



Aplicativos de *smartphone* para estimativa de altura de árvores *Eucalyptus* sp.

Smartphone applications for estimating the height of *Eucalyptus* sp. trees.

Geovanna Sales Pereira Rabelo¹; Juliana Fonseca Cardoso²; Maria Eduarda Fernandes da Silva³; Debyson Gabriel de Jesus Paim⁴; Daniel Morais de Faria⁵; Marcio Leles Romarco de Oliveira⁶

¹Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
geovanna.rabelo@ufvjm.edu.br

²Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
juliana.caradoso@ufvjm.edu.br

³Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
maria.silva@ufvjm.edu.br

⁴Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
debyson.gabriel@ufvjm.edu.br

⁵Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
daniel.morais@ufvjm.edu.br

⁶Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina/MG
marcioromarco@ufvjm.edu.br

Resumo: A mensuração da altura das árvores é essencial em inventários florestais, porém métodos convencionais podem ser lentos e onerosos, o que impulsiona a adoção de alternativas práticas e acessíveis. O objetivo do estudo foi avaliar a precisão entre as estimativas de altura obtidas por dois aplicativos móveis gratuitos *Trees* e *Two Point Height* em relação às alturas obtidas com hipsômetro convencional, Haglof. Utilizamos dados de alturas totais (H) de 81 indivíduos de *Eucalyptus* sp., distribuídos em classes de diâmetro com amplitude de 2,0 cm, obtidas a partir de hipsômetro convencional, Haglof, e aplicativos de *smartphone* *Trees* e *Two Point Height*. Ajustamos o modelo linear de Chapman e Norman para a comparação entre métodos. Avaliamos o modelo por meio de estatísticas de precisão e análise gráfica dos resíduos. Levando em consideração os critérios adotados, ambos os aplicativos apresentaram estatísticas de ajuste e precisão aceitáveis, com potencial utilização para estimar a altura total de eucalipto. Portanto, os dois aplicativos geram estimativas de altura semelhantes ao Haglof.

Palavras-chaves: Inventário florestal; Mensuração; Dendrometria.

Abstract: The measurement of tree height is essential in forest inventories; however, conventional methods can be slow and costly, which drives the adoption of practical and accessible alternatives. The objective of this study was to evaluate the accuracy of height estimates obtained by two free mobile applications, *Trees* and *Two Point Height*, in comparison with heights obtained using the conventional Haglöl hypsometer. We used total height (H) data from 81 *Eucalyptus* sp. individuals, distributed into diameter classes with a 2.0 cm range, obtained from the Haglöl hypsometer and the *Trees* and *Two Point Height* smartphone applications. The linear Chapman and Norman model was fitted to compare methods. The model was evaluated using accuracy statistics and graphical analysis of residuals. Considering the adopted criteria, both applications showed acceptable fit and accuracy statistics, with potential for use in estimating total *Eucalyptus* height. Therefore, both applications produce height estimates similar to those of the Haglöl hypsometer.

Keywords: Forest inventory; Measurement; Dendrometry.



INTRODUÇÃO

A altura total das árvores (H) é uma variável amplamente utilizada em inventários florestais, por exercer forte influência sobre diversas características do povoamento, como volume, biomassa e crescimento das árvores (Frutuoso et al., 2020). O diâmetro das árvores é uma variável dendrométrica mais fácil de ser mensurada em campo, enquanto a medição da altura das árvores ainda representa um desafio prático (Gollob et al., 2018).

Tradicionalmente, a medição da altura de árvores é realizada por meio de aparelhos conhecidos como hipsômetros, que possibilitam resultados confiáveis quando bem operados. Seu uso é justificado pela dificuldade de se obter a altura das árvores de forma direta em um povoamento, devido ao tempo, custo e esforço envolvidos, tornando necessária a adoção de métodos de medição indireta. No entanto, o manuseio desse instrumento pode demandar tempo, treinamento técnico e cuidado na operação para que os resultados tenham alta precisão. Além disso, a necessidade de manutenção pode ser limitante em determinadas condições operacionais (Lauro et al., 2018). Com o avanço tecnológico, aplicativos móveis que utilizam sensores presentes em smartphones e de relações angulares para estimar altura, surgiram como uma eficiente alternativa, oferecendo praticidade e baixo custo. Estudos recentes demonstram a capacidade desses aplicativos em fornecer estimativas precisas, facilitando o trabalho de campo e reduzindo custos operacionais (Curto et al., 2022). O uso dessas ferramentas digitais, ganha espaço por sua acessibilidade e pela possibilidade de uso gratuito, em plataformas *Android*, principalmente para técnicos, estudantes, e pequenos produtores, já que a maioria das pessoas tem um smartphone.

