

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**LAUREN SOARES SILVA**

**RECONSTRUÇÃO DA ALTURA POR MEIO DA ANATRO COMPLETA DO  
TRONCO DE *Pinus taeda* L.**

**MONTE CARMELO  
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**LAUREN SOARES SILVA**

**RECONSTRUÇÃO DA ALTURA POR MEIO DA ANATRO COMPLETA DO  
TRONCO DE *Pinus taeda* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa

**MONTE CARMELO  
2019**

**LAUREN SOARES SILVA**

**RECONSTRUÇÃO DA ALTURA POR MEIO DA ANATRO COMPLETA DO  
TRONCO DE *Pinus taeda* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Florestal, Campus Monte Carmelo, da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte dos requisitos necessários para  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa  
Orientador

---

Prof. Dr. Alvaro Augusto Vieira Soares  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Antônio José Vinha Zanuncio  
Membro da Banca

**MONTE CARMELO  
2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço ao Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa pela oportunidade e por seus ensinamentos, paciência, incentivo e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades. Aos professores Alvaro Augusto Vieira Soares e Antônio José Vinha Zanuncio pela colaboração e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Célio e Diva, minha sogra Ofélia e meu namorado Kássio pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E por fim, a Universidade Federal de Uberlândia - UFU, seu corpo docente, direção e administração, por todos os conhecimentos, dedicação e contributo para o meu conhecimento pessoal educacional.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Ilustração da seção entre 2 discos mostrando o fim do anel de crescimento.....	14
<b>Figura 2.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura variável ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	23
<b>Figura 3.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 2 em 2 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	24
<b>Figura 4.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 3 em 3 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	25
<b>Figura 5.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 4 em 4 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	26
<b>Figura 6.</b> Gráfico de resíduos do crescimento em alturas segundo os métodos avaliados em <i>Pinus taeda</i> L.....	29
<b>Figura B1.</b> Perfil do tronco usado para a reconstrução das alturas de <i>Pinus taeda</i> L.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Seleção de discos com as determinadas alturas ao longo do fuste que serão utilizadas na reconstrução do perfil do tronco de <i>Pinus taeda</i> L.....	13
<b>Tabela 2.</b> Métodos utilizados na reconstrução do perfil do tronco de <i>Pinus taeda</i> L.....	15
<b>Tabela 3.</b> Critérios utilizados e suas respectivas expressões para avaliar valores de altura de <i>Pinus taeda</i> L.....	16
<b>Tabela 4.</b> Resumo estatístico das árvores usadas na reconstrução do crescimento através da análise de tronco completa de <i>Pinus taeda</i> L.....	18
<b>Tabela 5.</b> Comparação pareada dos métodos de avaliação entre diferentes discos de <i>Pinus taeda</i> L.....	21
<b>Tabela 6.</b> Coeficientes estimados e critérios estatísticos usados na seleção das equações de Chapman-Richards para descrever o crescimento em altura de <i>Pinus taeda</i> L.....	28
<b>Tabela A1.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura ao longo do fuste variável a partir da posição de 1,3 m.....	35
<b>Tabela A2.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 2 em 2 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	36
<b>Tabela A3.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 3 em 3 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	37
<b>Tabela A4.</b> Comparação entre árvores de <i>Pinus taeda</i> L., por idade, em altura de 4 em 4 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.....	38
<b>Tabela B1.</b> Resultados da reconstrução do perfil do tronco de <i>Pinus taeda</i> L.....	46

## RESUMO

A Análise Completa do Tronco (ACT) é uma técnica usada para reconstituir o crescimento passado de variáveis dendrométricas de árvores que tenham anéis de crescimento visíveis. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar diferentes métodos para reconstrução da altura por meio da ACT de *Pinus taeda* L. Foram selecionadas árvores dominantes ( $h_{100}$ ) de parcelas circulares com área de 400 m<sup>2</sup>. Para a ACT foram utilizados dados de 10 árvores abatidas, secas e lixadas em discos de 1 em 1 metro a partir do diâmetro à altura do peito até a altura total. A fim de medir os anéis de crescimento entre discos utilizou-se o programa Image-Pro Plus. Para a reconstrução do crescimento em altura foram utilizados seis métodos: i) Graves; ii) Lenhart; iii) Carmean; iv) Carmean modificado; v) Proporções; e vi) Targ. Para cada método avaliou-se o crescimento a partir de diferentes posições a partir do dap, sendo elas variável, 2, 3 e 4 metros entre discos. Na comparação entre métodos foi utilizado o teste t, a análise de variância e o teste de médias por Tukey para avaliar diferenças ou não em cada idade entre as árvores. Com o objetivo de descrever o crescimento em altura (h), testou-se o modelo de Chapman-Richards. A performance dos modelos ajustados foram averiguados quanto ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a raiz do erro quadrático médio (RMSE), ao erro percentual absoluto médio (MAPE), ao critério de informação de Akaike corrigido ( $AIC_c$ ), ao critério de informação de Akaike *weights* – [ $w_i(AIC)$ ] e a análise gráfica dos resíduos. A partir da análise dos resultados foi possível concluir que o método de Targ apresentou maior capacidade preditiva que os demais, o que possivelmente se deve a utilização do raio dos anéis internos dos discos no cálculo da altura. A posição de 4 m entre discos foi a que apresentou o melhor ajuste e menor erro nas avaliações, sendo esse último justificado pelo menor número de discos avaliados.

Palavras-chave: Pinus. Anatro Completa. Determinação da altura. Modelagem de crescimento.

## ABSTRACT

Complete stem analysis is a technique used to rebuild the past growth of trees dendrometric variables that have visible growth rings. In this way, the present work aimed to evaluate different methods for height reconstruction using the *Pinus taeda* L. complete stem analysis. It was selected dominant trees ( $h_{100}$ ) of circular plots with an area of 400 m<sup>2</sup>. For complete stem analysis data were used 10 trees felled, dried and sanded in every 1m slices from diameter to full height. In order to measure growth rings between slices, the Image-Pro Plus program was used. For height growth reconstruction, six methods were used: i) Graves; ii) Lenhart; iii) Carmean; iv) Modified Carmean; v) ISSA; and vi) Targ. For each method the growth was evaluated from different positions from the diameter at 1,3m, being them variable, 2, 3 and 4 meters between slices. In the comparison between methods, the t-test, the analysis of variance and the Tukey test were used to evaluate differences or not at each age between the trees. In order to describe height growth (h), the Chapman-Richards model was tested. The performance of the adjusted models was determined by the coefficient of determination ( $R^2$ ), the root mean square error (RMSE), the mean absolute percentage error (MAPE), the corrected Akaike information criterion (AICc), the Akaike weights information criterion -  $w_i$  (AIC) and graphical analysis of the residues. From the analysis of the results it was possible to conclude that the Targ method presented higher predictive capacity than the others, which is possibly associated to the use of the internal rings on the disks in the height calculation. The 4 m position between slices presented the best results and lowest error in the evaluations, this can be justified by the smaller number of slices evaluated.

Keywords: Loblolly Pine. Complete Stem Analysis. Determination of the height. Growth modeling.



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	9
2 OBJETIVOS .....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	11
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	12
3.3 RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DO TRONCO .....	14
3.4 MODELOS DE CRESCIMENTO .....	15
3.5 CRITÉRIOS USADOS PARA AVALIAR A PERFORMANCE DOS MODELOS AJUSTADOS .....	16
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES .....	18
4.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS .....	19
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE ÁRVORES, POR IDADE, SEGUNDO AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS .....	22
4.4 COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA, SEGUNDO AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS .....	27
5 CONCLUSÃO .....	30
6 RECOMENDAÇÕES .....	30
7 REFERÊNCIAS.....	31
APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE ÁRVORES, POR IDADE, EM DIFERENTES POSIÇÕES .....	34
APÊNDICE B – RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DO TRONCO .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor florestal brasileiro contribuiu com uma parcela importante para a economia do país, além de se tornar um dos mais relevantes no cenário global. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), apenas a indústria madeireira contribuiu com 79,3% (R\$ 16,3 bilhões) do valor arrecadado da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (Pevs) no ano de 2018. Este valor se deve aos 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo representado em sua maioria por espécies de Eucalipto (75,2%) e de *Pinus* (20,6%) (IBÁ, 2017).

O gênero *Pinus* pertence à família Pinaceae e é comumente composto por espécies arbóreas lenhosas, com altura que pode variar entre 3 e 50 metros (LORENZI et al., 2003). As árvores apresentam tronco reto e cilíndrico, e as copas possuem forma de cone. As folhas estão em forma de acículas e agrupadas em fascículos. A massa específica da madeira de *Pinus* varia de 400 a 520 kg.m<sup>-3</sup>, a 15% de umidade (THOMAS, 1977). Além disso, apresentam coloração da madeira do cerne que pode variar do amarelo-claro ao alaranjado ou castanho-avermelhado (LIMA et al., 1988).

Espécies desse gênero são plantadas no Brasil há algumas décadas devido ao seu rápido crescimento e capacidade de produção em variados tipos de ambientes, assim como à diversidade de usos de sua madeira, o que possibilita a produção desse recurso natural em todo país e permite sua substituição em alternativa a madeira de espécies nativas (GODINHO et al., 2019). Deste gênero, as espécies mais difundidas no país são *P. elliottii* e *P. taeda*, e, em menor escala *P. caribaea* e *P. oocarpa*, consideradas espécies tropicais. Apesar de serem amplamente difundidas, ainda há possibilidade de estudo de tópicos que considerem o manejo florestal sustentável dessas espécies.

A determinação das características de crescimento em altura e diâmetro de uma espécie e seu contato com o meio é um dos fatores fundamentais para o manejo florestal sustentável (GONÇALVES; SANTOS, 2008). Para indicar esse fator, umas das técnicas mais eficazes é o inventário florestal contínuo, no qual, é possível avaliar informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais, além de estimar a produção da floresta em um determinado espaço de tempo.

Para realizar esse processo, é indicado efetuar a análise de tronco completa de árvores amostrais, o que irá culminar na derrubada da árvore que se deseja avaliar o crescimento, seguido da extração de discos em alturas pré-determinadas e da transferência desse material

para um laboratório, onde ele será seco e lixado. Posteriormente, para cada uma das discos coletados é feita a identificação dos anéis de crescimento e a mensuração das distâncias do término de cada anel em relação ao centro da medula.

Conforme WOLFF II et al. (2019), uma das vantagens da análise do tronco completa é permitir o estudo do crescimento da árvore com resultados imediatos, pois em qualquer época é possível reconstituir plenamente o desenvolvimento de uma árvore em termos de crescimentos passados, desde sua fase jovem até a idade da análise. Este processo permite avaliar os crescimentos em volume, área basal, diâmetro e altura, bem como sua forma.

Na determinação da altura é possível encontrar diversos métodos, os mais usuais são: Paralelismo, Graves (1906), Lenhart (1972), Carmean (1972), Carmean modificado (NEWBERRY, 1991), Proporções (BRISTER; SCHULTZ, 1981), Targ (KARIUKI, 2002), entre outros. É importante que seja feita a análise das estatísticas de qualidade dos métodos para que seja possível selecionar o mais acurado e prático (MACHADO et al., 2010).

Apesar de serem compostos por variáveis similares aos demais, como altura de obtenção de discos e número de anéis de crescimento, os métodos de Proporções e Targ se diferem por considerar o raio entre os anéis mais próximos a medula. Mesmo esse sendo um processo que torna a obtenção da altura mais onerosa e de menor praticidade, autores como Karuki (2002) os consideram de maior precisão e acurácia.

Em estudo desenvolvido por Machado et al. (2010) para a espécie de *Pinus taeda* L. não foi avaliado o crescimento em diferentes alturas de obtenção das fatias, pois o autor determinou a altura real das árvores por meio do corte longitudinal do fuste. Ademais, os mesmos autores não utilizaram o método de Targ proposto por Kariuki (2002), considerado o melhor por Cancino, Acunã e Espinosa (2013), o que reforça a necessidade da análise desses fatores.

