

## Acurácia da análise de tronco para obtenção da altura de árvores de *Tectona grandis*

Diogo Guido Streck Vendruscolo<sup>1\*</sup> Ronaldo Drescher<sup>1</sup> Samuel de Pádua Chaves e Carvalho<sup>1</sup> Reginaldo Antonio Medeiros<sup>2</sup> Raiane Scandiane da Silva Correio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Mato Grosso, *campus Cáceres*, Av. dos Ramieiros, s/nº - Distrito Industrial, Cáceres - MT, 78200-000.

\*Author for correspondence: diogoguido@hotmail.com

Received: 09 February 2018 / Accepted: 16 April 2018 / Published: 30 June 2018

### Resumo

A utilização da técnica de análise de tronco (*Anatro*) é amplamente empregada para estudos de crescimento e produção florestal. Objetivou-se nesse estudo avaliar a acurácia dessa técnica para estimar a altura de árvores de *Tectona grandis* (teca). A base de dados utilizada foi de doze árvores dominantes com idade de seis anos. Para avaliar a acurácia da altura das árvores obtidas pela *Anatro* comparou-se os dados com os do inventário convencional realizado anualmente no povoamento em nível de árvore individual. O crescimento das árvores de teca foi modelado empregando a função de Weibull, e posteriormente comparado pelo teste de identidade de modelos. A técnica da *Anatro* tende a superestimar a altura das árvores nas idades iniciais. A partir do quarto ano, os erros em relação ao inventário convencional são inferiores a 5%, provando ser uma alternativa eficiente para compor base de dados a serem empregados em estudos de crescimento e produção de teca.

**Palavras chaves:** Teca, *Anatro*, Inventário Florestal; Modelagem do crescimento; Identidade de modelos.

### Abstract

The use of the trunk analysis technique (*Anatro*) is widely used for studies of growth and forest production. The objective of this study was to evaluate the accuracy of this technique to estimate the height of *Tectona grandis* (teak) trees. The database used was twelve dominant trees aged six years. In order to evaluate the accuracy of the height of the trees obtained by *Anatro*, the data were compared with those of the conventional inventory carried out annually in the stand at individual tree level. The growth of the teak trees was modeled using the Weibull function, and later compared by the identity test models. The *Anatro* technique tends to overestimate tree height in early ages. From the fourth year on, the errors in relation to the conventional inventory are less than 5%, proving to be an efficient alternative to compose the database to be used in teak growth and production studies.

**Keywords:** Teak; *Anatro*; Forest inventory; Growth modeling; Identity models.

### Introdução

A análise de tronco também denominada de análise do fuste ou dendrocronologia consiste na medição equidistante, ou não, de certo número de discos ou secções transversais do tronco de uma árvore. Essa técnica considera cada ano de crescimento como uma árvore individual, permitindo a obtenção de um extenso conjunto de dados (Encinas et al. 2005; Thomas et al. 2006).

A altura total, diâmetro e a idade, podem ser obtidos através de parcelas permanentes, temporárias ou, de árvores dominantes, pelo método da análise de tronco (Selle et al. 2008; Campos e Leite 2013). Essa técnica tem sido aplicada como uma ferramenta em mensuração florestal desde a metade do XIX (van Laar e Akça 2007). Seu objetivo é

reconstruir o crescimento de árvores individuais, determinando o diâmetro anual, altura, e crescimento em volume (van Laar e Akça 2007; Campos e Leite 2013). Esse tipo de análise é muito útil, pois segundo Rosot et al. (2003) nas empresas florestais a análise de tronco é utilizada, principalmente, para verificação das taxas de incremento médio da floresta, para avaliação da reação do crescimento a tratamentos culturais ou a determinadas práticas de manejo e para o desenvolvimento de equações de índice de sítio.

