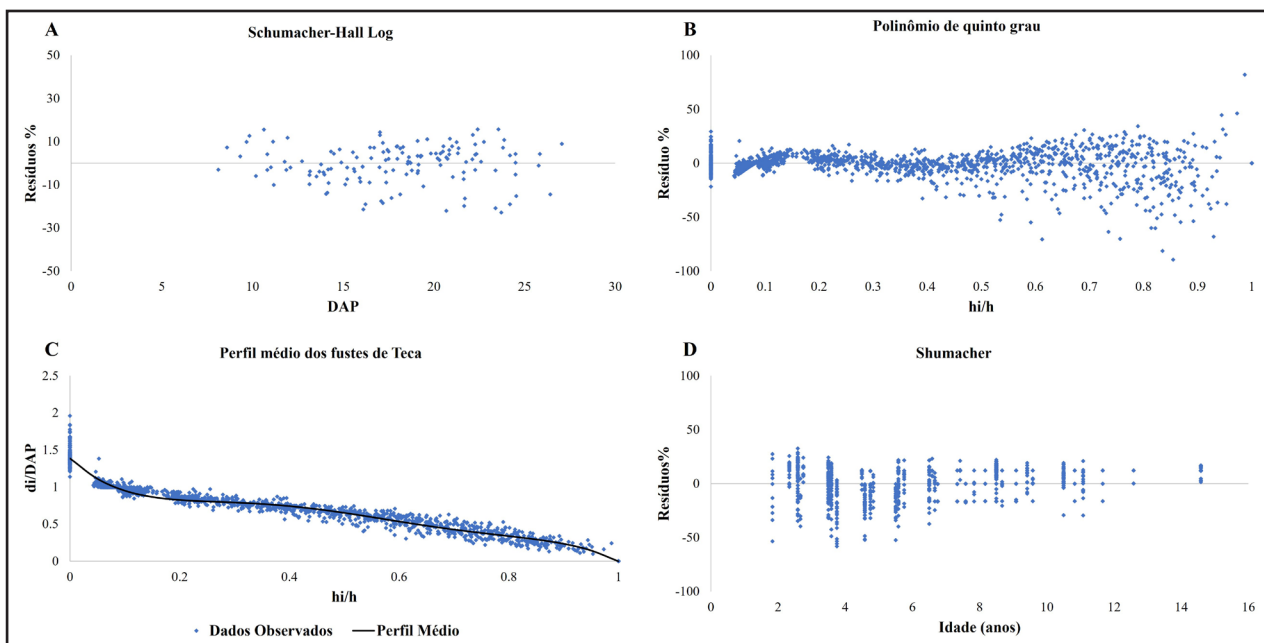
$$h_{dom} = 3,0087 \cdot e^{\left(\frac{-2,4874}{I}\right)} \quad (6)$$

Os resíduos para a equação volumétrica de Schumacher-Hall apresentaram-se homogêneo e sem tendências (Figura 3A), enquanto o polinômio de quinto grau apresentou resíduos com maiores dispersões na porção superior do tronco, como normalmente ocorre, pela maior variabilidade dos diâmetros nessa parte dos fustes (Figura 3B e C). Apesar dessas dificuldades, esse fato não é relevante, uma vez que nessas porções do tronco há pouco volume comercial, geralmente classificados como resíduos de madeira, com frequência usado para energia. As estimativas do modelo geraram resíduos (Figura 3D) bem distribuídos e sem tendências, exceto após 12 anos de idade, observando-se pouca representatividade e uma tendência a subestimativas da altura dominante.

Como pode ser observado na Figura 3, a distribuição dos resíduos para o modelo ajustado para estimar o volume individual de Teca não apresenta tendências nas estimativas com dispersão homogênea dos resíduos. Entre os vários modelos existentes para estimar o volume de madeira em função do diâmetro e da altura, o modelo proposto por Schumacher-Hall (1933) é um dos mais difundidos na área florestal, devido às suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas

quase sempre não tendenciosas devido à logaritmização (CAMPOS; LEITE, 2013). O modelo Schumacher-Hall foi adequado para estimar o volume, por apresentar um bom coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) e um baixo erro padrão de estimativa ($Syx\%$), além de uma distribuição homogênea dos resíduos.

Figura 3 – Distribuição dos resíduos (%) para os modelos de volume (A), afilamento (B e C) e altura dominante (D) para plantios de *Tectona grandis* L.



Fonte: Autores (2019)

De acordo com Miguel *et al.* (2014), existe uma concordância por parte dos pesquisadores no meio florestal, de que, ao ajustar modelos para obtenção do volume, valores de R^2 aj. superiores a 0,95 e $Syx\%$ inferiores a 10% são considerados adequados e a dispersão gráfica dos resíduos deve ser homogênea e, geralmente, é usada como critério de desempate quando as estatísticas de ajuste e precisão são similares. Assim como os resultados obtidos neste estudo, outros trabalhos, como os de Vendruscolo *et al.* (2014) e Drescher *et al.* (2014), trabalhando com Teca, chegaram a resultados similares para o modelo de Schumacher-Hall.