Além disso, o presente estudo pretende verificar o efeito dos pares de dados de altura e idade obtidos pelos métodos analisados, a aquisição de fatias em posições variáveis, de 2 m, 3 m e 4 m ao longo do fuste, e comparar a tendência de crescimento em altura com ajustes de modelos de regressão, fatores que podem permitir maior praticidade na análise e melhor aproveitamento da madeira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar métodos para a reconstrução da altura em análise de tronco completa de *Pinus taeda* L.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e reconstruir o perfil do tronco das árvores;
- Avaliar a reconstrução do perfil do tronco de acordo com a obtenção de discos em posições variáveis, 2 m, 3 m e 4m a partir do diâmetro à altura do peito das árvores;
- Determinar o método ideal para a reconstrução do crescimento em altura dominante de *Pinus taeda* L.
- Ajustar e comparar modelos de crescimento para a variável altura dominante segundo os métodos de reconstrução da altura avaliados;

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Os dados foram coletados nas cidades de Santa Catarina: Otacílio Costa e Lages, em que, as coordenadas UTM são [27° 29' S; 50° 7' W] e [27° 48'S; 50° 19' W], e as altitudes 873m e 987m, respectivamente. De acordo com a classificação de Koppen, o clima das cidades são Cfb, identificado por ser um clima temperado, com chuvas distribuídas uniformemente, verão com temperaturas amenas e sem estação seca (ALVARES et al., 2013). A pluviosidade acumulada anual da cidade de Otacílio Costa é de 1749mm, enquanto a de Lages é de 1685mm. A temperatura média anual das cidades é de 15,9 °C e 16,6 °C, respectivamente.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o levantamento dos dados foram selecionadas 10 parcelas com povoamentos de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade, sendo 5 em cada cidade, com unidades amostrais circulares de área de 400m<sup>2</sup> e espaçamento de 3x2 m. Para seleção da árvore utilizou-se o conceito de árvore dominante de Assman, em que, esta será a média das 100 árvores mais grossas por hectare. Após, a identificação e abate da árvore dominante ( $h_{100}$ ) da parcela, foi realizada a retirada de discos ao longo do tronco nas posições: 0,2m, 1,3m, 3,3m, 4,3m, e assim, sucessivamente, de metro em metro até à altura total da árvore. Com a secagem dos discos, fez-se o acabamento com lixadeira na superfície dos discos, utilizando lixas com as gramaturas 80, 120, 220, 280, 400 e 600, com intuito de tornar mais fácil a visualização dos anéis de crescimento.

A prévia delimitação dos anéis de crescimento com lápis, foi efetuada antes da etapa de digitalização dos discos por meio de um *scanner*, gerando arquivo em formato de imagem e resolução de 1200 pixels. Dessa maneira, foi possível realizar a medição dos anéis de crescimento na imagem digitalizada com o *Software Image-Pro Plus* (MEDIA CYBERNETICS, 2019). A medição dos incrementos radiais nas posições de (0°, 90°, 180° e 270°) foram obtidas com o *Software Image-Pro Plus* (MEDIA CYBERNETICS, 2019), que por sua vez, permitiu a realização da média radial desses incrementos mensurados.

O tabelamento dos dados foi efetuado para a reconstrução do perfil do tronco e seleção de discos a serem utilizados para cada posição ao longo do fuste das árvores analisadas (Tabela 1). Dessa forma, considerou-se os seguintes símbolos para a descrição dos discos utilizados:  $\Delta$ , 2, 3, 4. Sendo o primeiro símbolo representativo para a metodologia que adota discos de 1 em 1m, porém alguns discos devem ser pulados afim de que a quantidade de anéis no disco superior seja sempre menor do que a quantidade no inferior. Os demais símbolos se referem diretamente a distância considerada entre os discos analisados.

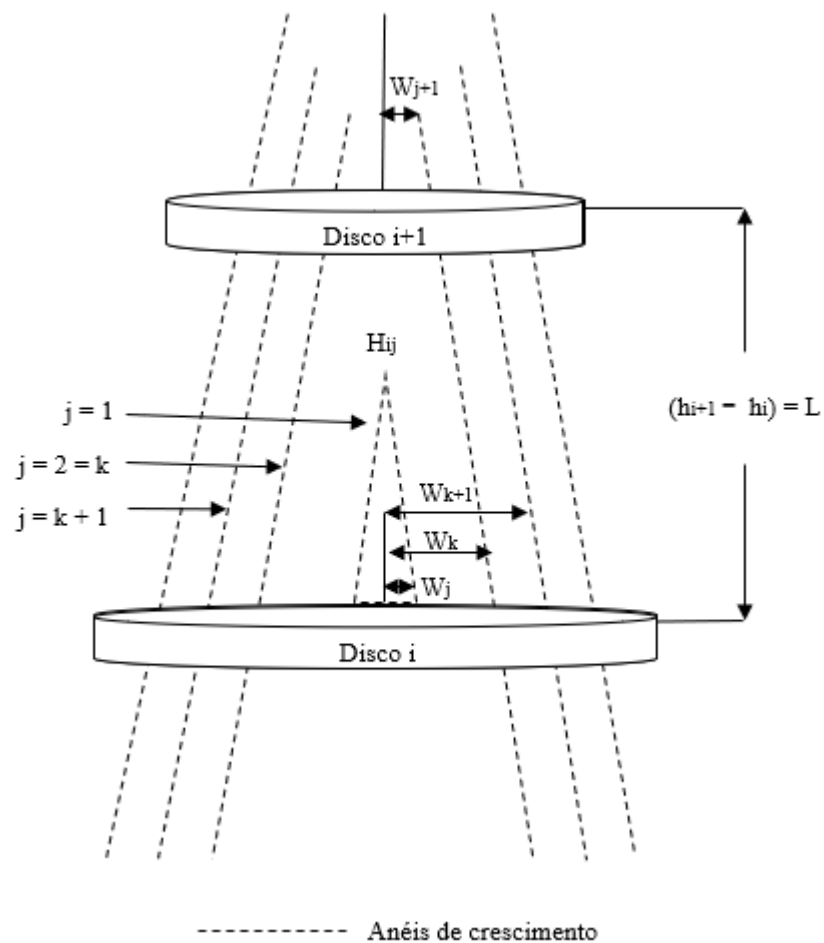
**Tabela 1.** Seleção de discos com as determinadas alturas ao longo do fuste que serão utilizadas na reconstrução do perfil do tronco de *Pinus taeda* L.

Árvore	h (m)	h <sub>i</sub> (m)																				n					
		0,2	1,3	3,3	4,3	5,3	6,3	7,3	8,3	9,3	10,3	11,3	12,3	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	Ref.	Δ	2	3
1	22,4	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	2	Δ; 3	2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ; 2; 4	3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	21	16	12	8	7		
2	22,8	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	3	Δ; 2; 4	Δ; 2; 3	Δ	2; 4	3	2	Δ	2; 3; 4	Δ	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	21	14	12	8	7		
3	16,5	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	2; 4	Δ; 3	2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ; 2						15	12	9	6	5		
4	23,2	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	2	Δ; 3	2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ; 2; 4	3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ; 2	Δ; 3	2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	21	15	12	8	7		
5	22,2	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	3	Δ; 2; 4	Δ; 2; 3	Δ	2; 4	Δ; 3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ	Δ; 2	Δ; 3	2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	21	16	12	8	7	
6	23,4	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	Δ; 3	2; 4	Δ	2; 3	Δ	2; 4	Δ; 3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	Δ; 3	22	17	12	9	7	
7	20,4	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ	2; 3	Δ	Δ; 2; 4	3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ	2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	19	15	11	8	6		
8	21,3	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	Δ; 3	2; 4	Δ	2; 3	Δ	2; 4	Δ; 3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	20	17	11	8	6	
9	22,7	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	Δ; 3	2; 4	Δ	2; 3	Δ	2; 4	Δ; 3	Δ; 2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ	Δ; 2	3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ; 2; 4	Δ; 3	22	16	12	9	7
10	19,7	Δ;2;3;4	Δ;2;3;4	Δ; 2	3	Δ; 2; 4	Δ	Δ; 2; 3	Δ	Δ; 2; 4	Δ; 3	2	Δ	Δ; 2; 3; 4	Δ	Δ; 2	Δ; 3	Δ; 2; 4	Δ		18	16	11	8	6		

Em que: h = altura total, em m; h<sub>i</sub> = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>), em m; n = número de discos; Ref. = número de discos; Δ = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>) variável a partir da posição de 1,3 m; 2 = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>) em 2 m a partir da posição de 1,3 m; 3 = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>) em 3 m a partir da posição de 1,3 m; 4 = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>) em 4 m a partir da posição de 1,3 m.

### 3.3 RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DO TRONCO

A fim de elucidar os métodos faz-se necessário conhecer a terminologia inicial, que será representada na Figura 1, esta confeccionada para o presente estudo com adaptação da proposta por Kariuki (2002). Para realizar a reconstrução do perfil do tronco das árvores foram utilizados 6 métodos com metodologia e expressões diferentes (Tabela 2).



**Figura 1.** Ilustração da seção entre 2 discos mostrando o fim do anel de crescimento

Em que:  $L$  = seção ou comprimento do fuste entre a retirada de um disco e outro;  $k$  = anéis mais internos de um disco, que não estão presentes no disco imediatamente superior;  $j$  = cada anel de crescimento contado a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $i$  = número do disco, sentido base-topo;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco;  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $t_{ij}$  = idade da árvore associada ao anel  $j$  no  $i$ -ésimo disco;  $w_j$  = raio do  $j$ -ésimo anel de crescimento (cm);  $w_k$  = raio do anel interno  $k$ . **Fonte:** Adaptado de Kariuki (2002).

**Tabela 2.** Métodos utilizados na reconstrução do perfil do tronco de *Pinus taeda* L

Métodos	Fórmulas
Graves (1906)	$H_{ij} = h_i + j \cdot \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1})}$
Lenhart (1972)	$H_{ij} = h_i + j \cdot \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[(r_i - r_{i+1}) + 1]}$
Carmean (1972)	$H_{ij} = h_i + \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[2(r_i - r_{i+1})]} + (j - 1) \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1})}$
Proporções	$H_{ij} = h_i + (h_{i+1} - h_i) \cdot \left(\frac{w_i}{w_k}\right)$
Carmean modificado	$H_{ij} = h_i + \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[2(r_i - r_{i+1}) - 0,5]} + (j - 1) \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1} + 0,5)}$
TARG	$H_{ij} = h_i + \Delta L$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $j$  = cada anel de crescimento contando a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $r_i$  = número de anéis de crescimento no  $i$ -ésimo disco;  $w_j$  = raio do  $j$ -ésimo anel de crescimento (cm);  $w_k$  = raio do anel interno  $k$  (cm);  $L$  = seção entre discos.

### 3.4 MODELOS DE CRESCIMENTO

Para a modelagem do crescimento em altura dos fustes foi utilizado o modelo Chapman-Richards, descrito pela expressão:

$$Y = a[1 - e^{-bX}]^c$$

Em que:  $Y$  = altura (m);  $X$  = idade da árvore (anos);  $a$ ,  $b$ , e  $c$  = coeficientes de regressão estimada da função.



### 3.5 CRITÉRIOS USADOS PARA AVALIAR A PERFORMANCE DOS MODELOS AJUSTADOS

Para a avaliação dos modelos foram utilizados os seguintes critérios e suas respectivas expressões (Tabela 3).

**Tabela 3.** Critérios utilizados e suas respectivas expressões para avaliar valores de altura de *Pinus taeda* L.

Critérios	Expressões
Coefficiente de determinação	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Raiz do erro quadrático médio	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$
Erro percentual absoluto médio	$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{ y_i - \hat{y}_i }{y_i} \cdot \frac{100}{n}$
Critério de informação de Akaike	$AIC = n \cdot \ln \left( \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) - n \cdot \ln(n) + 2p$
Critério de informação de Akaike corrigido	$AIC_c = AIC + \frac{2p(p+1)}{n-p-1}$
Critério de informação de Akaike weights	$w_i(AIC) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta_i(AIC)}}{\sum_{k=1}^k e^{-\frac{1}{2}\Delta_k(AIC)}}$

Em que:  $y_i$  = valores observados;  $\hat{y}_i$  = valores preditos;  $\bar{y}$  = média dos valores observados;  $n$  = número de observações da amostra;  $p$  = número de coeficientes do modelo;  $k$  = número de modelos a serem comparados.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a análise estatística e ajuste dos modelos foi utilizado o *Software R* (R CORE TEAM, 2019). Os ajustes dos modelos foram obtidos por meio da package nls (FLORENT, 2015). Os critérios estatísticos foram calculados por meio de funções criadas no *Software R* (R CORE TEAM, 2019).

Após todos os procedimentos os modelos foram avaliados segundo teste t que terá como objetivo aceitar ou rejeitar a hipótese de que os testes se diferem estatisticamente (BEIGUELMAN,

2002), a análise de variância (ANOVA), usada para verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente ((MONTGOMERY, 2009), e o teste de médias por Tukey, considerando um nível de significância de 1%, que será utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento (SAMPAIO, 2002).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES

Em dez árvores de *Pinus taeda* L. foi reconstruído o crescimento passado usando a técnica de Anatro Completa e caracterizadas quanto ao número de discos, diâmetro à altura do peito sem casca, altura e índice de sítio (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo estatístico das árvores usadas na reconstrução do crescimento através da Anatro completa de *Pinus taeda* L.

Árvore	Número de discos	d <sub>sc</sub> (cm)	h (m)	IS*
1	21	30,4	22,4	29
2	21	37,0	22,8	29
3	15	18,8	16,5	20
4	21	51,6	23,2	30
5	21	42,2	22,2	29
6	22	35,0	23,4	30
7	19	20,8	20,4	27
8	20	42,2	21,3	28
9	22	34,4	22,7	29
10	18	20,6	19,7	24
Média	20,0	33,3	21,5	27,5
CV%	10,8	32,4	9,9	11,5

Em que: d<sub>sc</sub> = diâmetro à altura do peito sem casca, em cm; h = altura total, em m; IS\* = valores obtidos pelas curvas de IS confeccionadas por Schneider e Schneider (2008); CV% = coeficiente de variação em porcentagem.