A análise de tronco pode ser parcial ou completa. A parcial consiste em coletar medições com a árvore em pé, utilizando o trado de Pressler. Já para a completa, é necessário o corte da árvore para a retirada de discos em diferentes alturas do tronco (Campos e Leite 2013). Dados advindos de análise de tronco são eficientes para o propósito de formação de banco de dados e se equiparam aos dados de parcelas permanentes. No entanto, nem sempre é possível identificar com precisão os anéis de crescimento em espécies de folhosas, ficando a técnica restrita a espécies de coníferas, com exceção de algumas folhosas, como é o caso da teca (Prodan et al. 1997; Campos e Leite 2013).

Os diâmetros dos anéis de crescimento podem ser medidos diretamente a partir dos discos retirados das árvores, mas a altura que cada anel de crescimento atinge, é obtida por estimativa, pois é extremamente difícil medi-lo diretamente no próprio tronco da árvore (Machado et al., 2010). Na literatura, existem vários métodos já desenvolvidos para a obtenção destas estimativas (Dyer e Bailey 1987; Machado et al. 2010).

Geralmente a estimativa da altura total da árvore a uma determinada idade ou no final dos períodos de crescimento específicos é realizada por interpolação linear (Cancino et al. 2013). Alguns métodos de estimativa da altura são baseados apenas na contagem dos anéis de crescimento e nas alturas dos discos (Lenhart 1972). Existem outros métodos que também incluem informações sobre a largura dos anéis de crescimento como o método "TARG" proposto por Kariuki (2002). Na prática, segundo Cancino et al. (2013) em todos os métodos de estimativa de altura é fácil de reconhecer o fato da existência de interpolação linear para atribuir à altura dos pontos ocultos entre as sucessivas secções transversais.

A análise de tronco é amplamente empregada como ferramenta de obtenção de variáveis dendrométricas em povoamentos de teca em vários lugares do mundo. A exemplo, podem ser citados os trabalhos de Cordero e Kanninen (2003) e Perez (2008) na Costa Rica, Jerez-Rico et al. (2011) na Venezuela e em diversos trabalhos realizados no Brasil (Silva et al. 2014; Drescher et al. 2016; Chaves et al. 2016; Ziech et al. 2017). A altura das árvores constitui uma importante variável advinda da análise de tronco, pois é utilizada para o cálculo de volume, incrementos e em muitas situações a altura dominante é utilizada como indicadora da qualidade produtiva de um determinado local (Silva et al. 2012).

Dessa forma, objetivou-se nessa pesquisa avaliar a precisão de dados de altura total de *Tectona grandis* obtidas por meio de análise completa de tronco.

### Material e Métodos



#### Legenda

- Brasil
- Mato Grosso
- Figueirópolis D'Oeste
- Área do Plantio

Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: Sirgas 2000 / fuso 21 S

### Região de estudo e dados

O presente trabalho foi realizado com dados oriundos de um plantio experimental com teca localizado município de Figueirópolis D'Oeste no estado Mato Grosso (Figura 1).

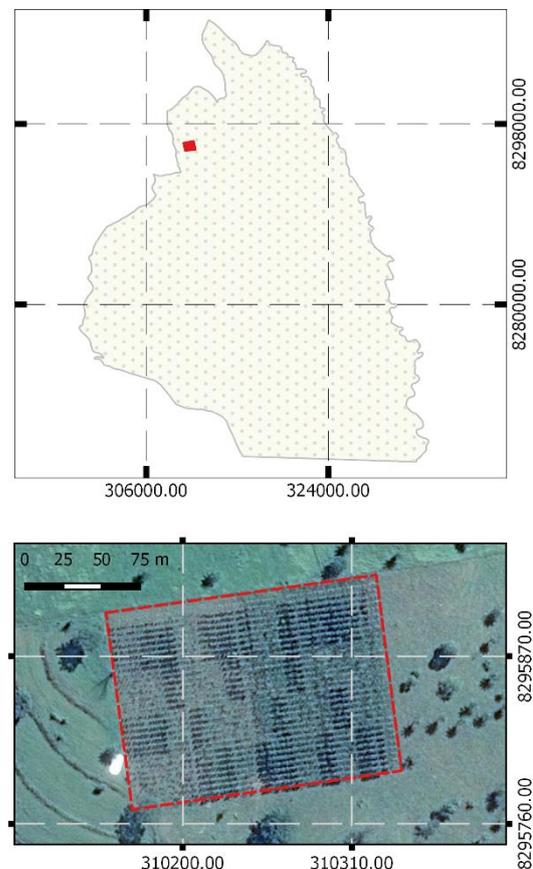


Figura 1 - Localização do plantio de *Tectona grandis*.