Diante o exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a precisão entre as estimativas de altura total de eucalipto, estimadas por dois aplicativos móveis gratuitos, o *Trees* e o *Two Point Height* em relação às alturas obtidas com hipsômetro convencional, Haglof.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

Os dados deste estudo são provenientes de uma área de 2,5 ha de *Eucalyptus* sp. utilizados como quebra-vento no campus JK, da Universidade Federal Dos Vales Do Jequitinhonha e Mucuri (18°12'20"S; 43°34'51"W), Diamantina-MG. Atualmente, essa área



abriga 900 árvores, dispostas em duas fileiras que se estendem desde a portaria do campus até o final das edificações (Figura 1).



Figura 1: Indivíduos de *Eucalyptus* sp. no Campus JK, utilizados como quebra vento.

Coleta e análise de dados

Para as 900 árvores foi estimado o diâmetro a 1,30 m do solo (D), por meio da razão da circunferência (C) com o valor de π . As árvores foram agrupadas em classes de diâmetro com 2 cm de amplitude. Para cada classe foram mensuradas a altura total (H) de 3 árvores, totalizando 81 árvores. Utilizamos três procedimentos para a estimativa da altura total: utilizando o hipsômetro Haglof, e os aplicativos *Trees* e *Two Point Height*. Sendo a distância horizontal do operador para a árvore de 20 metros. O aplicativo *Trees*, versão 6.0, desenvolvido pela *Forest Monitoring Tools* (2024), estima a altura das árvores em três etapas: sendo a inserção da distância horizontal entre o operador e a árvore; o posicionamento da mira no alvo localizado na base e, posteriormente, no topo da árvore, para determinação dos ângulos; e por fim o cálculo da altura da árvore (Figura 2A). O aplicativo *Two Point Height*, versão 0.28, desenvolvido pela Omega Centauri Software (2023), utiliza o mesmo princípio de mensuração do *Trees*. A operação é realizada pelo alinhamento da mira do dispositivo móvel com a base e, posteriormente, com o topo da árvore, para determinação dos ângulos; e a inserção da distância horizontal entre o operador e a árvore em uma segunda tela, resultando no cálculo da altura total (Figura 2B).

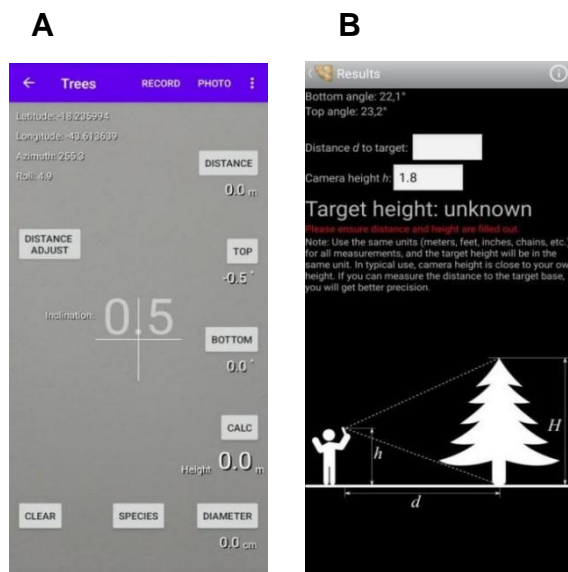


Figura 2: Interface dos respectivos aplicativos utilizados para o estudo, *Trees* (A) e *Two Point Height* (B).

Para estimar a altura das árvores, utilizamos um smartphone *Samsung Galaxy A20s* com sistema Android. Como não medimos a altura de todas as 900 árvores do quebra-vento, mas apenas de uma amostra selecionada, pelo critério do centro de classe decamétrica, ajustamos um modelo exponencial inverso linearizado. Esse modelo nos permite estimar a altura de todas as árvores e, assim, avaliar a influência de cada método utilizado para todas as árvores. Realizamos os ajustes pelo método dos mínimos quadrados ordinários, no software R, versão 4.5.0 (R Core Team, 2025). O modelo hipsométrico utilizado foi o proposto por Chapman e Norman (1960):

$$\ln(H) = \beta_0 + \frac{\beta_1 * 1}{D} + \varepsilon$$

Em que: D = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); H = altura total da árvore (m); \ln = logaritmo neperiano; β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo; ε = erro aleatório.