Em média, foram obtidos vinte discos com baixa variação entre as árvores (CV% = 10,8%). A variável diâmetro à altura do peito sem casca apresentou amplitude de 32,8 cm e maior variação (CV% = 32,4%) quando comparado às demais variáveis analisadas (Tabela 5). Esse valor pode ser explicado através das diferenças de sítio entre os locais em que as amostras foram coletadas, que possivelmente influenciou na diferença entre os diâmetros obtidos.

A altura dominante entre árvores variou entre 16,5 e 23,4 m, e apresentou menor valor de coeficiente de variação de 9,9% (Tabela 5). Por meio das curvas de índice de sítio geradas por Schneider e Schneider (2008) e comparadas as alturas das árvores avaliadas no presente estudo, foi possível alcançar índice de sítio entre vinte e trinta metros, com base na idade de referência aos dezoito anos. Essa variação representa a diferença de capacidade produtiva entre as amostras,

ocasionada, possivelmente, pela distância e diferenças entre sítio de onde as amostras foram coletadas.

#### **4.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS PARA AS ÁRVORES AMOSTRADAS**

A partir das dez árvores avaliadas fez-se a comparação através do teste t, entre os métodos avaliados para estimar a altura  $H_{ij}$  e as posições de obtenção de discos (Tabela 5). Dessa forma, foi considerado a variação de metro ( $\Delta$ ) como sendo o provável valor mais próximo do real, uma vez que, para se determinar a altura real da árvore é necessário realizar um corte longitudinal e determinar suas respectivas alturas em cada idade como foi realizado por Machado et al. (2010).

O teste t é um teste de hipóteses, assim, é importante salientar que a Tabela 5 não permite a determinação do melhor método ou distância de obtenção de discos, mas sim, possibilita a análise de semelhança estatística entre os valores gerados pela ANOVA. Portanto, valores não significativos entre si indicam que não há diferença estatística entre os mesmos, tornando possível optar pela metodologia mais prática ou de maior aproveitamento da madeira sem que ocorra variações nos valores finais de altura.

A causa da variação na quantidade de valores significativos se deve, principalmente à heterogeneidade entre as alturas dominantes das árvores e aos diferentes métodos aplicados. Características que fundamentam os discos com distância de 4 m terem apresentado a maior quantidade de valores significativos, ou seja, valores diferentes estatisticamente quando comparado as demais de  $\Delta$ , 2 e 3 m.

Observa-se que as comparações entre a distância de discos de (2m-3m) foram, independentemente do método, não significativas, ou seja, é possível utilizar qualquer uma dessas distância para *Pinus taeda* L. sem que se encontre valores de altura diferentes estatisticamente. Esse fato se deve à similaridade de posições entre esses dois critérios e evidencia a possibilidade de aplicação da distância de 3 m, visando o maior aproveitamento da madeira, sem que ocorra diferença significativa nos valores de altura.

De forma geral, verificou-se que o método de Targ apresentou o maior valor de comparações não significativas ( $Q -^{ns} = 40$ ), seguido pelo método de Lenhart ( $Q -^{ns} = 39$ ), esse último citado por Machado et al. (2010) como sendo um dos melhores para estimava da altura

através de análise de tronco completa. Dessa forma, esses métodos foram os que menos apontaram diferenças em relação a distância entre discos nas árvores observadas.

O método de Carmean, no entanto, apresentou maior valor de comparação significativa, representando elevada diferença entre as posições. Fato que contrapõe o estudo de Fabbio, Frattegiani e Manetti (1994), no qual, esse método foi o de maior precisão a frequência de 2 em metros quando comparado aos métodos de proporções e Lenhart. Dyer e Bailey (1987), também consideraram em seu trabalho que o método de Graves é o de maior precisão, seguido pelos métodos de Lenhart e Newberry.

**Tabela 5.** Comparação pareada dos métodos de avaliação entre diferentes discos de *Pinus taeda* L.

Método	Discos	Árvore										Q - <sup>s</sup>	Q - <sup>ns</sup>	Soma
		1[22,4] <sup>#</sup>	2[22,8]	3[16,5]	4[23,2]	5[22,2]	6[23,4]	7[20,4]	8[21,3]	9[22,7]	10[19,7]			
		Teste t - [p-valor]												
Graves	Δm-2m	0,0962	0,2290	0,0580	0,0074	0,3186	0,0470	0,0249	0,1641	0,0196	0,2136	4	6	36
	Δm-3m	0,0061	0,1398	0,1964	0,3639	0,5320	0,1631	0,0440	0,2522	0,0488	0,0379	4	6	
	Δm-4m	0,0148	0,0073	0,7398	0,0002	0,2063	0,0002	0,0405	0,0046	0,1584	0,4569	6	4	
	2m-3m	0,4765	0,2279	0,5793	0,1827	0,8347	0,3325	0,8129	0,4299	0,6976	0,3073	0	10	
	2m-4m	0,4553	0,0049	0,1351	0,0484	0,4145	0,0038	0,2856	0,0070	0,4553	0,0554	4	6	
	3m-4m	0,7340	0,0009	0,0007	0,0044	0,5349	0,0003	0,3314	0,0038	0,9333	0,0141	6	4	
Lenhart	Δm-2m	0,0791	0,1715	0,0543	0,0032	0,2543	0,0443	0,0065	0,1611	0,0138	0,2156	4	6	39
	Δm-3m	0,0095	0,1058	0,1885	0,3299	0,5386	0,1901	0,0422	0,3035	0,0440	0,0550	3	7	
	Δm-4m	0,0171	0,0038	0,7658	0,0002	0,1979	0,0002	0,0943	0,0062	0,1491	0,5895	5	5	
	2m-3m	0,5055	0,2668	0,5872	0,1828	0,8461	0,4118	0,8051	0,5128	0,6950	0,4005	0	10	
	2m-4m	0,5028	0,0036	0,1621	0,0397	0,4885	0,0063	0,2944	0,0247	0,5068	0,1005	4	6	
	3m-4m	0,8345	0,0039	0,0495	0,0164	0,5340	0,0076	0,5241	0,0261	0,9364	0,0540	5	5	
Carmean	Δm-2m	0,0659	0,1237	0,0400	0,0021	0,1577	0,0265	0,0017	0,1237	0,0090	0,0742	5	5	34
	Δm-3m	0,0010	0,0832	0,1343	0,2818	0,4516	0,0722	0,0206	0,1577	0,0115	0,0095	4	6	
	Δm-4m	0,0019	0,0026	0,7085	>0,0000	0,1355	>0,0000	0,0043	0,0025	0,1178	0,3265	6	4	
	2m-3m	0,4219	0,1582	0,5247	0,1296	0,8115	0,1665	0,7716	0,2596	0,6335	0,2152	0	10	
	2m-4m	0,3688	0,0018	0,1054	0,0207	0,3385	0,0002	0,2010	0,0009	0,3688	0,0182	5	5	
	3m-4m	0,6896	0,0004	0,0003	0,0029	0,4655	>0,0000	0,2951	0,0007	0,9191	0,0078	6	4	
Proporções	Δm-2m	0,0418	0,1030	0,0780	0,0057	0,2534	0,0117	0,0157	0,0349	0,0072	0,0474	7	3	30
	Δm-3m	0,0082	0,0803	0,2435	0,3789	0,0751	0,0115	0,0151	0,0254	0,0034	0,0071	6	4	
	Δm-4m	0,0212	0,0133	0,4013	0,0001	0,0071	0,0002	0,2808	0,0065	0,0022	0,2752	7	3	
	2m-3m	0,3744	0,4068	0,7961	0,1884	0,4646	0,6478	0,9629	0,7474	0,6462	0,2711	0	10	
	2m-4m	0,5637	0,0441	0,1478	0,0269	0,0158	0,0209	0,0954	0,1429	0,1405	0,1023	4	6	
	3m-4m	0,4505	0,0264	0,0161	0,0057	0,2689	0,0128	0,0472	0,1601	0,6263	0,0262	6	4	
Carmen modificado	Δm-2m	0,0659	0,1237	0,0400	0,0021	0,1577	0,0399	0,0017	0,1958	0,0128	0,1521	5	5	34
	Δm-3m	0,0031	0,1347	0,2153	0,5743	0,6703	0,0722	0,0206	0,3031	0,0115	0,0332	4	6	
	Δm-4m	0,0019	0,0026	0,4542	>0,0000	0,1355	0,0001	0,0222	0,0151	0,1446	0,1534	6	4	
	2m-3m	0,5977	0,3506	0,3253	0,0953	0,5732	0,2462	0,7716	0,2596	0,7404	0,3030	0	10	
	2m-4m	0,3688	0,0018	0,0513	0,0207	0,3385	0,0002	0,0832	0,0035	0,3688	0,0182	5	5	
	3m-4m	0,9136	0,0002	0,0003	0,0027	0,3043	0,0001	0,1208	0,0027	0,8258	0,0138	6	4	
Targ	Δm-2m	0,0756	0,6051	0,2089	0,0031	0,1108	0,0536	0,0096	0,3260	0,0040	0,6566	3	7	40
	Δm-3m	0,1936	0,9051	0,5885	0,9712	0,1247	0,0341	0,3816	0,4412	0,0054	0,6830	2	8	
	Δm-4m	0,3995	0,0808	0,0391	0,0004	0,0071	0,0017	0,1218	0,4266	0,0052	0,0021	6	4	
	2m-3m	0,9004	0,5079	0,2372	0,0962	0,9592	0,8280	0,1704	0,7260	0,9952	0,9816	0	10	
	2m-4m	0,2535	0,0612	0,0325	0,1002	0,0356	0,0338	0,0003	0,9313	0,9917	0,0015	5	5	
	3m-4m	0,6213	0,0029	0,0087	0,0311	0,1788	0,0931	0,0629	0,8053	1,0000	0,0140	4	6	

Em que: Q - <sup>s</sup> = quantidade de comparações das 10 árvores entre os discos com valor significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ); Q - <sup>ns</sup> = quantidade de comparações das 10 árvores entre os discos com valor não significativo a 1% ( $p \leq 0,01$ ); # = altura dominante da árvore.

### **4.3 COMPARAÇÃO ENTRE ÁRVORES, POR IDADE, SEGUNDO AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS**

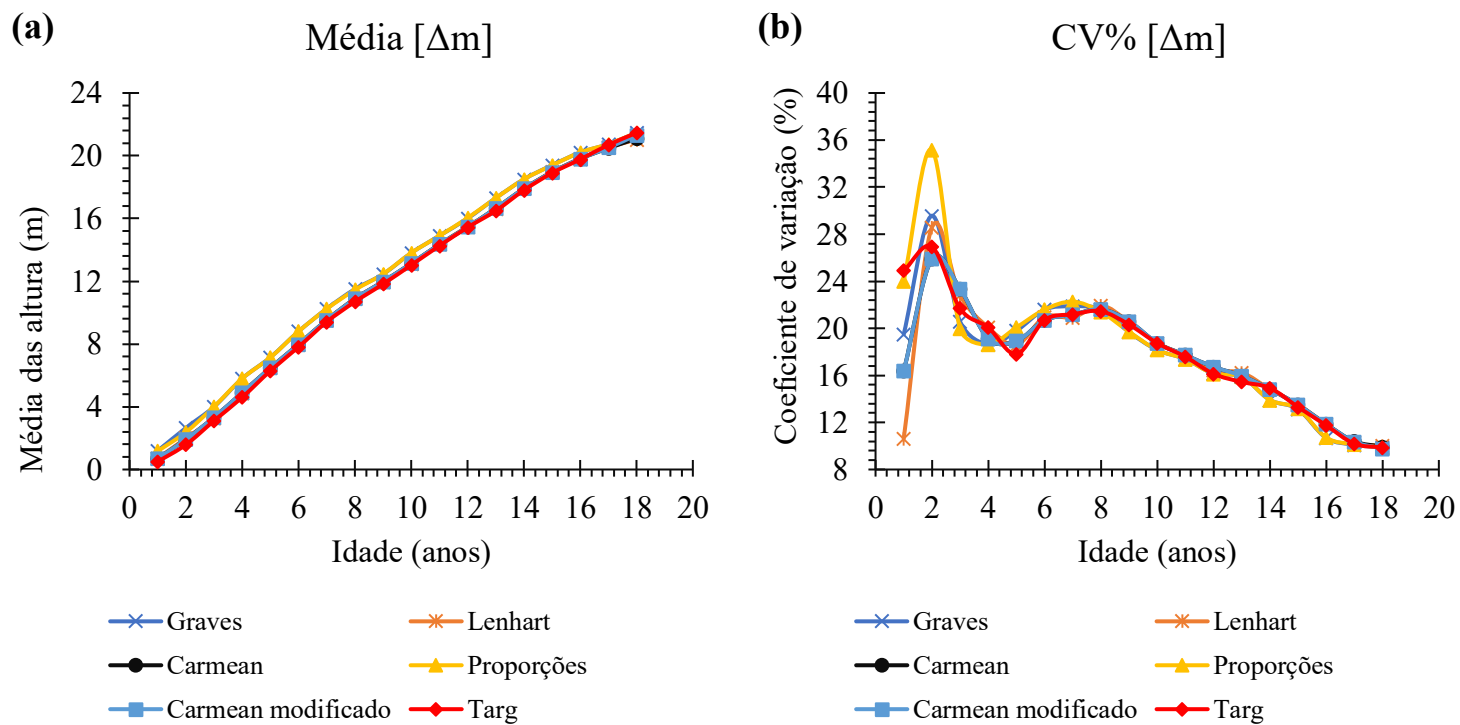
A fim de comparar as estimativas de altura da árvore por idade, para as diferentes alturas de coleta de discos e métodos de reconstrução, foi determinado o teste de médias e o coeficiente de variação, observados nas Tabelas A1, A2, A3 e A4 (APÊNDICE A). A partir dessas tabelas verificou-se que para todos os métodos e posições de discos, apenas as idades um e dois anos apresentaram médias com diferenças significativas pelo Teste de Tukey a 1% de probabilidade. Esse efeito pode estar atribuído às diferenças de altura das árvores nos primeiros anos de vida o que é confirmado pelos valores elevados de coeficientes de variação entre 10,63 e 38,06.