O experimento foi implantado em janeiro de 2010, em uma área de aproximadamente 2,3 hectares. O clima da regional é caracterizado como Aw, segundo a classificação de Köppen, com duas estações ao longo do ano, sendo uma chuvosa de outubro a abril e outra seca de maio a setembro. A temperatura média anual varia de 24 a 26 °C, a precipitação total varia entre 1.600 a 1.900 mm ano<sup>-1</sup>, e altitude média de 370 m. A vegetação original da região é composta de Floresta Estacional e Savana Gramíneo-Lenhosa (Alvares et al. 2013; Medeiros et al. 2015).

O plantio de teca é composto por plantas clonais e seminais em espaçamento de 4 × 2 m. Não houve a aplicação de qualquer tipo de adubação no momento do plantio da cultura florestal. As desbrotas e desramas foram realizadas semestralmente, e o povoamento não recebeu desbaste até os seis anos, momento da avaliação. Destaca-se que para esta pesquisa foram utilizados apenas dados do povoamento seminal.

O povoamento seminal na área experimental é composto por 12 parcelas com 20 covas. Anualmente foram medidos o diâmetro à 1,3 m de altura (*DAP*) e altura total (*H*) de todas as árvores das parcelas. Em cada medição, a forma de caminhamento na parcela permitiu identificar cada árvore com um número de forma a monitorar o crescimento individual de cada uma. Assim, para comparar o crescimento efetivo em altura medido em campo com a técnica da análise de tronco, no sexto ano fez-se a seleção de uma árvore dominante por parcela segundo Assmann (1961), as quais foram abatidas e coletados os discos nas seguintes alturas: 0,1

m; 1,3 m; 3,3 m; 5,3 m, posteriormente a cada metro, até um diâmetro de aproximadamente 5 cm.

### Análise de tronco – Anatro

Durante a coleta dos dados, os discos de madeira foram identificados com o respectivo número da árvore e altura do fuste a qual foi retirado. Essa identificação foi feita em uma das faces no próprio disco, com lápis de carbono de cor azul. Posteriormente, o material foi transportado em caixas de papelão para o local de secagem à sombra em temperatura ambiente, por aproximadamente 30 dias conforme o procedimento descrito por Drescher (2004).

Após trinta dias em temperatura ambiente e acondicionados na sombra, os discos foram lixados, para facilitar a visualização dos anéis de crescimento anual, sendo esse procedimento importante para evitar a marcação de falsos anéis, que são comuns em teca (Priya e Bhat 1998). Para a *Anatro*, foi empregada a metodologia descrita em Barusso (1977), sendo marcados quatro raios. O primeiro é aquele em que a secção apresente o maior raio, e a partir deste no sentido anti-horário a 45°, marca-se quatro raios perpendicularmente opostos com 90°, nos quais foram feitas as medições.

Com o auxílio de uma régua graduada em milímetros, foram medidos os anéis sobre os quatro raios, iniciando a medição no centro da medula, em sentido a casca. Após as medições dos discos foram obtidos os raios médios de cada anel de crescimento e sequencialmente, foram feitos os desenhos da forma do tronco de cada uma das árvores para reconstituição do crescimento em cada idade. A obtenção da

altura total das árvores foi conforme o procedimento descrito em Campos e Leite (2013), com a plotagem dos pontos correspondentes ao último anel de cada disco, e interligados por meio de interpolação linear.

#### Processamento dos dados

Após a obtenção das informações da altura dominante em ( $Hd$ ) em cada idade das árvores selecionadas para *Anatro*, formou-se duas bases de dados, sendo uma a do inventário de campo e outra da análise de tronco.