A precisão do modelo foi avaliada com base nos critérios estatísticos: raiz do erro quadrado médio em porcentagem (RMSE%), erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), coeficientes de determinação (R^2), raiz do erro quadrado médio em porcentagem em metros (RQEM) e na análise gráfica dos resíduos. O teste de Chow (1960) foi usado para verificar se as alturas estimadas pelo procedimento baseado nos aplicativos, *Trees* e



Two Point Height, são estatisticamente semelhantes as estimativas de altura pelo hipsômetro convencional, Haglof.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas das alturas totais (H) baseadas nos aplicativos *Trees* e *Two Point Height* acompanham de forma consistente o gradiente das estimativas das alturas pelo procedimento com hipsômetro convencional (Figura 3).

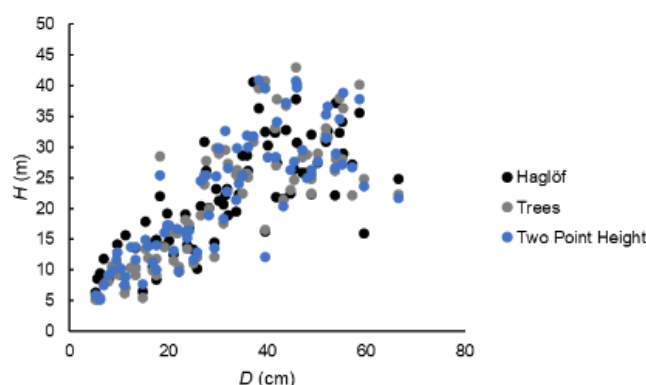


Figura 3: Relação entre o diâmetro (D) e altura total (H) estimada pelo modelo de Chapman e Norman das árvores de *Eucalyptus* sp., pela estimativa dos aplicativos e hipsômetro convencional.

Todos os procedimentos avaliados apresentaram coeficiente de determinação (R^2) maiores que 59% (Tabela 1). O destaque para o procedimento utilizando o aplicativo *Two Point Height* (70%), seguidos de *Trees* (69%) e hipsômetro convencional (Haglof) (59%). Indicando que o procedimento usando o *Two Point Height* explica mais a variabilidade da altura em função do diâmetro (D).

Tabela 1: Coeficientes e estatísticas de qualidade, para o ajuste da equação de comparação das estimativas das alturas entre aplicativos e hipsômetro convencional.

Procedimento	β_0	β_1	R^2	RMSE%	RQEM (m)	Sy.x (%)
Haglof	3,3971	-9,7026	0,59	25,43	3,34	4,78
<i>Trees</i>	3,5131	-12,6869	0,69	27,94	3,56	5,21
<i>Two Point Height</i>	3,5159	-11,7178	0,70	27,74	4,14	4,29



Levando em consideração a raiz do erro quadrado médio (RMSE%), o procedimento das estimativas de alturas com hipsômetro convencional apresentou menor valor (25,43%), seguido de Two Point Height (27,74%) e Trees (27,94%). O RQEM indicou desvios médios variando de 3,5 a 4,1 m em relação ao hipsômetro convencional, cujo valor de referência foi de 3,34 m. Esses resultados evidenciam menor precisão dos aplicativos quando comparados ao método tradicional, ainda que as diferenças entre os procedimentos sejam relativamente pequenas. O erro padrão da estimativa ($Sy.x$ %) apresentou variação entre os métodos avaliados, com valores entre 4,29% e 5,21%. O procedimento com o aplicativo *Two Point Height* resultou no menor erro (4,29%), seguido pelo hipsômetro convencional (4,78%) e pelo aplicativo *Trees* (5,21%). Esses resultados indicam que o *Two Point Height* proporcionou maior precisão nas estimativas de altura, evidenciando a qualidade do ajuste obtido por esse modelo. O gráfico dos resíduos mostra todos os procedimentos similares, apresentando maior tendência de dispersão de resíduos para árvores menores em altura (>15 m) (Figura 4).

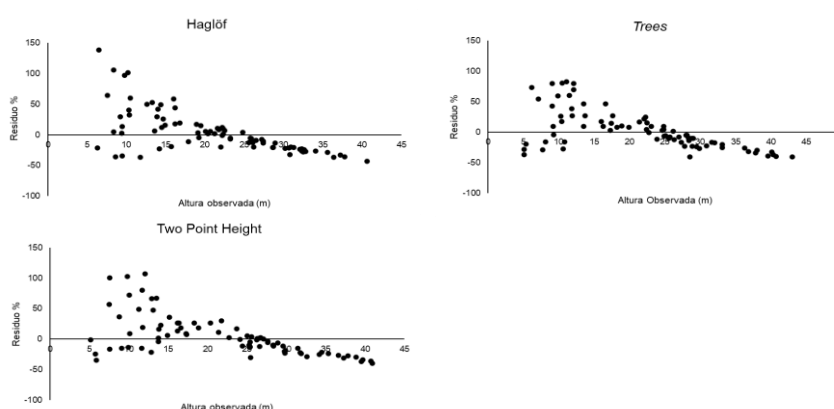


Figura 4: Gráfico de resíduos do modelo ajustado em relação aos procedimentos de estimativa das alturas.