Cancino, Acunã e Espinosa (2013), também observaram que nos dois primeiros anos as árvores apresentaram maior variação nos valores de altura. Segundo esses autores, a estabilidade e a precisão dos métodos de reconstrução do crescimento através da Análise de Tronco Completa são maiores em idades além do IMA (incremento médio anual) da árvore.

Na análise conjunta dos resultados, também foi possível verificar um padrão de redução do coeficiente de variação conforme o aumento da quantidade de anos quando comparado as médias por método, o que se deve a estabilidade no crescimento alcançado a partir de determinada idade das árvores. Essa observação se assemelha a determinada por Kariuki (2002) que também não observou diferenças significativas entre essas variáveis.

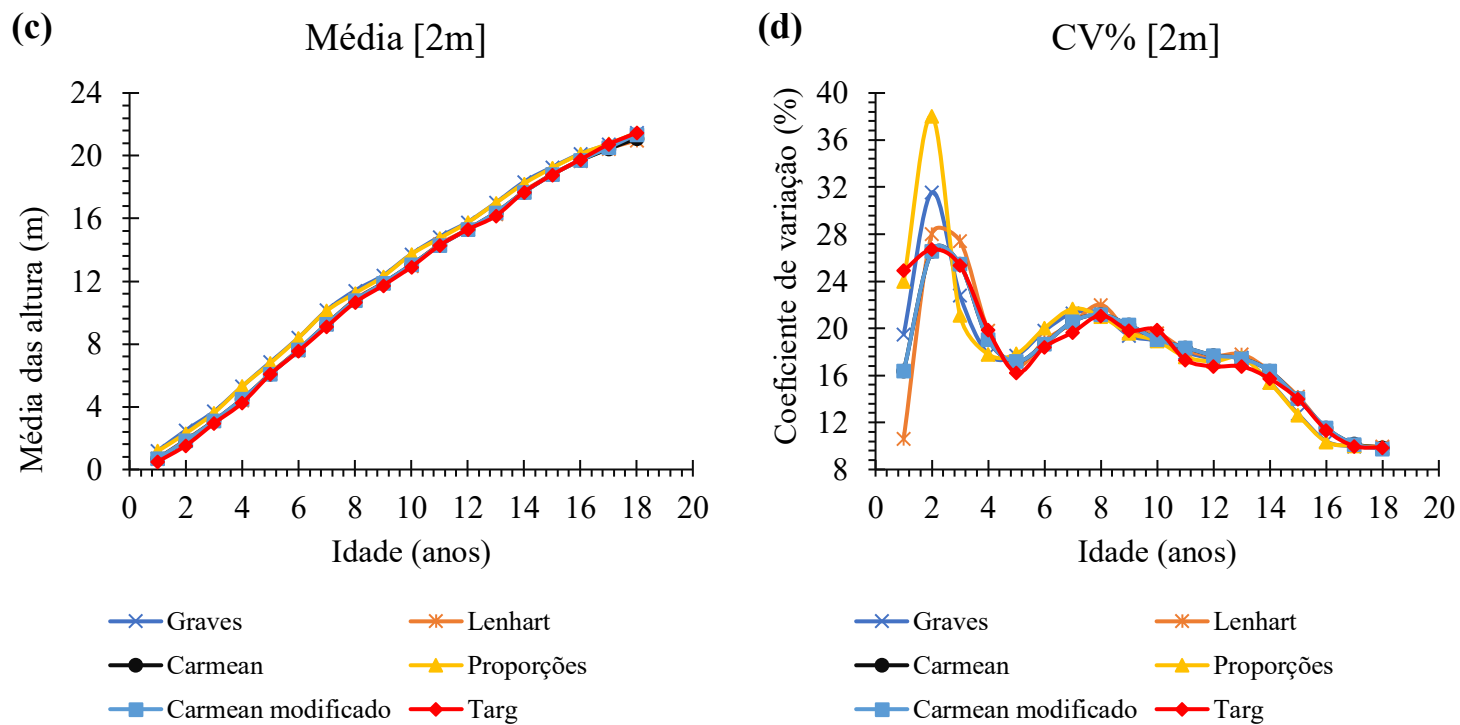
Para avaliar os resultados obtidos de forma clara e eficiente, realizou-se as Figuras 2, 3, 4 e 5. Nelas foi possível observar os gráficos do teste de médias e dos coeficientes de variação para cada método nas posições de obtenção de discos avaliados. Assim, verifica-se que nas posições variável e 2 m, os métodos de Proporções e Graves foram os que apresentaram maior variação, sendo esse primeiro citado por Fabbio, Frattegiani e Manetti (1994) como sendo o método de maior precisão. Enquanto que, nas posições 3 e 4 m, foram os métodos de Lenhart e Targ. Essa diferença se deve, possivelmente, a disparidade de discos coletados nas diferentes posições e à forma de cálculo das alturas nos métodos, considerando a utilização ou não dos raios dos anéis internos.

Os métodos de Carmean e Carmean modificado apresentaram sobreposições na maior parte dos dados obtidos, demonstrando diferenças apenas nas últimas idades analisadas. Esse fator ocorreu devido à similaridade entre as expressões desses dois métodos, que se alteram somente para o último disco coletado.

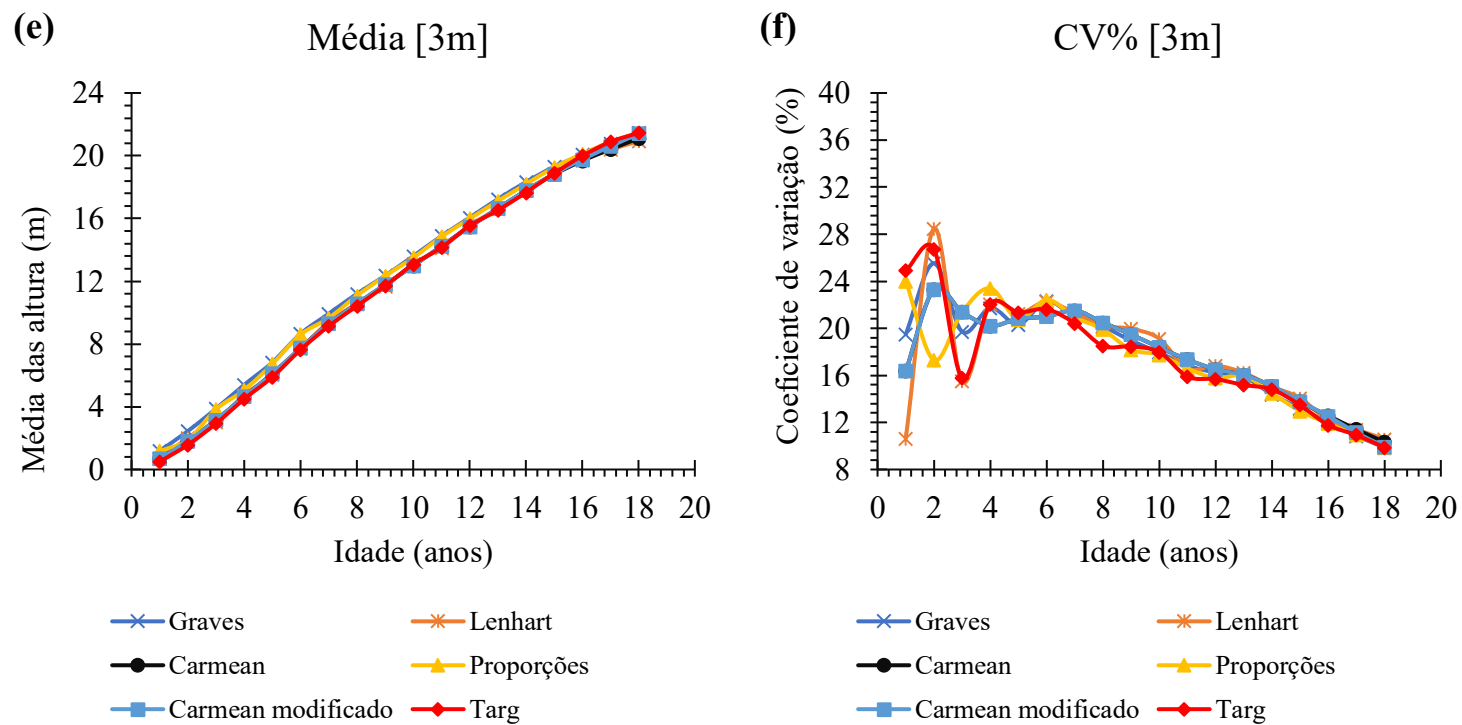


**Figura 2.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura variável ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.

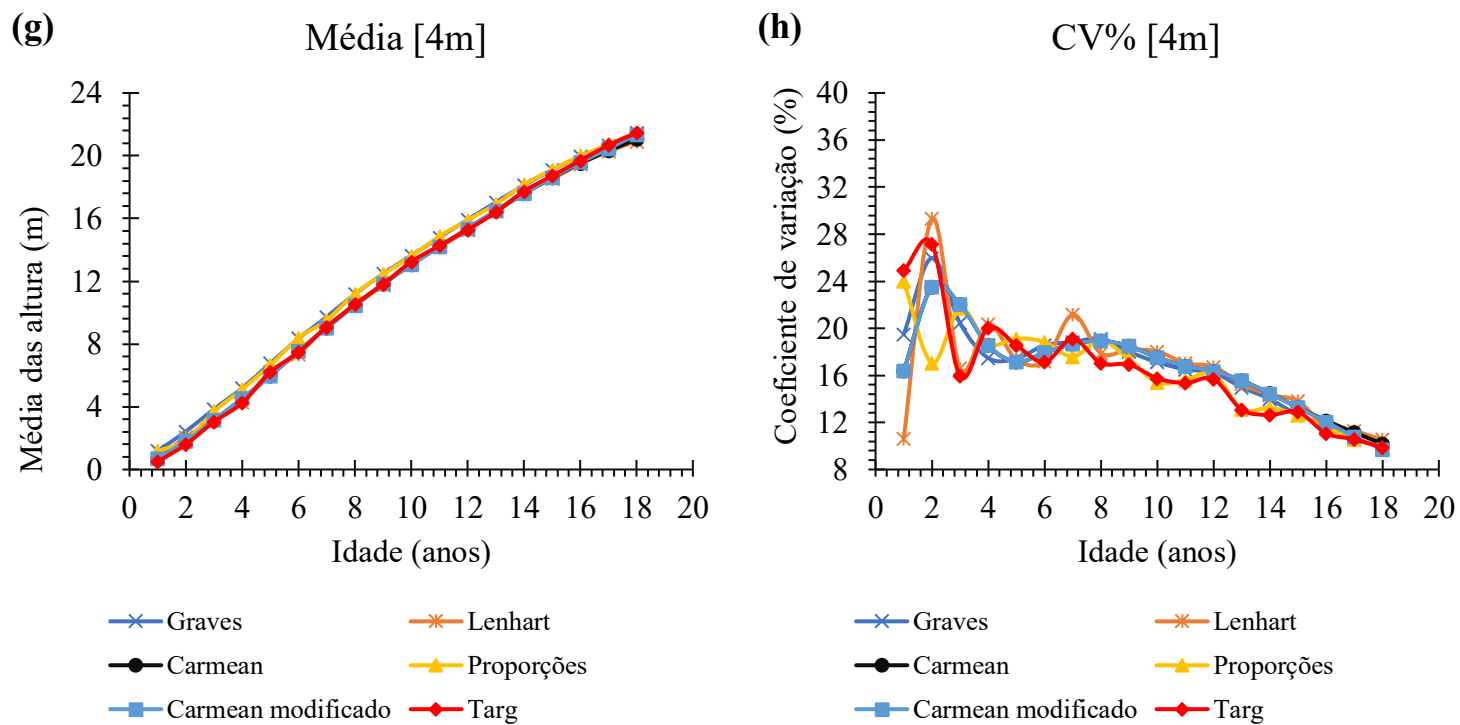




**Figura 3.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 2 em 2 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.