Para avaliar o crescimento em altura dominante nos dois conjuntos de dados, empregou-se a função de Weibull (Eq. 1), resultando em duas equações. Empregou-se esse modelo por ter significado biológico e ser indicado para modelar o crescimento de árvores jovens de teca (Ziech et al. 2016). As estimativas dos parâmetros de regressão foram obtidas pelo método iterativo utilizando o algoritmo de Gauss-Newton, implemento na função *nls* do pacote *stats*.

$$\text{Weibull} \quad Hd_{ij} = \beta_0 \left[ 1 - \exp^{-\beta_1 \cdot Id_i^{\beta_2}} \right] + \varepsilon \quad (1)$$

em que:  $Hd_{ij}$  = altura dominante da  $i$ -ésima árvore na  $j$ -ésima idade (m);  $\beta_i$  = coeficientes do modelo;  $exp$  = exponencial;  $Id_i$  = idade da  $i$ -ésima árvore (anos) e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

A acurácia das estimativas obtidas pelas equações foi avaliada de acordo com as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz quadrada do erro médio em porcentagem -  $RQEM\%$  (Eq. 1), significância dos coeficientes de regressão ( $\beta$ ) pelo teste T e a análise gráfica dos resíduos (Eq. 2).

$$RQEM\% = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$\text{Resíduo}\% = \left( \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right) 100 \quad (2)$$

em que:  $y_i$  = variável observada da  $i$ -ésima árvore;  $\hat{y}_i$  = variável estimada da  $i$ -ésima árvore;  $S$  = variância;  $\bar{y}$  = média da variável observada;  $n$  = número de observações.

#### Teste de Identidade de Modelos

Utilizou-se o teste identidade de modelos a fim de se avaliar se há diferença nas curvas de crescimento entre os dados de inventário com os de *Anatro*. Este procedimento testa se os parâmetros das equações em questão diferem entre si. O teste, descrito por Graybill (1976), baseia-se na aplicação do teste F sobre a estatística dada pela razão entre quadrado médio da diferença (entre o modelo completo e o modelo reduzido) e o quadrado médio do modelo completo.

O modelo completo foi obtido ajustando-se uma equação para cada base de dados em questão na comparação. Assim, seu quadrado médio foi computado pelo somatório das somas de quadrado dos resíduos dessas equações sobre a soma do número de parâmetros das mesmas. O modelo reduzido consistiu no ajuste de uma única equação para os dados unidos. Sendo assim, o quadrado médio da diferença é obtido pela diferença entre a soma de quadrados do modelo completo e o modelo reduzido sobre a diferença entre o número de parâmetros do modelo completo e o número de parâmetros do modelo reduzido.

O nível de significância adotado foi de 5%. Todos os procedimentos estatísticos foram implementados em linguagem R de programação (R Core Team 2015).

#### Resultados e Discussão

A reconstituição do crescimento em diâmetro e altura de uma árvore média amostrada de *Tectona grandis* do

povoamento pode ser observada na Figura 2. O corte longitudinal do fuste promovido por esse tipo de análise permite obter de forma rápida o comportamento do desenvolvimento da árvore desde o estágio juvenil até o momento do abate da mesma.