De acordo com o teste de Chow os resultados demonstraram que ambos os aplicativos, *Trees* ($p = 0,2703$) e *Two Point Height* ($p = 0,07969$), apresentaram valores de probabilidade superiores ao nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), indicando ausência de diferença estatística significativa entre os procedimentos. Com base no teste estático de Chow, nas estatísticas de qualidade e distribuição dos resíduos, fica evidenciado que os aplicativos selecionados para as estimativas de altura, apresentaram comportamentos semelhantes ao hipsômetro convencional, portanto, ambos são indicados para a estimativa de alturas, em inventário da espécie *Eucalyptus* sp., usada como quebra vento no campus



JK. Estudos recentes apoiam a alta precisão do uso de aplicativos de *smartphones*, para a estimativa de variáveis dendrométricas em inventários com erros inferiores a 5,8% (Xinmei et al., 2020; Silva Júnior, et al., 2024). Além disso, é válido descrever a praticidade de uso dos aplicativos testados, tanto o *Trees* quanto o *Two Point Height* possuem um design intuitivo de fácil manuseio e leitura dos resultados obtidos, com funções estruturadas e bem definidas. O uso dos aplicativos, principalmente gratuitos, é uma alternativa interessante para quem tem pouco recurso para realizar o inventário, ou até mesmo para quem faz inventário de forma esporádica, além de ser uma boa alternativa para uso em aulas, já que a maioria dos estudantes tem um smartphone.

CONCLUSÃO

Os aplicativos *Trees* e *Two Point Height* apresentaram precisão considerada média nas estimativas de altura, uma vez que os resultados obtidos foram próximos aos da medição convencional realizada com o hipsômetro Haglof.

REFERÊNCIAS

- CHAPMAN, D. G.; NORMAN, D. Height-diameter curves for forest inventory. *Forest Science*, v. 6, n. 2, p. 193-204, 1960.
- CHOW, G. C. Tests of Equality Between Sets Coefficients in Two Linear Regressions, *Econometrica*, Menasha, v. 28, n. 3, p. 591-605, 1960.
- CURTO, R. de A.; PINTO, M. F.; WINK, C.; ARAÚJO, E. J. G.; KOHLER, S. V. *Aplicativos e smartphones para mensuração da altura de árvores em plantio florestal*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 42, e202002113, p. 1-12, 2022.
- FOREST MONITORING TOOLS. *Trees*. 2024. [Aplicativo para Android]. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.forest.trees&hl=pt_BR. Acesso em: 01 de julho de 2025.
- FRUTUOSO, L. M.; MELO ALMEIDA, D. D.; MEZA UCELLA FILHO, J. G.; BARBOSA JUNIOR, V. C.; DE ANDRADE, G. S.; DO CANTO, J. L. Métodos de medição de altura em fragmento de Floresta Estacional Decidual. *Nativa*, v. 8, n. 5, 2020.
- GOLLOB, C.; RITTER, T.; VOSPERNIK, S.; WASSERMANN, C.; NOTHDURFT, A. A flexible height-diameter model for tree height imputation on forest inventory sample plots using repeated measures from the past. *Forests*, v. 9, n. 6, 2018.
- GOODBODY, T. R.; COOPS, N. C.; MARSHALL, P. L.; TOMPALSKI, P.; CRAWFORD, P. Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. *The Forestry Chronicle*, v. 93, n. 1, p. 71-81, 2017.



LAURO, A. C.; CURTO, R. D. A.; TONINI, H.; BIAZATTI, S. C.; KOHLER, S. V. Operacionalidade de instrumentos na obtenção da altura total de árvores em sistema agrossilvipastoril. *Advances in Forestry Science*, v. 5, n. 4, p. 445-451, 2018.

OMEGA CENTAURI SOFTWARE. Two Point Height. 2023. [Aplicativo para Android]. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=mobi.omegacentauri.twopoint&hl=pt_BR. Acesso em: 01 julho de 2025.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025.

XINMEI, W.; AIJUN, X.; TINGTING, Y. Passive measurement method of tree height and crown diameter using a smartphone. *IEEE Access*, v. 8, p. 11669-11678, 2020.