Analisando o perfil médio dos fustes de Teca expresso pelo polinômio de quinto grau em relação aos valores observados, pode-se confirmar que este modelo se mostrou adequado nas diferentes porções do tronco.

O modelo ajustado na presente pesquisa apresentou estatísticas de ajuste e precisão superiores aos resultados obtidos por Figueiredo *et al.* (2006), trabalhando com seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de Teca no estado do Acre. Esses autores ajustaram três modelos polinomiais, encontrando valores de R^2_{aj} e S_{yx} de 0,9337 e 22,44% para o modelo de polinômio de quinto grau.

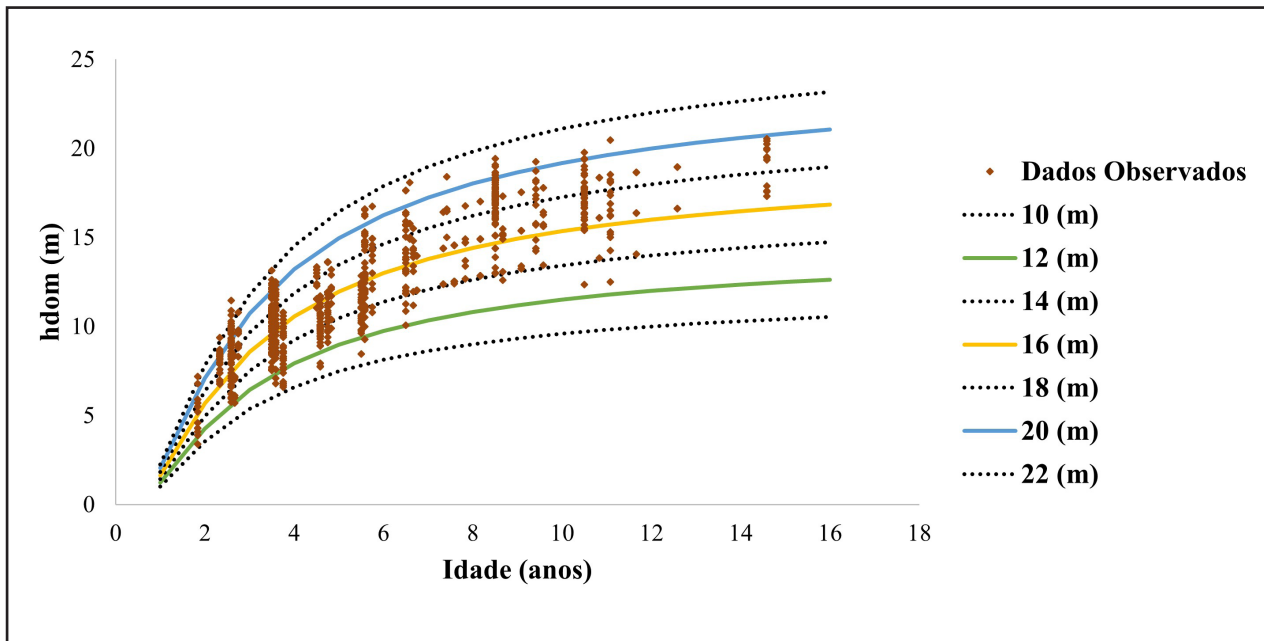
Vendruscolo *et al.* (2016) utilizaram o polinômio de quinto grau para estudar a forma do fuste de árvores de *T. grandis* em diferentes espaçamentos na região de Cáceres, Mato Grosso. Os autores observaram que o modelo apresentou ajuste satisfatório e semelhante entre os espaçamentos, com coeficiente de correlação (r) alto ($> 0,96$) e valores de raiz quadrada do erro médio (RQEM) baixos ($< 10\%$).

Segundo Figueiredo Filho *et al.* (2015), o polinômio de quinto grau é uma função de afilamento amplamente empregada no meio florestal, sendo a mais popularmente conhecida no Sul do Brasil. Acrescentaram que isso se deve à facilidade de ajuste e da boa qualidade que, em geral, esse modelo proporciona. Dessa forma, tem sido frequentemente utilizado em inventários florestais quando o objetivo é quantificar multiprodutos e avaliar a evolução da forma do tronco com o avanço da idade.

A escolha do modelo de sítio 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 bom desempenho para a construção de curvas de índice de sítio. Os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos por Costa *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2016), trabalhando com *T. grandis*.

Com o objetivo de verificar se as classes de sítio estabelecidas contemplavam todas as faixas de crescimento da altura dominante observadas na base de dados, foram lançados os pares de dados h_{dom} x Idade sobre o feixe de curvas, de modo que fosse possível visualizar a abrangência destas, com a qual foram construídas curvas para três classes de índice de sítio com amplitudes de 4 m, utilizando-se uma idade índice de 12 anos (Figura 4).