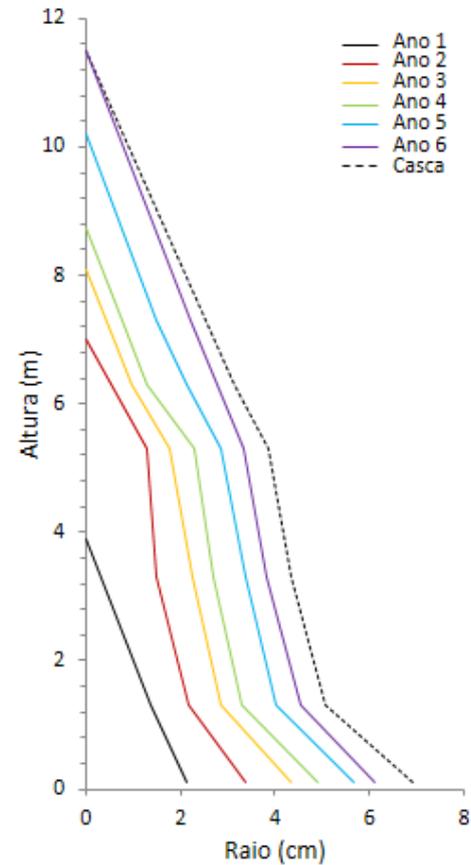


Figura 2 - Árvore de *Tectona grandis* reconstituída após o procedimento da análise de tronco.

A base de dados de altura dominante proveniente da *Anatro* e do inventário tradicional do povoamento está apresentada na Figura 3. Observou-se uma tendência de superestimação das alturas pela *Anatro*, principalmente no segundo e terceiro ano.

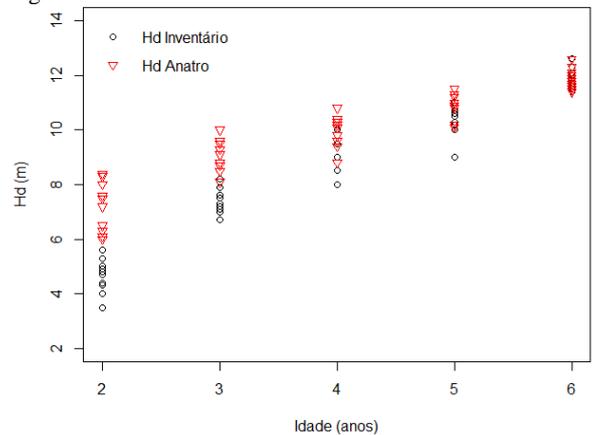


Figura 3 - Relação entre a altura dominante e a idade de árvores de *Tectona grandis* com dados obtidos por inventário convencional e análise de tronco.

A significância dos coeficientes e estatísticas de acurácia das equações empregadas para modelar o crescimento das árvores apontaram que o modelo utilizado foi preciso para estimar o crescimento das árvores. O erro médio das estimativas ficou abaixo de 7% em ambos os ajustes, e o

coeficiente de determinação explicou mais de 90% a variação dos dados (Tabela 1). Os baixos valores de erro médio das estimativas são desejáveis na modelagem, pois apontam que a relação funcional [ $Hd=f(Idade)$ ] descreveu adequadamente a variação das alturas das árvores ao longo da idade, como também constatado por Bermejo et al. (2004); Silva et al. (2014); Medeiros et al. (2015) e Ziech et al. (2016) para povoamentos de teca.

Tabela 1 - Coeficientes e estatísticas de acurácia para as equações de crescimento.

Base de dados		Coeficientes	$Pr(> t )$	$R^2$	$RQEM\%$
Inventário	$\beta_0$	13,8057	0,0000	0,914	6,91
	$\beta_1$	0,1604	0,0000		
	$\beta_2$	1,3762	0,0000		
Anatro	$\beta_0$	18,5024	0,0368	0,910	5,59
	$\beta_1$	0,3205	0,0355		
	$\beta_2$	0,6449	0,0013		

$\beta_i$  = coeficientes estimados;  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $RQEM\%$  = raiz quadrada do erro médio.

Ao avaliar o parâmetro do modelo biológico que representa à assíntota ( $\beta_0$ ), foi observado uma diferença de 25% entre as curvas com dados de inventário e da *Anatro*. A taxa de crescimento (parâmetro  $\beta_1$ ) também foi maior para a equação da *Anatro*, sendo isso explicado devido da superestimação das alturas pela técnica na fase inicial.

Complementarmente, a avaliação dos resíduos aponta para uma distribuição com tendência de variância não constante ao longo da idade (Figura 4). Verifica-se maior instabilidade nas idades iniciais semelhante ao encontrado por Figueiredo (2005) e Chaves et al. (2016). Isso pode ser resultado da variação em altura das plantas na fase juvenil devido ao período de adaptação em campo das mesmas.