**Figura 4.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 3 em 3 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.



**Figura 5.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 4 em 4 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m.

#### 4.4 COMPARAÇÃO DAS CURVAS CRESCIMENTO EM ALTURA, SEGUNDO AS POSIÇÕES DE OBTENÇÃO DE DISCOS E MÉTODOS ANALISADOS

Para analisar as métricas de qualidade de ajuste, determinou-se a precisão da estimativa dos coeficientes de regressão, comparando-os as posições de obtenção dos discos com os métodos analisados (Tabela 6). Os 24 modelos ajustados na análise apresentaram coeficientes significativos a 5% de probabilidade. De forma geral, os coeficientes de  $R^2$  variaram de 0,91 a 0,93, com valores encontrados na posição 4 m sendo os que melhor se explicam pelo modelo de regressão. O RMSE variou entre 1,73 e 2,03, sendo a posição de 4 m, novamente a com melhores resultados em todos os métodos, o mesmo ocorreu para erro percentual absoluto médio (MAPE).

O critério de informação de Akaike corrigido (AICc) foi a métrica de maior amplitude, com valor de 56,2. Assim, considerando que quanto menor o valor do AIC, mais explicativo é o modelo (MOSER; OLIVEIRA, 2017), pode-se considerar que o método de Targ foi o que melhor representou o modelo, principalmente quando considerada a posição 4 m. Essa situação se repetiu para AIC *weights* por métodos e de forma geral, demonstrando a probabilidade desse modelo ter melhor ajuste e maior capacidade preditiva que outros (Tabela 6).

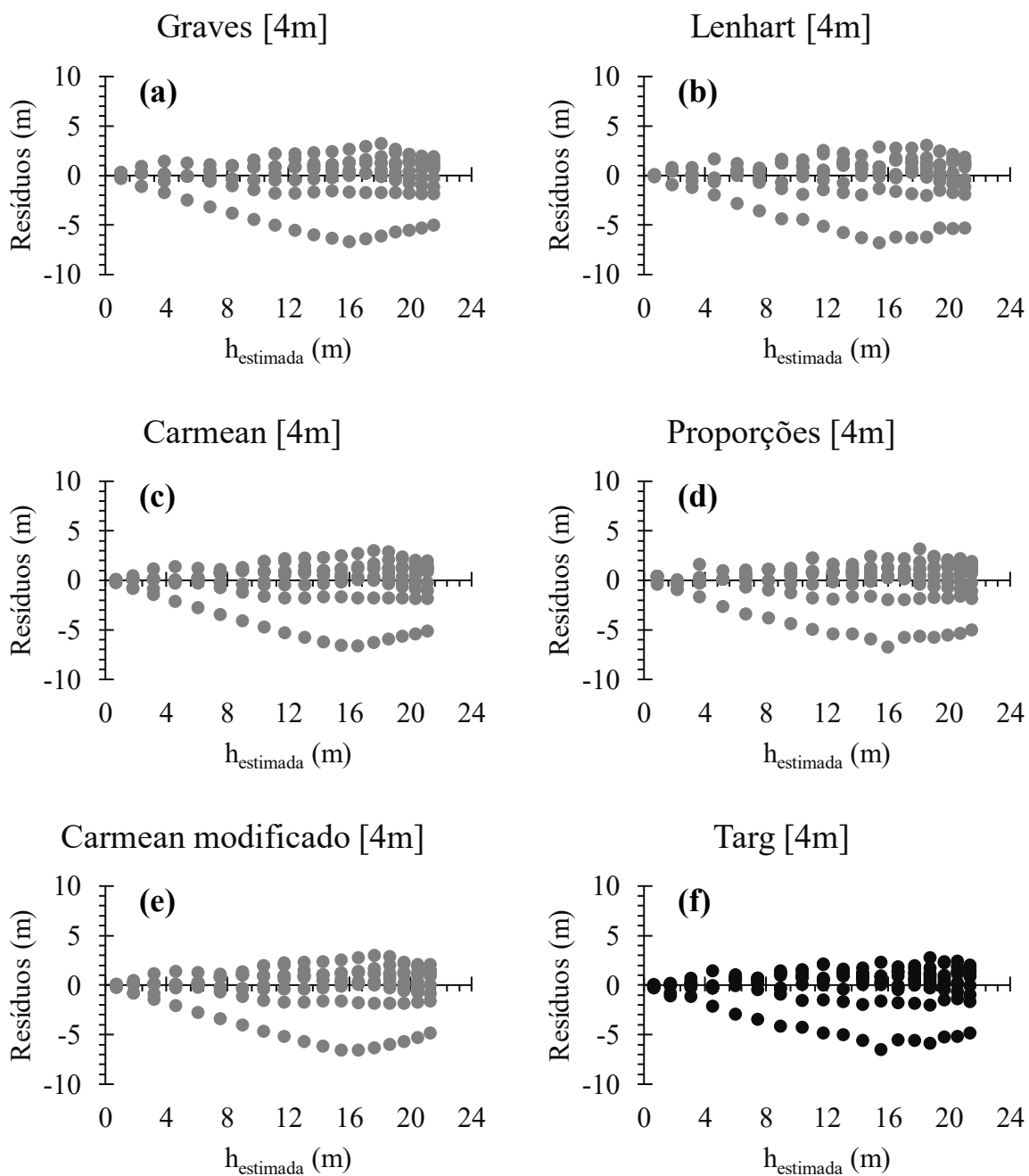
Ao verificar os 24 modelos ajustados segundo os métodos avaliados e posições de obtenção de discos, observou-se que o modelo de Chapman-Richards apresentou os melhores valores de acordo com os critérios de  $w_i$  (AIC)<sub>Geral</sub> para a posição de 4 m. Assim, foi realizado a análise residual de todos os métodos para essa posição (Figura 6). A partir dos gráficos gerados foi possível confirmar que o método de Targ apresentou os melhores resultados para a análise residual das equações ajustadas (Figura 6).

O método de Targ, seguido pelo o de Proporções obtiveram os melhores resultados, isso pode ser explicado pela utilização dos anéis internos dos discos no cálculo da altura, fator que se difere para os demais métodos. Esse resultado também foi obtido no estudo do Cancino, Acunã e Espinosa (2013).

**Tabela 6.** Coeficientes estimados e critérios estatísticos usados na seleção das equações de Chapman-Richards para descrever o crescimento em altura de *Pinus taeda* L.

Método	Discos	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R <sup>2</sup>	RMSE	MAPE	AICc	w <sub>i</sub> (AIC) Método	w <sub>i</sub> (AIC) Geral
Graves	Δm	33,3511	0,0674	1,2253	0,9098	2,01	15,9	255,1	0,00001334	0,00000000
	2m	32,6575	0,0721	1,2974	0,9100	2,03	16,1	257,6	0,00000378	0,00000000
	3m	33,0596	0,0705	1,2851	0,9124	2,00	16,0	252,4	0,00004992	0,00000000
	4m	32,7850	0,0715	1,3022	0,9204	1,89	14,3	232,6	0,99993296	0,00000016
Lenhart	Δm	31,2396	0,0802	1,4336	0,9155	1,97	16,0	247,9	0,00006943	0,00000000
	2m	30,5706	0,0851	1,5165	0,9143	2,00	15,9	252,2	0,00000793	0,00000000
	3m	30,8101	0,0837	1,4995	0,9158	1,98	15,7	248,2	0,00005858	0,00000000
	4m	30,5631	0,0843	1,5120	0,9230	1,87	14,6	228,7	0,99986406	0,00000116
Carmean	Δm	31,3590	0,0797	1,4293	0,9159	1,97	16,0	247,2	0,00001756	0,00000000
	2m	30,8457	0,0840	1,5103	0,9156	1,98	15,7	249,9	0,00000471	0,00000000
	3m	31,2332	0,0822	1,4939	0,9176	1,96	15,6	245,3	0,00004540	0,00000000
	4m	30,7883	0,0840	1,5197	0,9251	1,85	13,9	225,3	0,99993233	0,00000633
Proporções	Δm	32,5694	0,0711	1,2556	0,9102	2,02	16,9	255,6	0,00000002	0,00000000
	2m	32,6765	0,0725	1,3136	0,9115	2,01	16,8	255,2	0,00000003	0,00000000
	3m	32,2286	0,0762	1,3627	0,9163	1,97	16,4	248,1	0,00000093	0,00000000
	4m	31,2118	0,0806	1,3961	0,9270	1,83	15,5	220,3	0,99999902	0,00007790
Carmean modificado	Δm	32,2510	0,0762	1,4079	0,9165	1,97	16,1	247,0	0,00000890	0,00000000
	2m	31,9962	0,0792	1,4797	0,9162	1,98	15,6	249,9	0,00000202	0,00000000
	3m	32,9788	0,0756	1,4534	0,9190	1,96	15,4	244,5	0,00003105	0,00000000
	4m	32,2776	0,0781	1,4820	0,9265	1,85	13,7	223,7	0,99995803	0,00001423
Targ	Δm	32,0791	0,0798	1,4872	0,9215	1,93	17,9	240,6	0,00000000	0,00000000
	2m	32,1507	0,0811	1,5389	0,9222	1,94	16,9	240,9	0,00000000	0,00000000
	3m	32,5838	0,0803	1,5381	0,9273	1,88	16,2	229,9	0,00000064	0,00000064
	4m	31,5454	0,0835	1,5481	0,9363	1,73	14,7	201,4	0,99999936	0,99989958

Em que: *a*, *b*, *c* = coeficientes de regressão; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; RMSE = raiz do erro quadrado médio; MAPE = erro percentual absoluto médio; AICc = critério de informação de Akaike corrigido; w<sub>i</sub> (AIC)<sub>Método</sub> = critério de informação de Akaike *weights* por método; w<sub>i</sub> (AIC)<sub>Geral</sub> = critério de informação de Akaike *weights* geral; Δm = altura ao longo do fuste (h<sub>i</sub>) variável a partir da posição de 1,3 m.



**Figura 6.** Gráfico de resíduos do crescimento em alturas segundo os métodos avaliados em *Pinus taeda* L.

## 5 CONCLUSÃO

A caracterização e reconstrução do perfil do tronco das árvores é possível a partir de todos os métodos analisados. O método Targ, seguido pelo método de Proporções, são os melhores para estimar a altura do anel de crescimento usando a técnica de Anatro Completa para *Pinus taeda* L. Ambos são métodos baseados no raio entre anéis, o que possibilita a conclusão de que essa variável tem ampla relevância na reconstrução do crescimento tronco. Apesar disso, o método Lenhart merece destaque devido ao baixo valor de diferenças significativas em relação a distância entre discos nas árvores observadas, caracterizando maior precisão ao método.

Apesar da posição de obtenção de discos aos 3 m ter apresentado resultados para os critérios avaliados, melhores do que a de 2 m, a comparação pareada entre essas duas posições não demonstra diferença significativa em nenhuma das árvores. Portanto, é possível afirmar que a utilização de qualquer um desses procedimentos irá permitir o alcance de resultados semelhantes estatisticamente para a espécie *Pinus taeda* L.

A partir dos dados obtidos através dos coeficientes estatísticos verifica-se que a posição de amostragem de discos de 4 m apresenta melhor ajuste do modelo e menor erro nas análises. Esse fator se deve, possivelmente, a menor quantidade de discos utilizados na reconstrução do tronco, reduzindo o erro acumulativo das respectivas medições.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos resultados percebe-se a necessidade da realização de pesquisas com esse mesmo enfoque para diferentes espécies florestais que apresentem anéis de crescimento aparente, afim de confirmar os resultados obtidos.

O corte longitudinal é recomendável para a obtenção dos valores reais das alturas em cada ano da árvore. Dessa forma, a análise dos métodos poderá ser feita de forma mais precisa, sendo comparada ao verdadeiro valor das alturas.