Figura 4 – Curvas de índice de sítio para Teca na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso



Fonte: Autores (2019)

Como pode ser verificado na Figura 4, a maioria dos plantios estão localizados em sítios de média e boa qualidade. Denota-se também insuficiência de dados em alguns sítios e principalmente nas idades mais avançadas. Como mencionado na metodologia, considerando que os plantios são ainda jovens, as curvas de sítio da Figura 4 são provisórias, devendo ser reajustadas com dados que contemplem idades mais avançadas e próximas da rotação final (prevista para 20 a 25 anos). Contudo, pode-se verificar que as curvas já tendem à uma assíntota.

O método da curva-guia representou bem a base de dados para a espécie e locais do presente estudo. Segundo Cruz *et al.* (2008), em plantios de Teca jovem o método da curva-guia tem sido adequado para classificação da capacidade produtiva de Teca.

3.2 Comparação da produção entre os dados reais com os projetados

As projeções de crescimento e produção obtidas com as simulações com as equações *default* e as simulações com as equações próprias para o local podem ser observadas nas Tabelas 3 a 5.

Tabela 3 – Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e Área Basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) observada nas parcelas e projetados para o sítio 12 m pelo SisTeca com as equações “*default*” (SisTeca EMBRAPA) e com as equações próprias para o local (SisTeca IDC)

Idade	Observado	SisTeca IDC	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)	SisTeca EMBRAPA	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
Volume Total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)							
5	43,49	37,67	5,81	13,37	15,49	28,00	64,38
6	54,07	49,31	4,76	8,81	22,65	31,42	58,10
7	59,58	55,03	4,55	7,63	27,87	31,72	53,23
Área Basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$)							
5	6,92	8,82	-1,90	-27,41	6,39	0,53	7,66
6	8,45	10,90	-2,45	-29,03	8,19	0,26	3,04
7	9,10	11,37	-2,27	-24,97	8,87	0,23	2,52

Fonte: Autores (2019)

Analisando a Tabela 3, observa-se que no sítio 12 m o período de projeção é bem curto, devido às poucas remedições das parcelas que foram realizadas neste sítio. Entretanto, verifica-se que tanto o SisTeca IDC como o SisTeca EMBRAPA subestimaram os valores, no sítio 12 m para a variável volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) nas idades analisadas. Porém, observa-se que o SisTeca IDC apresentou projeções mais próximas aos dados observados, sendo a maior diferença verificada na idade de 5 anos com $5,81 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (13,37%). Enquanto o SisTeca EMBRAPA apresentou a maior diferença na idade de 7 anos, com $31,72 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, correspondendo a 53,23%. E para a variável área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), pode-se observar que o simulador SisTeca IDC superestimou todos os valores, sendo a maior diferença de $-2,45 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (-29,03%) aos 6 anos e o SisTeca EMBRAPA subestimou todos os valores, sendo a maior diferença aos 5 anos com $0,53 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (7,66%).

Tabela 4 – Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) e Área Basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) observada nas parcelas e projetados para o sítio 16 m pelo SisTeca com as equações “default” (SisTeca EMBRAPA) e com as equações próprias para o local (SisTeca IDC)

Idade	Observado	SisTeca IDC	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)	SisTeca EMBRAPA	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
Volume Total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)							
5	73,96	77,41	-3,45	-4,67	39,85	34,11	46,12
6	89,20	102,06	-12,85	-14,41	55,33	33,87	37,97
7	107,43	126,56	-19,13	-17,81	73,57	33,86	31,52
8	118,32	125,74	-7,42	-6,27	78,32	40,00	33,81
9	122,52	126,19	-3,67	-2,99	86,52	36,00	29,38
10	112,15	122,63	-10,48	-9,34	99,17	12,99	11,58
11	120,90	132,40	-11,50	-9,52	108,10	12,80	10,58
Área Basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)							
5	11,52	14,28	-2,76	-23,94	12,42	-0,90	-7,78
6	13,67	18,51	-4,85	-35,45	15,71	-2,04	-14,92
7	16,13	21,03	-4,90	-30,39	18,05	-1,91	-11,87
8	17,48	21,54	-4,07	-23,26	18,89	-1,41	-8,06
9	17,88	20,13	-2,25	-12,58	18,59	-0,71	-3,94
10	16,35	20,93	-4,58	-28,01	19,40	-3,05	-18,64
11	17,57	21,87	-4,30	-24,44	21,30	-3,73	-21,22

Fonte: Autores (2019)