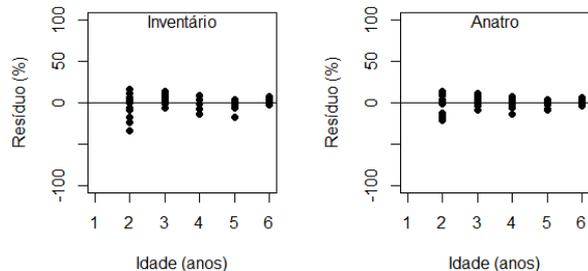


Figura 4 - Resíduos das equações de crescimento de *Tectona grandis* com dados oriundos de análise de tronco (*Anatro*) e inventário convencional

As curvas de crescimento provenientes das duas equações comprovam a tendência de superestimação das alturas das árvores em até 18% na idade de dois anos (Figura 5). Contudo, com o avanço da idade essa diferença tende a anular, ao passo de que no quarto ano essa diferença cai para 5%, sendo considerada como tolerável para a variável altura, já que geralmente a medição dessa variável no campo está sujeita a erros (Campos e Leite 2013).

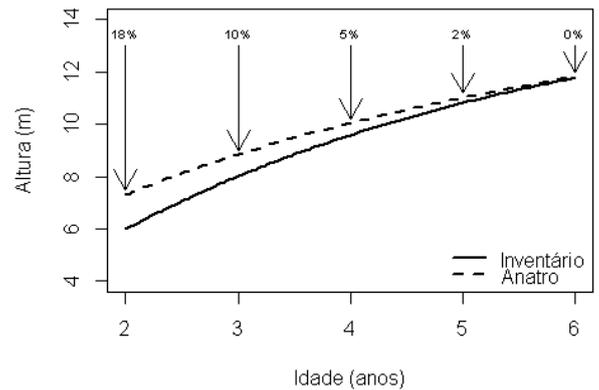


Figura 5 - Curvas de crescimento de *Tectona grandis* com dados oriundos de análise de tronco (*Anatro*) e inventário convencional.

Todavia, as tendências de superestimação das alturas nas idades iniciais podem não ser prejudiciais em estudos de crescimento e produção pelo fato de serem desprezadas na modelagem. Diversos pesquisadores que avaliaram o potencial produtivo da espécie em Mato Grosso utilizam idade de referência superior a 8 anos (Drescher et al. 2016; Ziech et al. 2016; Chaves et al. 2016; Novaes et al. 2017).

O teste de identidade de modelos constatou diferença significativa entre as curvas ( $p$ -valor  $< 0,01$ ), ou seja, a soma de quadrados para a equação ajustada com as duas bases de dados é diferente da soma de quadrados das equações ajustadas isoladamente, indicando que a inclinação das curvas difere estatisticamente. No entanto, pesquisas adicionais ainda devem ser realizadas em conjuntos de dados com idades superiores. Os maiores erros na estimativa da altura pela *Anatro* foram constatados apenas nas idades iniciais, podendo estes não surtir em efeitos significativos em curvas ajustadas com bancos de dados com idades mais avançadas, e assim não implicariam sob o ponto de vista silvicultural e de manejo florestal.

Devido a deficiência de dados confiáveis de parcelas temporárias ou permanentes a técnica de *Anatro* se torna uma alternativa bastante empregada em diversos trabalhos de modelagem do crescimento e produção de teca (Silva et al. 2014; Chaves et al. 2016; Ziech et al. 2016; Novaes et al. 2017). Contudo, os resultados demonstram que tendências podem ocorrer nas idades iniciais. Van Laar e Akça (2007) afirmam que, embora a análise de tronco seja um método rápido e econômico de obtenção de variáveis dendrométricas, o crescimento em altura pode ser tendencioso.

Novaes et al. (2017) avaliaram curvas de crescimento em povoamentos de teca utilizando a idade referência de 8 anos, com dados obtidos de análise de tronco agrupados com dados de parcelas permanentes. Os autores afirmam que a tendência do crescimento em altura dominante antes e depois da inclusão dos dados de *Anatro* foi semelhante e permite a realização de estudos de crescimento e produção de forma precisa.