Por fim, recomenda-se o estudo aprofundado da diferença entre os métodos que tenham como base o raio total dos discos, e os que se baseiam no raio entre anéis para a determinação da altura, visto que, esse último procedimento alcançou resultados superiores e com menor erro.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/mz/2013/00000022/00000006/art00008>>. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**. 5. ed. Fundação de Pesquisas Científicas de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto: FUNPEC, 2002. 274 p.
- BRISTER, G. H.; SCHULTZ, R. C. The response of a southern palachian forest to waste water irrigation. **Journal of Environmental Quality**, v. 10, n. 2, p. 148-153, abri. 1981. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/10/2/JEQ0100020148>>. doi: 10.2134/jeq1981.00472425001000020005x
- CANCINO, J.; ACUNÃ, E.; ESPINOSA, M. Combining ring counting and ring width for estimating height in stem analysis. **Forest Science**, v. 59, n. 6, p. 599-609, dec. 2013. Disponível em: <<https://academic.oup.com/forestscience/article/59/6/599/4583696>>. doi: doi.org/10.5849/forsci.12-028
- CARMEAN, W. H. Site index curves for upland oaks in the Central States. **Forest Science**, v. 18, n. 2, p. 109-120, jun. 1972. Disponível em: <<https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/18/2/109/4675356?redirectedFrom=fulltext>>. doi: /10.1093/forestscience/18.2.109
- DYER, M. E.; BAILEY, R. L. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. **Forest Science**, v. 33, n. 1, p. 3-13, 1987. Disponível em: <[https://academic.oup.com/forestscience/search-results?page=1&q=A%20test%20of%20six%20methods%20for%20estimating%20true%20heights%20from%20stem%20analysis%20data.&fl\\_SiteID=6144&SearchSourceType=1&allJournals=1](https://academic.oup.com/forestscience/search-results?page=1&q=A%20test%20of%20six%20methods%20for%20estimating%20true%20heights%20from%20stem%20analysis%20data.&fl_SiteID=6144&SearchSourceType=1&allJournals=1)>. doi: 10.1093/forestscience/33.1.3
- FABBIO, G.; FRATTEGIANI M.; MANETTI M. C. Height estimation in stem analysis using second differences. **Forest Science**, v. 40, n. 2, p. 329-340, mai. 1994. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/40/2/329/4564855?redirectedFrom=PDF>> doi: 10.1093/forestscience/40.2.329
- FLORENT B. et al. A Toolbox for nonlinear regression in R: The Package nlstools. **Journal of Statistical Software**. ago. 2015. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/v66/i05/>>. doi: 10.18637/jss.v066.i05
- GODINHO, T. O. et al. **Programa de expansão do plantio de pinus para produção de goma-resina e madeira no Espírito Santo**. 2. ed. Alegre: Caufes, 2019. p. 20-41.
- GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. dos. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 2, p. 229-244, 2008.



GRAVES, A. **The Royal Academy of Arts: a complete dictionary of contributors and their work from its foundation in 1769 to 1904.** H. Graves and Company, Limited, 1906. 522 p.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017.** Disponível em: <<https://www.iba.org/dados-estatisticos>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura, 2018.** Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2018\\_v33\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2018_v33_informativo.pdf)>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

KARIUKI, M. Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. **Journal of Forestry**, Oxford, v. 75, n. 1, p. 63-74, jan. 2002. Disponível em: <<https://academic.oup.com/forestry/article/75/1/63/602764>>. doi:10.1093/forestry/75.1.63

LENHART, D. J. An Alternative procedure for improving height/age data from stem analysis. **Forest Science**, Bethesda, v. 18, n. 4, p. 332, dec. 1972. Disponível em: <<https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/18/4/332/4675479>>. doi: 10.1093/forestscience/18.4.332

LIMA, A.F.; JARÁ, E. R. P.; ALFONSO, V. A. Madeira como matéria-prima para fabricação de pasta celulósica. *In*: PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica.** São Paulo: IPT, v. 2, p. 129-167. 1988.

LORENZI, H et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas.** Plantarum. Ed. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2003. 368 p.

MACHADO. S. A. et al. Comparison of methods for estimating heights from complete stem analysis data for *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 45-55, jan./mar., 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982010000100045&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982010000100045&script=sci_arttext)> doi: 10.5902/198050981760

MEDIA CYBERNETICS. **Image-Pro Plus** – application notes. Silver Spring: Media Cybernetics. Disponível em: <<http://www.mediacy.com/action.htm>>. Acesso em: 27 novembro 2019.

MONTGOMERY D.C. **Experiments with a single factor:** The analysis of variance; Analysis of the fixed effects model, 2009. 77 p.

MOSER, P.; OLIVEIRA, L. Z. **Regressão Linear aplicada à dendrometria: uma introdução e iniciação ao R.** Blumenau: Edifurb, 2017. 152 p.

NEWBERRY, J. D. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 1, p. 368-369, mar. 1991. Disponível em: <<https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/37/1/368/4642756?redirectedFrom=fulltext>>. doi: 10.1093/forestscience/37.1.368

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 27 novembro 2019.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: FACOS – UFSM, 2008. 566 p.

SOARES FILHO, M. de P. **ANATRO UFPR**-software para análise de tronco, em meio digital, utilizando sistema polar, 2015. 122 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2015.

THOMAS, R. J. Wood structure and chemical composition. In: Goldstein, I. S. **Wood technology: chemical aspects**. Washington, D. C.: American Chemical Society, 1977. p. 1-23.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. Princeton University, Princeton, N.J. 1953. 223 p.

WOLFF II, N. I. et al. Modelagem do crescimento e produção empregando anatro em *Pinus taeda* L. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 1, p. 52-57, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/62597>>. doi: 10.5380/biofix.v4i1.62597

## **APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE ÁRVORES, POR IDADE, EM DIFERENTES POSIÇÕES**

Comparou-se o efeito da idade das árvores nas posições de obtenção dos discos através dos métodos avaliados (Graves, Lenhart, Carmean, Proporções, Carmean modificado e Targ) (Tabelas A1, A2, A3 e A4). Nelas foi determinado o coeficiente de variação e o teste de médias em diferentes alturas ao longo do fuste para as idades analisadas.

**Tabela A1.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura ao longo do fuste variável a partir da posição de 1,3 m

Discos	Idade	Graves		Lenhart		Carmean		Proporções		Carmean modificado		Targ	
		Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
Δm	1	1,19 <sup>a</sup>	19,49	0,71 <sup>b</sup>	10,63	0,70 <sup>b</sup>	16,36	1,17 <sup>a</sup>	24,01	0,70 <sup>b</sup>	16,36	0,50 <sup>b</sup>	24,90
	2	2,65 <sup>a</sup>	29,57	1,99 <sup>ab</sup>	28,58	1,92 <sup>ab</sup>	25,89	2,38 <sup>ab</sup>	35,17	1,92 <sup>ab</sup>	25,89	1,58 <sup>b</sup>	26,93
	3	4,00 <sup>a</sup>	20,58	3,25 <sup>a</sup>	22,80	3,33 <sup>a</sup>	23,36	4,01 <sup>a</sup>	19,97	3,33 <sup>a</sup>	23,36	3,11 <sup>a</sup>	21,69
	4	5,80 <sup>a</sup>	18,62	4,88 <sup>a</sup>	20,07	4,90 <sup>a</sup>	19,12	5,80 <sup>a</sup>	18,62	4,90 <sup>a</sup>	19,12	4,60 <sup>a</sup>	20,07
	5	7,15 <sup>a</sup>	19,79	6,48 <sup>a</sup>	18,57	6,48 <sup>a</sup>	18,92	7,14 <sup>a</sup>	20,07	6,48 <sup>a</sup>	18,92	6,29 <sup>a</sup>	17,79
	6	8,80 <sup>a</sup>	21,59	7,97 <sup>a</sup>	20,98	7,98 <sup>a</sup>	20,69	8,80 <sup>a</sup>	21,59	7,98 <sup>a</sup>	20,69	7,81 <sup>a</sup>	20,70
	7	10,25 <sup>a</sup>	21,87	9,53 <sup>a</sup>	20,91	9,53 <sup>a</sup>	21,16	10,24 <sup>a</sup>	22,27	9,53 <sup>a</sup>	21,16	9,41 <sup>a</sup>	21,19
	8	11,50 <sup>a</sup>	21,61	10,88 <sup>a</sup>	21,95	10,88 <sup>a</sup>	21,62	11,45 <sup>a</sup>	21,40	10,88 <sup>a</sup>	21,62	10,69 <sup>a</sup>	21,45
	9	12,45 <sup>a</sup>	19,68	11,97 <sup>a</sup>	20,55	11,98 <sup>a</sup>	20,60	12,46 <sup>a</sup>	19,71	11,98 <sup>a</sup>	20,60	11,82 <sup>a</sup>	20,32
	10	13,80 <sup>a</sup>	18,16	13,12 <sup>a</sup>	18,74	13,13 <sup>a</sup>	18,75	13,80 <sup>a</sup>	18,16	13,13 <sup>a</sup>	18,75	13,03 <sup>a</sup>	18,74
	11	14,90 <sup>a</sup>	17,39	14,35 <sup>a</sup>	17,72	14,35 <sup>a</sup>	17,72	14,90 <sup>a</sup>	17,39	14,35 <sup>a</sup>	17,72	14,26 <sup>a</sup>	17,58
	12	16,00 <sup>a</sup>	16,15	15,48 <sup>a</sup>	16,43	15,45 <sup>a</sup>	16,72	16,03 <sup>a</sup>	16,14	15,45 <sup>a</sup>	16,72	15,43 <sup>a</sup>	16,13
	13	17,30 <sup>a</sup>	15,89	16,62 <sup>a</sup>	16,24	16,65 <sup>a</sup>	15,96	17,30 <sup>a</sup>	15,89	16,65 <sup>a</sup>	15,96	16,49 <sup>a</sup>	15,44
	14	18,50 <sup>a</sup>	13,91	17,90 <sup>a</sup>	14,83	17,90 <sup>a</sup>	14,83	18,50 <sup>a</sup>	13,91	17,90 <sup>a</sup>	14,83	17,80 <sup>a</sup>	14,93
	15	19,40 <sup>a</sup>	13,13	18,97 <sup>a</sup>	13,51	18,95 <sup>a</sup>	13,50	19,39 <sup>a</sup>	13,16	18,95 <sup>a</sup>	13,50	18,90 <sup>a</sup>	13,31
	16	20,21 <sup>a</sup>	10,68	19,81 <sup>a</sup>	11,87	19,81 <sup>a</sup>	11,85	20,21 <sup>a</sup>	10,71	19,81 <sup>a</sup>	11,85	19,77 <sup>a</sup>	11,75
	17	20,74 <sup>a</sup>	10,10	20,53 <sup>a</sup>	10,29	20,48 <sup>a</sup>	10,39	20,75 <sup>a</sup>	10,13	20,51 <sup>a</sup>	10,36	20,69 <sup>a</sup>	10,19
	18	21,46 <sup>a</sup>	9,87	21,03 <sup>a</sup>	10,02	21,10 <sup>a</sup>	9,93	21,46 <sup>a</sup>	9,87	21,32 <sup>a</sup>	9,77	21,46 <sup>a</sup>	9,87

Em que: CV% = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela A2.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 2 em 2 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m