Para o sítio 16 m, verificando a variável volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), observa-se que o simulador SisTeca IDC superestimou e o SisTeca EMBRAPA subestimou todos os resultados. As maiores diferenças verificada no SisTeca IDC foram de $-12,85 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (-14,41 %) e $-19,13 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (-17,81%) aos 6 e 7 anos respectivamente, enquanto as maiores diferenças no SisTeca EMBRAPA foram observadas aos 8 anos com $40 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (33,81%) e 9 anos com $36 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (29,38%). Para a variável área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), nota-se que o simulador SisTeca IDC e o SisTeca EMBRAPA superestimaram todos os valores, sendo as maiores diferenças aos 6 anos com $-4,85 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-35,45%) e 7 anos com $-4,90 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-30,39%) e para o SisTeca IDC $-3,05 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-18,64%) aos 10 anos e $-3,73 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-21,22%) aos 11 anos para o SisTeca EMBRAPA.

Tabela 5 – Volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) e Área Basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) observada nas parcelas e projetados para o sítio 20 m pelo SisTeca com as equações “default” (SisTeca EMBRAPA) e com as equações próprias para o local (SisTeca IDC)

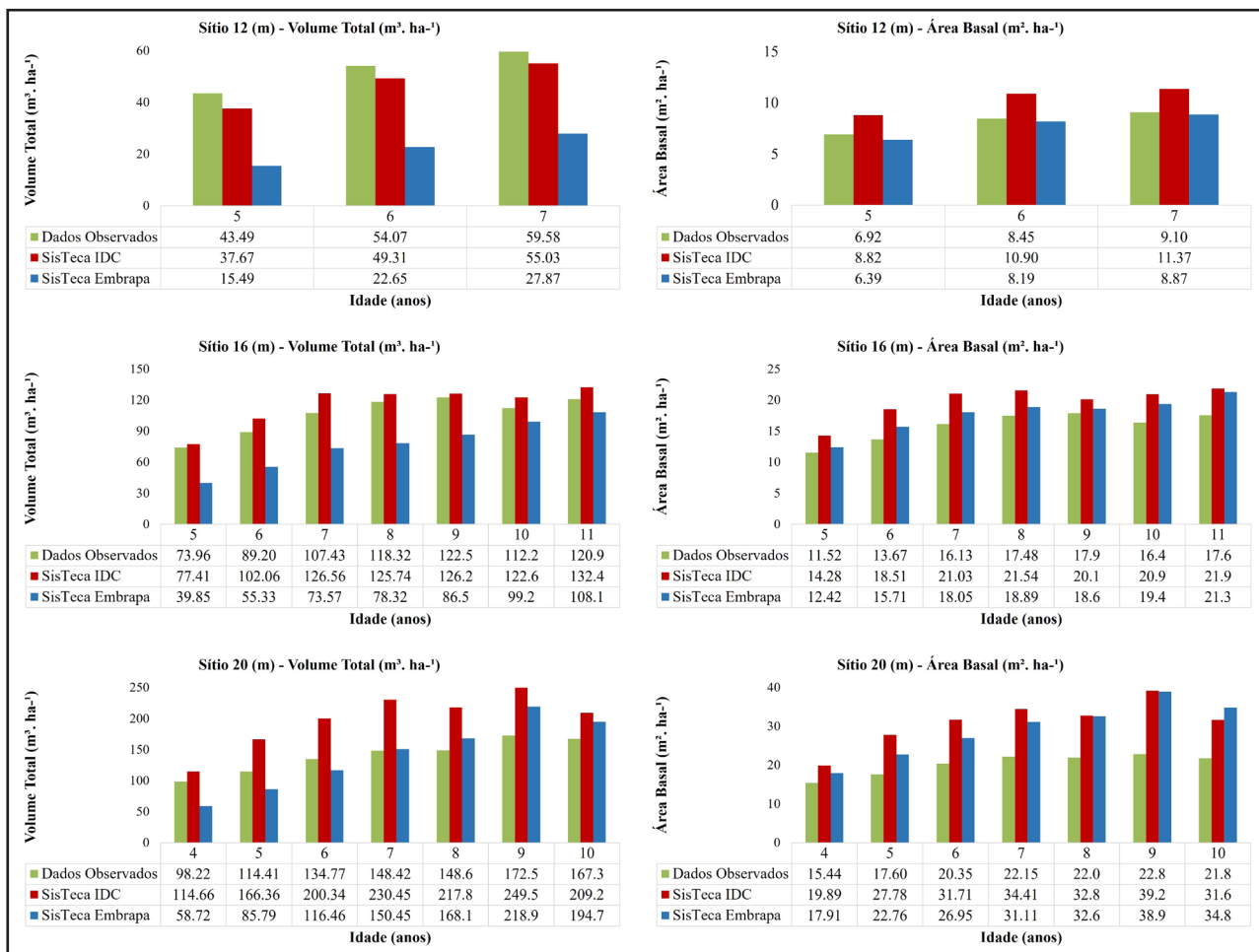
Idade	Observado	SisTeca IDC	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)	SisTeca EMBRAPA	Diferença Absoluta	Diferença Relativa (%)
Volume Total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)							
4	98,22	114,66	-16,44	-16,74	58,72	39,50	40,21
5	114,41	166,36	-51,95	-45,40	85,79	28,62	25,01
6	134,77	200,34	-65,57	-48,65	116,46	18,31	13,59
7	148,42	230,45	-82,02	-55,26	150,45	-2,03	-1,37
8	148,59	217,80	-69,21	-46,58	168,05	-19,46	-13,10
9	172,50	249,51	-77,02	-44,65	218,94	-46,44	-26,92
10	167,28	209,23	-41,96	-25,08	194,70	-27,42	-16,39
Área Basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)							
4	15,44	19,89	-4,45	-28,81	17,91	-2,47	-13,79
5	17,60	27,78	-10,18	-57,85	22,76	-5,16	-22,67
6	20,35	31,71	-11,36	-55,84	26,95	-6,60	-24,50
7	22,15	34,41	-12,26	-55,32	31,11	-8,95	-28,78
8	21,95	32,77	-10,82	-49,27	32,58	-10,63	-32,63
9	22,80	39,16	-16,37	-71,78	38,89	-16,09	-41,37
10	21,77	31,63	-9,86	-45,31	34,80	-13,03	-37,44