Uma ressalva que deve ser destacada, é que a superestimação pela *Anatro* nas idades iniciais pode estar relacionada com as particularidades morfológicas da espécie. Diferentemente de uma espécie conífera, que o fuste principal tem uma tendência contínua, da base até o meristema apical, a teca apresenta copa arredondada, compostas por galhos laterais. Dessa forma, a presença de galhos acaba descaracterizando a continuidade do fuste principal, desde base até o topo da árvore, o que pode resultar em erros na estimativa das alturas, já que os métodos de obtenção envolvem interpolação linear. Outra fonte de erro que pode contribuir quando se trabalha com a *Anatro*, segundo Dahms (1963) é a incerteza de que as árvores dominantes

selecionadas, possam não ter ocupado esse extrato na fase inicial do seu estabelecimento no campo.

Ainda, as tendências podem ser agravadas quando se aumenta a distância de coleta entre os discos, pois é nesta porção que estão os dados do crescimento inicial, proporcionando maiores erros nessas idades. Isso é comum em árvores de teca, principalmente em povoamentos com idades avançadas, onde é evitado o fracionamento excessivo do tronco para não reduzir consequentemente o valor do produto, já que as árvores dominantes possuem alto valor comercial. Cancino et al. (2013), avaliaram vários métodos para determinação da altura de árvore em análise de tronco, e observaram que a precisão desses métodos está fortemente influenciada pela intensidade de amostragem ao longo do fuste.

Uma alternativa para contornar essas possíveis tendências quando se trabalha com dados de análise de tronco em teca é aumentar a intensidade de amostragem dos discos, preferencialmente com distâncias fixas ao longo do fuste e a não utilização de idades inferiores à quatro anos na modelagem de crescimento e produção.

### Conclusões

A obtenção da altura de *Tectona grandis* por meio da análise de tronco apresenta tendência de superestimava nas idades inferiores a quatro anos.

A partir do quarto ano as alturas obtidas por análise de tronco são semelhantes com as medidas do inventário convencional, com erro abaixo de 5%, sendo, portanto, uma alternativa eficiente para obtenção de dados para modelagem do crescimento e produção de *Tectona grandis*.