Discos	Idade	Graves		Lenhart		Carmean		Proporções		Carmean modificado		Targ	
		Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
2m	1	1,19 <sup>a</sup>	19,49	0,71 <sup>b</sup>	10,63	0,70 <sup>b</sup>	16,36	1,17 <sup>a</sup>	24,01	0,70 <sup>b</sup>	16,36	0,50 <sup>b</sup>	24,90
	2	2,50 <sup>a</sup>	31,55	1,89 <sup>a</sup>	28,05	1,85 <sup>a</sup>	26,57	2,31 <sup>a</sup>	38,06	1,85 <sup>a</sup>	26,57	1,53 <sup>a</sup>	26,70
	3	3,70 <sup>a</sup>	22,79	3,10 <sup>a</sup>	27,44	3,10 <sup>a</sup>	25,45	3,61 <sup>a</sup>	21,10	3,10 <sup>a</sup>	25,45	2,94 <sup>a</sup>	25,34
	4	5,30 <sup>a</sup>	17,79	4,43 <sup>a</sup>	19,82	4,50 <sup>a</sup>	19,03	5,30 <sup>a</sup>	17,79	4,50 <sup>a</sup>	19,03	4,24 <sup>a</sup>	19,88
	5	6,85 <sup>a</sup>	17,70	6,14 <sup>a</sup>	16,74	6,08 <sup>a</sup>	17,18	6,78 <sup>a</sup>	17,83	6,08 <sup>a</sup>	17,18	6,07 <sup>a</sup>	16,23
	6	8,40 <sup>a</sup>	19,80	7,61 <sup>a</sup>	18,94	7,63 <sup>a</sup>	18,68	8,39 <sup>a</sup>	20,01	7,63 <sup>a</sup>	18,68	7,54 <sup>a</sup>	18,41
	7	10,15 <sup>a</sup>	21,29	9,25 <sup>a</sup>	20,45	9,28 <sup>a</sup>	20,58	10,11 <sup>a</sup>	21,66	9,28 <sup>a</sup>	20,58	9,10 <sup>a</sup>	19,66
	8	11,40 <sup>a</sup>	21,27	10,83 <sup>a</sup>	22,01	10,78 <sup>a</sup>	21,16	11,23 <sup>a</sup>	21,02	10,78 <sup>a</sup>	21,16	10,64 <sup>a</sup>	21,09
	9	12,37 <sup>a</sup>	19,39	11,88 <sup>a</sup>	19,73	11,88 <sup>a</sup>	20,28	12,30 <sup>a</sup>	19,59	11,88 <sup>a</sup>	20,28	11,73 <sup>a</sup>	19,82
	10	13,73 <sup>a</sup>	18,94	13,00 <sup>a</sup>	19,59	13,05 <sup>a</sup>	19,05	13,71 <sup>a</sup>	18,93	13,05 <sup>a</sup>	19,05	12,91 <sup>a</sup>	19,85
	11	14,83 <sup>a</sup>	17,98	14,35 <sup>a</sup>	18,19	14,28 <sup>a</sup>	18,37	14,73 <sup>a</sup>	17,57	14,28 <sup>a</sup>	18,37	14,27 <sup>a</sup>	17,33
	12	15,77 <sup>a</sup>	17,45	15,30 <sup>a</sup>	17,64	15,30 <sup>a</sup>	17,70	15,74 <sup>a</sup>	17,19	15,30 <sup>a</sup>	17,70	15,29 <sup>a</sup>	16,76
	13	17,00 <sup>a</sup>	17,55	16,30 <sup>a</sup>	17,80	16,38 <sup>a</sup>	17,43	16,98 <sup>a</sup>	17,52	16,38 <sup>a</sup>	17,43	16,16 <sup>a</sup>	16,76
	14	18,33 <sup>a</sup>	15,42	17,73 <sup>a</sup>	16,36	17,67 <sup>a</sup>	16,36	18,22 <sup>a</sup>	15,38	17,67 <sup>a</sup>	16,36	17,68 <sup>a</sup>	15,71
	15	19,27 <sup>a</sup>	12,73	18,81 <sup>a</sup>	14,21	18,80 <sup>a</sup>	14,03	19,22 <sup>a</sup>	12,65	18,80 <sup>a</sup>	14,04	18,78 <sup>a</sup>	13,99
	16	20,12 <sup>a</sup>	10,41	19,69 <sup>a</sup>	11,45	19,70 <sup>a</sup>	11,53	20,10 <sup>a</sup>	10,36	19,71 <sup>a</sup>	11,55	19,75 <sup>a</sup>	11,35
	17	20,73 <sup>a</sup>	9,96	20,45 <sup>a</sup>	10,08	20,43 <sup>a</sup>	10,18	20,76 <sup>a</sup>	10,01	20,51 <sup>a</sup>	10,15	20,72 <sup>a</sup>	9,99
	18	21,46 <sup>a</sup>	9,87	20,98 <sup>a</sup>	9,96	21,10 <sup>a</sup>	9,86	21,46 <sup>a</sup>	9,87	21,36 <sup>a</sup>	9,73	21,46 <sup>a</sup>	9,87

Em que: CV% = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela A3.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 3 em 3 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m

Discos	Idade	Graves		Lenhart		Carmean		Proporções		Carmean modificado		Targ	
		Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
3m	1	1,19 <sup>a</sup>	19,49	0,71 <sup>b</sup>	10,63	0,70 <sup>b</sup>	16,36	1,17 <sup>a</sup>	24,01	0,70 <sup>b</sup>	16,36	0,50 <sup>b</sup>	24,90
	2	2,45 <sup>a</sup>	25,54	2,00 <sup>ab</sup>	28,48	1,82 <sup>ab</sup>	23,29	1,89 <sup>ab</sup>	17,30	1,82 <sup>ab</sup>	23,29	1,57 <sup>b</sup>	26,74
	3	3,88 <sup>a</sup>	19,72	3,04 <sup>ab</sup>	15,49	3,16 <sup>ab</sup>	21,40	3,84 <sup>a</sup>	21,37	3,16 <sup>ab</sup>	21,40	2,93 <sup>b</sup>	15,78
	4	5,40 <sup>a</sup>	21,74	4,74 <sup>a</sup>	22,04	4,64 <sup>a</sup>	20,22	5,06 <sup>a</sup>	23,41	4,64 <sup>a</sup>	20,22	4,49 <sup>a</sup>	22,05
	5	6,83 <sup>a</sup>	20,32	6,03 <sup>a</sup>	21,24	6,11 <sup>a</sup>	20,82	6,73 <sup>a</sup>	20,72	6,11 <sup>a</sup>	20,82	5,90 <sup>a</sup>	21,35
	6	8,65 <sup>a</sup>	22,31	7,72 <sup>a</sup>	22,26	7,74 <sup>a</sup>	20,99	8,60 <sup>a</sup>	22,44	7,74 <sup>a</sup>	20,99	7,63 <sup>a</sup>	21,63
	7	9,93 <sup>a</sup>	20,95	9,39 <sup>a</sup>	21,30	9,29 <sup>a</sup>	21,52	9,65 <sup>a</sup>	20,95	9,29 <sup>a</sup>	21,52	9,14 <sup>a</sup>	20,42
	8	11,20 <sup>a</sup>	20,16	10,57 <sup>a</sup>	20,21	10,56 <sup>a</sup>	20,49	11,08 <sup>a</sup>	19,90	10,56 <sup>a</sup>	20,49	10,42 <sup>a</sup>	18,51
	9	12,35 <sup>a</sup>	18,96	11,69 <sup>a</sup>	19,97	11,78 <sup>a</sup>	19,48	12,33 <sup>a</sup>	18,18	11,78 <sup>a</sup>	19,48	11,70 <sup>a</sup>	18,46
	10	13,60 <sup>a</sup>	17,94	13,09 <sup>a</sup>	19,12	12,98 <sup>a</sup>	18,38	13,50 <sup>a</sup>	17,76	12,98 <sup>a</sup>	18,38	13,08 <sup>a</sup>	17,99
	11	14,88 <sup>a</sup>	16,84	14,13 <sup>a</sup>	16,55	14,24 <sup>a</sup>	17,34	14,84 <sup>a</sup>	16,59	14,24 <sup>a</sup>	17,34	14,15 <sup>a</sup>	15,90
	12	16,05 <sup>a</sup>	16,24	15,54 <sup>a</sup>	16,83	15,46 <sup>a</sup>	16,51	15,98 <sup>a</sup>	15,78	15,46 <sup>a</sup>	16,51	15,53 <sup>a</sup>	15,68
	13	17,23 <sup>a</sup>	15,87	16,61 <sup>a</sup>	16,21	16,64 <sup>a</sup>	16,03	17,11 <sup>a</sup>	15,96	16,64 <sup>a</sup>	16,03	16,52 <sup>a</sup>	15,19
	14	18,32 <sup>a</sup>	14,40	17,78 <sup>a</sup>	15,05	17,77 <sup>a</sup>	15,09	18,19 <sup>a</sup>	14,49	17,78 <sup>a</sup>	15,10	17,65 <sup>a</sup>	14,81
	15	19,30 <sup>a</sup>	13,18	18,84 <sup>a</sup>	14,07	18,81 <sup>a</sup>	13,75	19,26 <sup>a</sup>	12,97	18,83 <sup>a</sup>	13,78	18,88 <sup>a</sup>	13,48
	16	20,06 <sup>a</sup>	12,00	19,71 <sup>a</sup>	12,16	19,68 <sup>a</sup>	12,57	20,12 <sup>a</sup>	11,92	19, <sup>76a</sup>	12,53	19,99 <sup>a</sup>	11,78
	17	20,76 <sup>a</sup>	10,86	20,39 <sup>a</sup>	11,40	20,41 <sup>a</sup>	11,41	20,88 <sup>a</sup>	10,92	20,59 <sup>a</sup>	11,14	20,88 <sup>a</sup>	10,92
	18	21,46 <sup>a</sup>	9,87	20,92 <sup>a</sup>	10,58	21,11 <sup>a</sup>	10,33	21,46 <sup>a</sup>	9,87	21,42 <sup>a</sup>	9,93	21,46 <sup>a</sup>	9,87

Em que: CV% = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

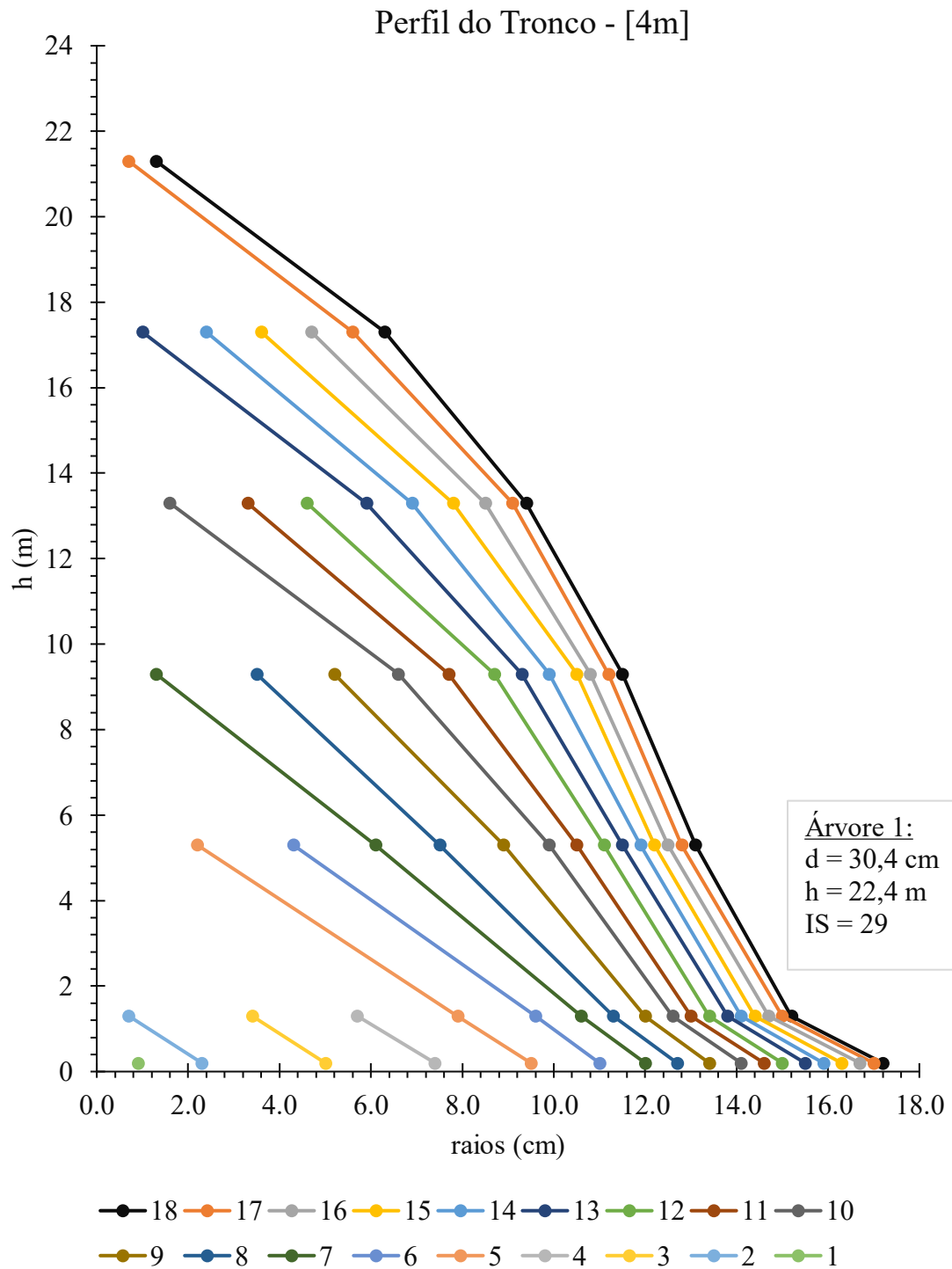
**Tabela A4.** Comparação entre árvores de *Pinus taeda* L., por idade, em altura de 4 em 4 m ao longo do fuste a partir da posição de 1,3 m