Fonte: Autores (2019)

Analisando a variável volume total ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para o sítio 20 m, observa-se que SisTeca IDC também produziu os maiores valores de diferença absoluta, superestimando todas as projeções, as maiores diferenças foram de $-82,02 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (-55,26%) e $-77 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (-44,65%) aos 7 e 9 anos respectivamente, enquanto o simulador SisTeca EMBRAPA subestimou os valores até aos 7 anos com a maior diferença de $39,50 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (40,21%) aos 4 anos e em seguida observa-se que este método também superestima os resultados, sendo as maiores diferenças de $-46,4 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (-26,92%) aos 9 anos e $-27,4 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ (16,39%) aos 10 anos. Para a variável área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$), observa-se que ambos os métodos superestimaram todos os valores, sendo a diferença de $-12,26 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-55,32%) aos 7 anos e $-16,37 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-71,78%) aos 9 anos, enquanto para o SisTeca EMBRAPA, nota-se que as maiores diferenças foram aos 9 e 10 anos com $-16,09 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-41,37%) e $-13,03 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (-37,44%) respectivamente.

Para uma melhor visualização e comparação dos resultados gerados pelos dois sistemas, após a simulação, as variáveis volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e área basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) foram colocados em gráficos, considerando os índices de sítio 12, 16 e 20 m (Figura 5).

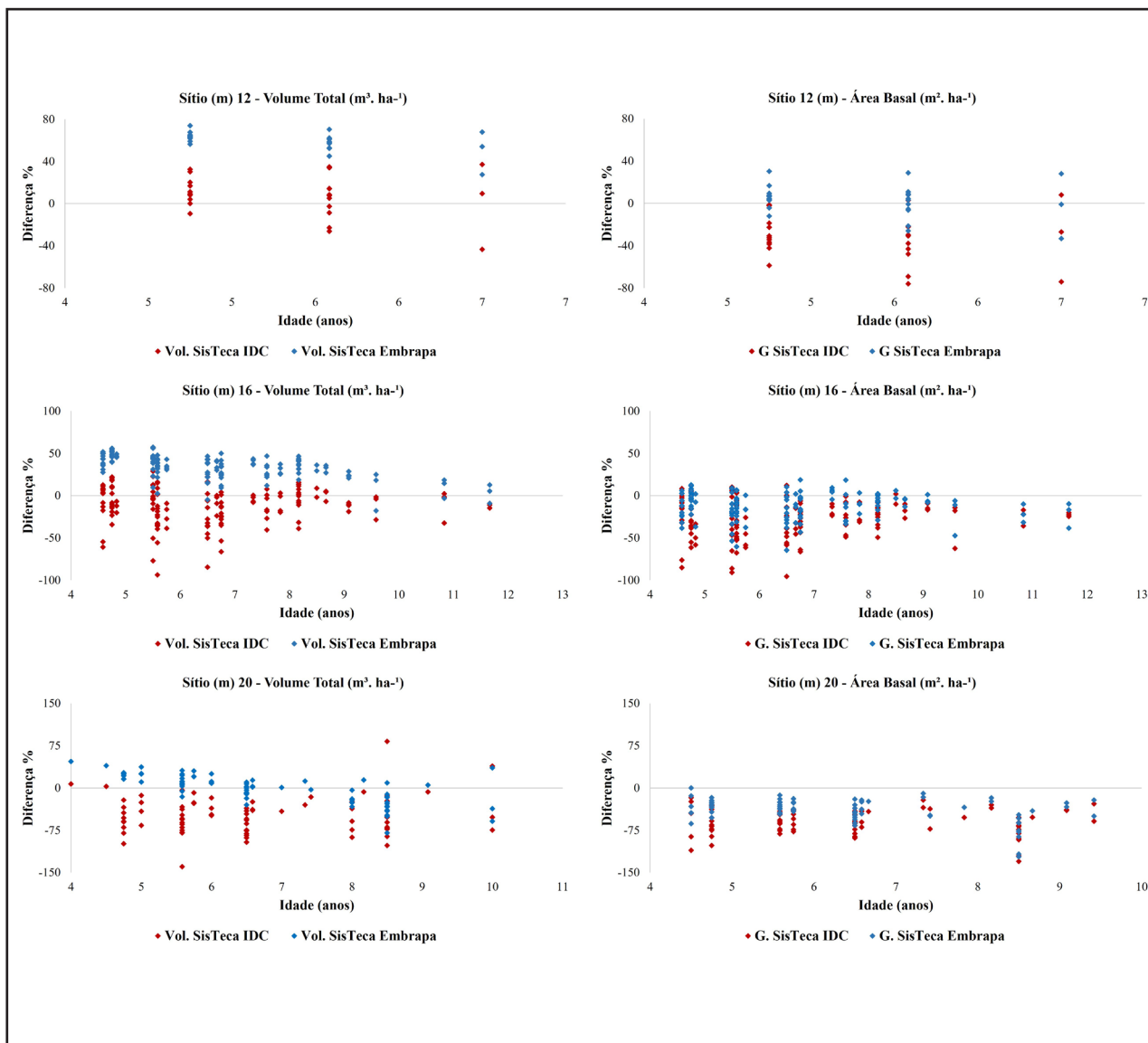
Figura 5 – Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e Área Basal ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) por hectare médios observados e projetados, utilizando o simulador SisTeca com com as equações “default” (SisTeca EMBRAPA) e o SisTeca com as equações próprias para o local (SisTeca IDC)