### Referências

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6):1-18. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507
- Assmann E (1961) *The principles of forest yield study*. New York: Pergamon Press. 506p.
- Barusso APA (1977) *Determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco*. Dissertação, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 122p.
- Bermejo I, Cañellas I, San Miguel A (2004) Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 189(1-3): 97-110. doi:doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.031
- Campos JCC, Leite HG (2013) Mensuração florestal: perguntas e respostas. 4. ed. Viçosa: UFV. 605p.
- Cancino J, Acuña E, Espinosa M (2013) Combining ring counting and ring width for estimating height in stem analysis. *Forest Science*, 59(6): 599-609. doi.org/10.5849/forsci.12-028
- Chaves AGS, Drescher R, Caldeira SF, Martinez DT, Vendruscolo DGS (2016) Capacidade produtiva de *Tectona grandis* L.f no Sudoeste de Mato Grosso. *Scientia Forestalis*, 44(104): 415- 424. dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.14
- Cordero L, Kanninen M (2003) Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica*, 37(1): 45-54.
- Dahms WG (1963) Correction for possible bias in developing site index curves from sectioned tree data. *Journal of Forestry*, 61(1): 25-27.
- Drescher R (2004) *Crescimento e produção de Tectona grandis Linn. F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso*. Tese, Universidade Federal de Santa Maria. 133p.
- Drescher R, Nunes GM, Martinez DT, Pelissari AL (2016) Capacidade produtiva do sítio em povoamentos jovens de *Tectona grandis* L. f. de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil. *Revista Brasileira de Biometria*, 34(2): 233-242.
- Dyer ME, Bailey RL (1987) A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. *Forest Science*, 33(1): 3-13.
- Encinas JI, Silva GF da, Pinto JRR (2005) *Idade e crescimento das árvores*. Brasília: UnB, Departamento de Engenharia Florestal. 43 p. (Comunicações Técnicas Florestais, 7).
- Figueiredo OB, Scolforo JRS, Oliveira AD (2005) *Estimativa do percentual de casca e fator de forma em povoamentos jovens de teca (Tectona grandis L.f)*. Rio Branco: Embrapa Acre. 5 p. (Documentos, 165).
- Graybill FA (1976) *Theory and application of linear model*. Belmont: Duxbury. 704p.
- Jerez-Rico M, Moret-Barillas AY, Carrero-Gómez OE, Macchiavelli RE, Quevedo-Rojas A M (2011) Curvas de índice de sitio basadas en modelos mixtos para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. F.) en los Llanos de Venezuela. *Agrociencia*, 45(1): 135-145.
- Kariuki M (2002) Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. *Forestry*, 75(1): 63-74. doi.org/10.1093/forestry/75.1.63
- Lenhart DJ (1972) An alternative procedure for improving height/age data from stem analysis. *Forest Science*, 18(4): 332-332.
- Machado SA, Silva LCR, Figueira MA, Téo SJ, Nascimento RGM (2010) Comparison of methods for estimating heights from complete stem analysis data for *Pinus taeda*. *Ciência Florestal*, 20(1): 45-55. doi.org/10.5902/198050981760
- Medeiros RA, Paiva HN, Leite HG, Oliveira Neto SN, Vendruscolo DGS, Silva FT (2015) Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* Lf em sistema taungya. *Revista Árvore*, 39(5): 893-903. doi.org/10.1590/0100-67622015000500012
- Novaes DM de, Santos AC de A, Soares CPB, Paiva HN, Reis GG dos, Monte MA, Davila FS, Leite HG (2017) Modeling *Tectona grandis* tree and stand growth using stem analysis and permanent plot data. *Revista Árvore*, 41(5) e410503. doi.org/10.1590/1806-90882017000500003
- Perez D (2008) Growth and volume equations developed from stem analysis for *Tectona grandis* in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 20(1): 66-75.
- Priya PB, Bhat KM (1998) False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.f.) and the influence of environmental factors. *Forest Ecology and Management*, 108(3): 215-222. doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00227-8

- Prodan M, Peters R, Cox F, Real P (1997) *Mensura Forestal*. San Jose: IICA. 586p.
- R Core Team (2015) R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rosot MAD, Figueiredo Filho A, Disperati AA, Emerenciano DB (2003) Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. *Floresta*, 33(3): 235-255.
- Selle GL, Pauleski DT, Braz EM (2008) *Como classificar sítios florestais através da altura dominante do povoamento*. Colombo: Embrapa Florestas. 46 p. (Documentos, 166).
- Silva FR, Silva VSM e, Miranda SO (2014) Crescimento de *Tectona grandis* em um uma plantação no município de alta floresta, Mato Grosso. *Floresta*, 44(4): 577-588. doi.org/10.5380/uf.v44i4.29699
- Silva GF, Curto R de A, Soares CPB, Piassi L de C (2012). Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. *Revista Árvore*, 36(2): 341-348. doi.org/10.1590/S0100-67622012000200015
- Thomas C, Andrade CM, Schneider PR, Finger CAG (2006) Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16(3): 319-327. doi.org/10.5902/198050981911
- van Laar A, Akça A (2007) *Forest mensuration*. Managing Forest Ecosystems. Vol. 13. Dordrecht, Springer. 383p.
- Ziech BG, Silva VS de M e, Drescher R, Vendruscolo DGS (2017) Índice de espaçamento relativo para povoamentos de *Tectona grandis* L. f. em Mato Grosso. *Nativa*, 5(5): 362-366. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n05a10
- Ziech BG, Silva VS de M e, Drescher R, Vendruscolo DGS (2016) Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para teca em Glória D'Oeste-MT. *Revista Brasileira de Biometria*, 34(4): 533-542.