Discos	Idade	Graves		Lenhart		Carmean		Proporções		Carmean modificado		Targ	
		Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%	Média	CV%
4m	1	1,19 <sup>a</sup>	19,49	0,71 <sup>b</sup>	10,63	0,70 <sup>b</sup>	16,36	1,17 <sup>a</sup>	24,01	0,70 <sup>b</sup>	16,36	0,50 <sup>b</sup>	24,90
	2	2,43 <sup>a</sup>	25,98	2,06 <sup>ab</sup>	29,33	1,82 <sup>ab</sup>	23,49	1,85 <sup>ab</sup>	17,06	1,82 <sup>ab</sup>	23,49	1,60 <sup>b</sup>	27,17
	3	3,85 <sup>a</sup>	20,44	3,17 <sup>a</sup>	16,61	3,14 <sup>a</sup>	22,02	3,70 <sup>a</sup>	21,69	3,14 <sup>a</sup>	22,02	3,04 <sup>a</sup>	15,93
	4	5,19 <sup>a</sup>	17,48	4,30 <sup>a</sup>	20,36	4,52 <sup>a</sup>	18,54	5,11 <sup>a</sup>	18,68	4,52 <sup>a</sup>	18,54	4,24 <sup>a</sup>	20,05
	5	6,77 <sup>a</sup>	17,42	6,25 <sup>a</sup>	17,34	5,98 <sup>a</sup>	17,14	6,66 <sup>a</sup>	19,13	5,98 <sup>a</sup>	17,14	6,21 <sup>a</sup>	18,55
	6	8,35 <sup>a</sup>	18,56	7,36 <sup>a</sup>	17,21	7,56 <sup>a</sup>	17,94	8,38 <sup>a</sup>	18,84	7,56 <sup>a</sup>	17,94	7,48 <sup>a</sup>	17,13
	7	9,73 <sup>a</sup>	18,83	9,14 <sup>a</sup>	21,16	9,04 <sup>a</sup>	18,67	9,52 <sup>a</sup>	17,59	9,04 <sup>a</sup>	18,67	9,08 <sup>a</sup>	19,10
	8	11,18 <sup>a</sup>	19,12	10,45 <sup>a</sup>	17,88	10,46 <sup>a</sup>	18,93	11,20 <sup>a</sup>	18,98	10,46 <sup>a</sup>	18,93	10,53 <sup>a</sup>	17,05
	9	12,47 <sup>a</sup>	18,01	11,77 <sup>a</sup>	18,18	11,83 <sup>a</sup>	18,48	12,43 <sup>a</sup>	17,37	11,83 <sup>a</sup>	18,48	11,81 <sup>a</sup>	16,93
	10	13,63 <sup>a</sup>	17,12	13,19 <sup>a</sup>	18,03	13,05 <sup>a</sup>	17,53	13,60 <sup>a</sup>	15,40	13,05 <sup>a</sup>	17,53	13,24 <sup>a</sup>	15,75
	11	14,79 <sup>a</sup>	16,50	14,19 <sup>a</sup>	17,05	14,21 <sup>a</sup>	16,78	14,86 <sup>a</sup>	15,61	14,21 <sup>a</sup>	16,78	14,27 <sup>a</sup>	15,35
	12	15,92 <sup>a</sup>	16,24	15,26 <sup>a</sup>	16,73	15,36 <sup>a</sup>	16,35	15,89 <sup>a</sup>	16,13	15,36 <sup>a</sup>	16,35	15,28 <sup>a</sup>	15,69
	13	17,03 <sup>a</sup>	14,99	16,49 <sup>a</sup>	15,29	16,48 <sup>a</sup>	15,57	16,91 <sup>a</sup>	13,12	16,48 <sup>a</sup>	15,57	16,39 <sup>a</sup>	13,09
	14	18,11 <sup>a</sup>	13,99	17,66 <sup>a</sup>	14,34	17,57 <sup>a</sup>	14,46	18,15 <sup>a</sup>	13,24	17,58 <sup>a</sup>	14,45	17,73 <sup>a</sup>	12,64
	15	19,09 <sup>a</sup>	12,62	18,52 <sup>a</sup>	13,81	18,60 <sup>a</sup>	13,28	19,11 <sup>a</sup>	12,62	18,62 <sup>a</sup>	13,26	18,72 <sup>a</sup>	12,89
	16	19,95 <sup>a</sup>	11,72	19,48 <sup>a</sup>	11,59	19,52 <sup>a</sup>	12,15	19,98 <sup>a</sup>	11,57	19,57 <sup>a</sup>	12,05	19,69 <sup>a</sup>	11,07
	17	20,66 <sup>a</sup>	10,61	20,28 <sup>a</sup>	11,25	20,31 <sup>a</sup>	11,15	20,72 <sup>a</sup>	10,59	20,45 <sup>a</sup>	10,77	20,67 <sup>a</sup>	10,57
	18	21,46 <sup>a</sup>	9,87	20,91 <sup>a</sup>	10,54	21,06 <sup>a</sup>	10,18	21,46 <sup>a</sup>	9,87	21,36 <sup>a</sup>	9,72	21,46 <sup>a</sup>	9,87

Em que: CV% = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

## APÊNDICE B – RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DO TRONCO

A seguir será apresentado uma exemplificação da reconstrução do perfil do tronco da árvore 1, caracterizada por diâmetro de 30,4 cm, altura 22,4 m e índice de sítio 29 (Figura B1). O exemplo irá demonstrar como calcular os métodos segundo a posição de 4 m.



**Figura B1.** Perfil do tronco usado para a reconstrução das alturas de *Pinus taeda* L.



## Método de Graves

$$H_{ij} = h_i + j \cdot \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1})}$$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $j$  = cada anel de crescimento contando a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $r_i$  = número de anéis de crescimento no  $i$ -ésimo disco.

1º ano:

$$H_{ij} = 0,2 + 1 \cdot \frac{(1,3 - 0,2)}{(18 - 17)} = 1,30 \text{ m}$$

2º ano:

$$H_{ij} = 1,3 + 1 \cdot \frac{(5,3 - 1,3)}{(17 - 14)} = 2,63 \text{ m}$$

3º ano:

$$H_{ij} = 1,3 + 2 \cdot \frac{(5,3 - 1,3)}{(17 - 14)} = 3,97 \text{ m}$$

### Método de Lenhart

$$H_{ij} = h_i + j \cdot \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[(r_i - r_{i+1}) + 1]}$$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $j$  = cada anel de crescimento contando a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $r_i$  = número de anéis de crescimento no  $i$ -ésimo disco.

4º ano:

$$H_{ij} = 1,3 + 3 \cdot \frac{(5,3 - 1,3)}{[(17 - 14) + 1]} = 4,30 \text{ m}$$

5º ano:

$$H_{ij} = 5,3 + 1 \cdot \frac{(9,3 - 5,3)}{[(14 - 12) + 1]} = 6,63 \text{ m}$$

6º ano:

$$H_{ij} = 5,3 + 2 \cdot \frac{(9,3 - 5,3)}{[(14 - 12) + 1]} = 7,97 \text{ m}$$

### Método de Carmean

$$H_{ij} = h_i + \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[2(r_i - r_{i+1})]} + (j - 1) \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1})}$$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $j$  = cada anel de crescimento contando a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $r_i$  = número de anéis de crescimento no  $i$ -ésimo disco.

7º ano:

$$H_{ij} = 9,3 + \frac{(13,3 - 9,3)}{[2(12 - 9)]} + (1 - 1) \frac{(13,3 - 9,3)}{(12 - 9)} = 9,97 \text{ m}$$

8º ano:

$$H_{ij} = 9,3 + \frac{(13,3 - 9,3)}{[2(12 - 9)]} + (2 - 1) \frac{(13,3 - 9,3)}{(12 - 9)} = 11,30 \text{ m}$$

9º ano:

$$H_{ij} = 9,3 + \frac{(13,3 - 9,3)}{[2(12 - 9)]} + (3 - 1) \frac{(13,3 - 9,3)}{(12 - 9)} = 12,63 \text{ m}$$

### Método das Proporções

$$H_{ij} = h_i + (h_{i+1} - h_i) \cdot \left(\frac{w_i}{w_k}\right)$$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $w_j$  = raio do  $j$ -ésimo anel de crescimento (cm);  $w_k$  = raio do anel interno  $k$  (cm).

10º ano:

$$H_{ij} = 13,3 + (17,3 - 13,3) \cdot \left(\frac{1,6}{6,6}\right) = 14,69 \text{ m}$$

11º ano:

$$H_{ij} = 13,3 + (17,3 - 13,3) \cdot \left(\frac{3,3}{6,6}\right) = 16,17 \text{ m}$$

12º ano:

$$H_{ij} = 13,3 + (17,3 - 13,3) \cdot \left(\frac{4,6}{6,6}\right) = 17,30 \text{ m}$$

### Método de Carmean modificado

$$H_{ij} = h_i + \frac{(h_{i+1} - h_i)}{[2(r_i - r_{i+1}) - 0,5]} + (j - 1) \frac{(h_{i+1} - h_i)}{(r_i - r_{i+1} + 0,5)}$$

Em que:  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ;  $h_i$  = altura de corte do  $i$ -ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do  $i$ -ésimo disco;  $j$  = cada anel de crescimento contando a partir da medula, para cada  $i$ -ésimo disco retirado da árvore;  $r_i$  = número de anéis de crescimento no  $i$ -ésimo disco,

13° ano:

$$H_{ij} = 17,30 + \frac{(21,30 - 17,30)}{[2(6 - 2) - 0,50]} + (1 - 1) \frac{(21,30 - 17,30)}{(6 - 2 + 0,50)} = 17,80 \text{ m}$$

14° ano:

$$H_{ij} = 17,30 + \frac{(21,30 - 17,30)}{[2(6 - 2) - 0,50]} + (2 - 1) \frac{(21,30 - 17,30)}{(6 - 2 + 0,50)} = 18,80 \text{ m}$$

15° ano:

$$H_{ij} = 17,30 + \frac{(21,30 - 17,30)}{[2(6 - 2) - 0,50]} + (3 - 1) \frac{(21,30 - 17,30)}{(6 - 2 + 0,50)} = 19,80 \text{ m}$$

### Método de Targ

Considerando:

$$x = (h_{i+1} - h_i) \cdot \left( \frac{w_{k+1} - w_k}{w_{k+1}} \right),$$

e

$$\Delta L = \frac{w_j [(h_{i+1} - h_i) - x]}{w_k},$$

tem-se:

$$H_{ij} = h_i + \Delta L$$

Em que: x = distância em relação à base da seção superior;  $h_i$  = altura de corte do i-ésimo disco, ou seja, é a soma de todos os comprimentos abaixo do i-ésimo disco;  $w_j$  = raio do j-ésimo anel de crescimento (cm);  $w_k$  = raio do anel interno k (cm);  $H_{ij}$  = altura total estimada na idade  $t_{ij}$ ; L = seção ou comprimento do fuste entre a retirada de um disco e outro.

16º ano:

$$x = (21,3 - 17,3) \cdot \left( \frac{4,7 - 5,6}{5,6} \right) = 0,64$$

$$\Delta L = \frac{4,7[(21,3 - 17,3) - 0,64]}{1,3} = 3,36$$

$$H_{ij} = 17,3 + 3,36 = 20,66 \text{ m}$$

17º ano:

$$x = [\text{Ausência de anel interno}]$$

$$\Delta L = \frac{0,7[(22,4 - 21,3) - 0]}{1,3} = 0,59$$

$$H_{ij} = 21,3 + 0,59 = 21,89 \text{ m}$$

18º ano:

$$x = [\text{Ausência de anel interno}]$$

$$\Delta L = \frac{1,3[(22,4 - 21,3) - 0]}{1,3} = 1,10$$

$$H_{ij} = 21,3 + 1,10 = 22,40 \text{ m}$$

A exemplificação foi realizada para árvore 1 de 3 em 3 anos para os 6 métodos. Sendo assim, seus valores obtidos por método para a posição entre discos de 4m estão apresentados na Tabela B1.

**Tabela B1.** Resultados da reconstrução do perfil do tronco de *Pinus taeda* L.

Idade (anos)	Métodos para a determinação da altura (m) [4m]					
	Graves	Lenhart	Carmean	Proporções	Carmean modificado	Targ
1	<b>1,30</b>	0,75	0,75	1,30	0,75	0,63
2	<b>2,63</b>	2,30	1,97	1,79	1,97	1,65
3	<b>3,97</b>	3,30	3,30	3,69	3,30	3,02
4	5,30	<b>4,30</b>	4,63	5,30	4,63	4,19
5	7,30	<b>6,63</b>	6,30	7,35	6,30	6,74
6	9,30	<b>7,97</b>	8,30	9,30	8,30	8,12
7	10,63	10,30	<b>9,97</b>	10,30	9,97	10,09
8	11,97	11,30	<b>11,30</b>	11,99	11,30	11,42
9	13,30	12,30	<b>12,63</b>	13,30	12,63	12,45
10	14,63	14,30	13,97	<b>14,69</b>	13,97	14,38
11	15,97	15,30	15,30	<b>16,17</b>	15,30	15,54
12	17,30	16,30	16,63	<b>17,30</b>	16,63	16,42
13	18,30	18,10	17,80	18,15	<b>17,80</b>	18,01
14	19,30	18,90	18,80	19,34	<b>18,80</b>	19,01
15	20,30	19,70	19,80	20,36	<b>19,80</b>	19,87
16	21,30	20,50	20,80	21,30	20,80	<b>20,66</b>
17	21,85	21,67	21,58	21,89	21,61	<b>21,89</b>
18	22,40	22,03	22,13	22,40	22,35	<b>22,40</b>

#A árvore 1 foi considerada no presente exemplo e os discos foram obtidas em seções de 4m a partir do diâmetro à altura do peito.