Fonte: Autores (2019)

Na Figura 6, pode-se observar as diferenças relativas (%) geradas pela simulação “default” e simulação com equações próprias para o local.

Figura 6 – Diferença relativa dos resultados entre o simulador SisTeca IDC e o SisTeca EMBRAPA, com os dados observados em cada parcela nas respectivas idades



Fonte: Autores (2019)

Ao analisar graficamente os resultados das diferenças para as simulações, observa-se que na maioria dos casos o simulador SisTeca IDC fornece resultados projetados sem tendência, exceto para o sítio 20 m, onde ambos foram tendenciosos.

O simulador SisTeca utiliza um conjunto de modelos previamente ajustados, que possibilitam descrever a estrutura da floresta e gerar tabelas de prognose do crescimento e da produção. Porém, apenas algumas equações, como a de sítio, volume

e afilamento, podem ser substituídas pelo usuário. Entretanto, essas equações não interferem na projeção da estrutura diamétrica da floresta, a qual é representada por uma função de densidade de probabilidade. Denota-se que apenas as substituições dessas equações não foram suficientes para obter resultados projetados mais próximos dos valores observados. Cabe ressaltar que o próprio valor observado é resultante de poucas parcelas, sendo necessário implementar a base de dados com árvores que se aproximam da idade de corte, para realizar novas projeções e assim obter resultados mais próximos ao observado.

Para as três classes de produtividade, pode-se observar que em quase todos os casos existem algumas diferenças nos valores projetados e observados, visto que as simulações com o *software* SisTeca geralmente consistem em representar certas características e/ou comportamentos de uma floresta e são construídos a partir de modelos que representam a média para o povoamento.

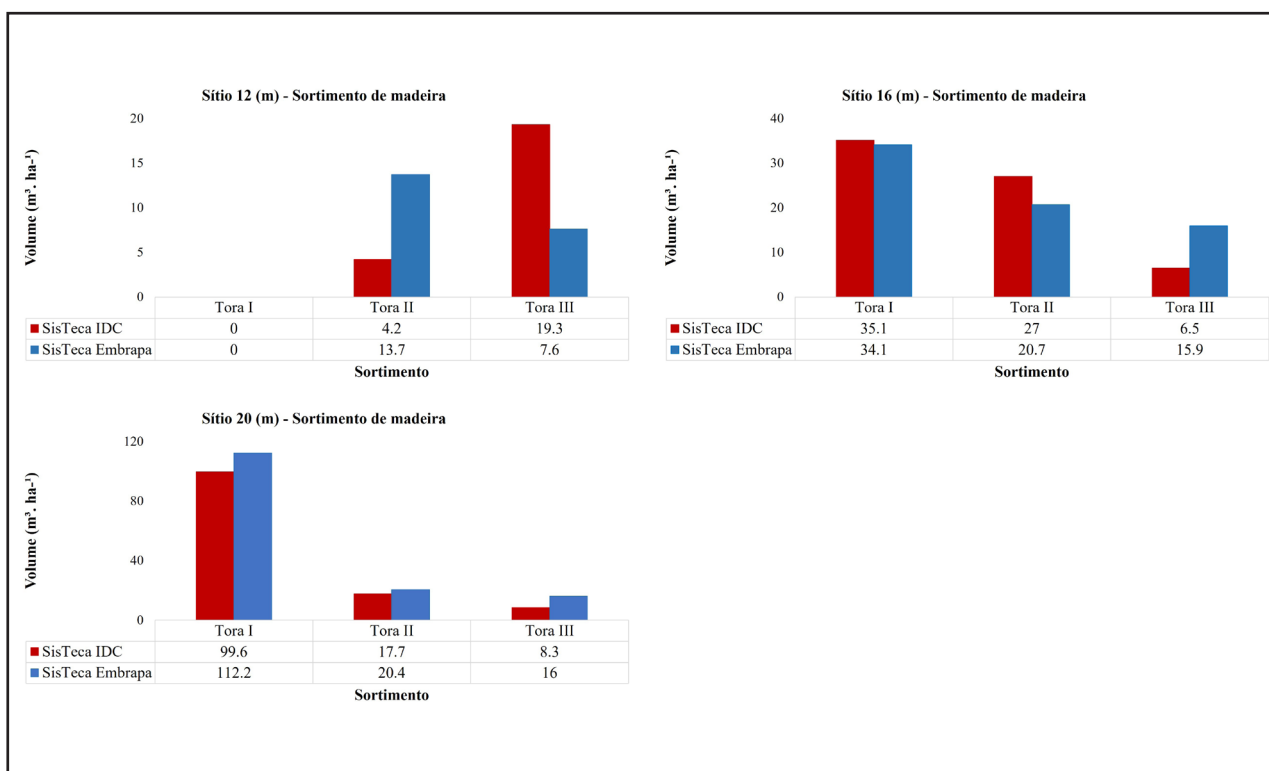
Nota-se que na maioria dos casos o simulador SisTeca com as equações "default" (SisTeca EMBRAPA) gera resultados mais distantes dos dados reais, exceto para a variável Volume total ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) no sítio 20 m, onde o SisTeca com as equações próprias para o local (SisTeca IDC) superestimou em todas as idades analisadas. Porém, realizando uma análise geral, pode-se observar que os resultados obtidos com o simulador SisTeca IDC apresentou valores mais próximos dos dados reais, apresentando uma sutil melhora na projeção da produção.

Para verificação da produção de sortimento não foi possível obter dados reais. Diante disso, optou-se por comparar simulações realizadas no SisTeca IDC contra as equações já utilizadas pelo SisTeca EMBRAPA para as três classes de produtividade (sítio 12, 16 e 20 m) considerando os produtos usados pela empresa: Tora I (toras de 2,50 m \geq 25 cm); Tora II (toras de 2,20 m com 22 a 25 cm) e Tora III (toras de 2,20 m com diâmetro variando entre 20 a 21,99 cm).

Na Figura 7, podem-se observar os resultados dos sortimentos de madeira utilizando simulações com equações próprias para o local. Nessas simulações,

utilizou-se o seguinte sistema de manejo: densidade inicial de 1.515 árv/ha com uma porcentagem inicial de sobrevivência de 95%, desbaste aos 6, 11, 14, 17 e 20 anos com o corte final aos 25 anos, fixando o número de árvores em 1.079; 810; 526; 368 e 184, correspondendo a intensidade de desbaste de 25; 25; 35; 30 e 50%, respectivamente.

Figura 7 – Sortimentos projetados pelo simulador SisTeca com as equações “default” (SisTeca EMBRAPA) e o SisTeca com as equações próprias para o local (SisTeca IDC) por classes de sítio e de sortimentos



Fonte: Autores (2021)

Na Figura 7, observa-se que, em alguns casos, os valores estimados pelo SisTeca IDC e o SisTeca EMBRAPA são muito diferentes, destacando-se principalmente as produções para o sortimento “Tora III” (toras de 2,20 m com diâmetro, variando entre 20 a 21,99 cm), que para as três classes de produtividade (sítio 12, 16 e 20 m) apresentou as maiores diferenças.

Como não foi possível realizar a comparação dos sortimentos projetados com os observados, devido à falta de informação na idade de corte, não é possível

avaliar sobre qual é o melhor sistema. No entanto, nota-se que ambos os simuladores apresentam divergências para realizar a simulação do sortimento. Dessa forma, recomenda-se realizar coletas de dados em povoamentos que estejam mais próximos do ciclo de rotação.

4 CONCLUSÕES

As equações de volume, afilamento e sítio ajustadas para povoamentos de Teca na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso, apresentaram bons resultados de ajuste e precisão e são importantes para a Teca, seja para estimar estoques correntes, seja para inserção em sistemas de crescimento e produção como o SisTeca.

O simulador da EMBRAPA para a Teca quando munido com as ferramentas dendrométricas desenvolvidas na pesquisa gerou melhores prognoses, comparativamente aos valores observados oriundos das parcelas disponíveis para a espécie na região de Alta Floresta, estado de Mato Grosso.

Ressalta-se a necessidade de aquisição de dados mais representativos para a espécie, tanto em termos de idades como de sítio no sentido de desenvolver sistemas de crescimento e produção robustos e/ou ferramentas dendrométricas mais eficientes visando calibrar o SisTeca.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 4 ed. Viçosa: UFV, 2013. 605p.

COSTA, J. M. F. N.; CASTRO, R.V. O.; SOARES, T. S. Crescimento, produção e simulação de desbastes para teca (*Tectona grandis* L.F.). **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 2, p. 67-75, Dez. 2016. DOI: [10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n2p67-75](https://doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n2p67-75).

CRUZ, J. P.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.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. 679-685, Ago. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000400009>.

DRESCHER, R.; GAVA, F.H.; PELISSARI, A.L.; ACOSTA, F.C.; SILVA, V.S.M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 1, n. 2, p. 65-70, Jun. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 465-482, Dez. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000400008>.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. A. S.; KOHLER, S.V.; BECKER, M.; DIEGO, B. Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 50-59, Jan-Mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.080114>.

LEITE, H. G.; ALCÂNTARA, A. E. M. de; BINOT, D. H. B.; OLIVEIRA NETO, R. R. de; SILVA, M. L. M. da. Comparação entre predição e projeção da distribuição de diâmetros de povoamentos de eucalipto submetidos a desbastes. **Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 321-328, Abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000200013>.

MEDEIROS, R. A.; PAIVA, H. N.; DAVILA, F. S.; LEITE, H. G. Growth and yield of teak stands at different spacing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1109-1118, Out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001000004>.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 4, p. 584-598, Dez. 2014.

OLIVEIRA, E. B. Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais. Embrapa Florestas, **Documentos**, n. 216, p. 70, 2011.

ROCHA, H. F.; LEONARDO, F. V. S.; OLIVEIRA, A.C. Plantios comerciais de *Tectona grandis* L.f. no Brasil, **Multitemas**, Campo Grande, v. 20, n. 48, p. 9-28, Nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v0i48.137>.

SCHUHLLI, G. S.; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário nacional da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 63, p. 217-230, Nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.63.217>.

SILVA, F. R.; SILVA, V. S. M.; MIRANDA, S. O. de.; OLIVEIRA, B. R.; SILVA, J.C. Classificação da produtividade para um plantio de *Tectona grandis* em Alta Floresta, Mato Grosso, **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 12, n. 4, p. 809-823, Set./Dez. 2016. DOI: [10.5935/ambiencia.2016.04.04](https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.04.04).

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS – SNIF. **Boletim de Recursos Florestais – 2017**. Ed 1. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/publicacoes/1179-boletim-snif-2017-ed-1>. Acesso em: 21 de janeiro 2017.

SMITH, F. P.; HOLZWORTH, D. P.; ROBERTSON, M. J. Linking icon-based models to code-based models: a case study with the agricultural production systems simulator. **Agricultural Systems**, v. 83, n. 2, p. 135-151, Fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.03.004>.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; CARVALHO, S. de P. C. E.; SOUZA, H.S.; SILVA, R. S. da.; CHAVES, A.G.S. Forma do fuste de árvores de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 3, n. 3, p. 51-54, Set. 2016.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S. da.; SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S.; MOTTA, A. S. da. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p. 1333-1341, Jan. 2014.

Contribuição de Autoria

1 Pedro Paulo Gomes de Oliveira

Engenheiro Florestal, Me., Professor

<https://orcid.org/0000-0003-1633-6871> • pedropaulo_@hotmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 Paulo Costa de Oliveira Filho

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0003-2334-9072> • paulocostafh@gmail.com

Contribuição: Administração do projeto, Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

3 Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0003-4025-9562> • faretslaff@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

4 Afonso Figueiredo Filho

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9965-7851> • afigfilho@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

5 Edilson Batista de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador

<https://orcid.org/0000-0002-5924-817X> • edilson.oliveira@embrapa.br

Contribuição: Metodologia, Escrita – primeira redação

Como citar este artigo

Oliveira, P. P. G.; Oliveira Filho, P. C.; Guimarães, F. A. R.; Figueiredo Filho, A. F.; Oliveira, E. B. Simulação da produção por sortimento de madeira em povoamentos de *Tectona grandis* L. na região norte do estado do Mato Grosso. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2263-2287, 2022. DOI 10.5902/1980509867978. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509867978>.