

Operacionalidade de instrumentos na obtenção da altura total de árvores em sistema agrossilvipastoril

Aline Cristina Lauro¹ Rafaella De Angeli Curto¹ Helio Tonini² Scheila Cristina Biazatti³ Sintia Valerio Kohler¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop, Av Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, Sinop-MT, 78550-728

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Unidade Agrossilvipastoril, Rodovia MT 222, KM 2.5, Sinop-MT, 78550-970

³ Universidade Federal de Mato Grosso, Av Fernando Correa da Costa, 2367, Boa Esperança, Cuiabá-MT, 78060-900

*Author for correspondence: rafaellacurto@yahoo.com.br

Received: February 2018 / Accepted: October 2018 / Published: December 2018

Resumo

A altura de árvores é fundamental para a obtenção do volume, e em determinadas situações, pode servir como indicadora da qualidade produtiva de um local. Torna-se importante averiguar instrumentos de medição de altura que resultem em estimativas exatas, conciliada com facilidade operacional, sendo este o objetivo do presente trabalho. Assim, em um sistema agrossilvipastoril, foram mensuradas as alturas totais de 20 árvores com os seguintes instrumentos: Vertex IV®, Hipsômetro/Clinômetro Haglöf®, Criterion RD 1000®, aplicativo para *Smartphone Measure Height* e o Hipsômetro de Christen. Em seguida, as mesmas árvores mensuradas pelos hipsômetros foram abatidas, tendo seus comprimentos obtidos com trena, correspondendo a suas alturas reais. Verificou-se homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett (p-valor 0,9797) para as alturas. Por meio da análise de variância foram verificadas diferenças médias significativas entre os instrumentos testados (p-valor 0,00027), em que pelo teste de Dunnett (95% de probabilidade) verificou-se diferença da altura real com a obtida com aplicativo para *Smartphone*. Para os demais instrumentos, não houve diferença significativa, no entanto, o Criterion RD 1000 obteve melhor estimativa, seguido pelo Vertex e Clinômetro respectivamente, e o hipsômetro de Christen mostrou-se mais tendencioso pela análise gráfica de resíduos e estatísticas complementares. O Criterion é indicado para realização de medidas de altura com maior exatidão, já o Clinômetro pode ser indicado quando a realização de medidas da altura estiver condicionada a menores custos para inventários florestais em sistemas agrossilvipastoris.

Palavras-chave: Exatidão, Aplicativo para *Smartphone*, Custos.

Abstract

The height of trees is useful for calculating the volume, and in such situations, can serve as an indicator of the productive quality of a site. It is important to investigate height measuring instruments that result in accurate estimates, reconciled with operational ease, and this is the objective of this work. Thus, the following instruments were tested: Vertex IV®, Haglöf® Hypsometer / Clinometer, Criterion RD 1000®, *Smartphone Measure Height* application and Christen's Hypsometer) in a agrossilvipasture system. In as much as trees, measured by hypsometers were felled (20 trees), having its lengths obtained with a tape measure, corresponding to its real heights. Homogeneity of variances was verified by the Bartlett test (p-value 0.9797). (P-value 0.00027), in which by Dunnett's test (95% probability), there was a difference of the actual height with one obtained with a *Smartphone* application. For the other, RD 1000 obtained better estimates, followed by Vertex and Clinometer respectively, and Christen's hypsometer was more biased by graphical residue analysis and complementary statistics. The

Criterion is indicated for the realization of height measurements with greater accuracy, Clinometer can already be indicated when the height measurements are made and conditioned to lower costs for forest inventories in agrossilvipasture system.

Keywords: Accuracy, Application for *Smartphone*, costs.

Introdução

O conhecimento do potencial produtivo de um plantio florestal, a fim de estabelecer ordenamento da produção, é obtido com a mensuração das variáveis dendrométricas (como altura, diâmetro, área basal, densidade), que fornecem informações essenciais para o planejamento e execução do manejo florestal.

A variável altura constitui-se em uma característica da árvore que pode ser medida ou estimada, sendo utilizada para obter o volume, os incrementos em altura e, em determinadas situações, pode servir como indicadora da qualidade produtiva de um local, sendo necessário que as medidas de altura realizadas apresentem os menores erros possíveis (Silva et al. 2012a). Com isso, o conhecimento de métodos e instrumentos que possibilitem a medição de altura com maior exatidão e melhor operacionalidade, é muito importante, pois otimiza e melhora a exatidão dos inventários florestais, permitindo o melhor planejamento para o uso dos recursos florestais.

Entretanto, a medição da altura é uma atividade onerosa, podendo resultar em dificuldades no campo, ocasionando erros de medição. Isso porque, somente é possível medir corretamente a altura de árvores quando tanto a sua base como seu topo, ponto mais alto, possam ser vistos de uma mesma posição (Machado e Figueiredo Filho 2009). Assim, dificuldades no enquadramento da base e ápice, inferem a erros por falta ou excesso. Tais problemas foram relatados em plantios florestais adensados por Jesus et al. (2012), Silva et al. (2012a) e Dalla Corte et al. (2016), e também em florestas nativas por Silva (2016), Curto et al. (2013), Silva et al. (2012b) e David (2011), que devido a heterogeneidade das copas e sub-bosque, tornam a medição da altura mais difícil.

Nos sistemas agrossilvipastoris, classificados como sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), são usados arranjos espaciais de plantio de árvores em fileiras únicas ou múltiplas, com espaçamentos amplos entre si. Assim, a atividade de medição de altura das árvores nestes sistemas tende a ser menos onerosa, já que se consegue o ponto de enquadramento, base e ápice, com maior facilidade. Além de ser possível posicionar-se a maiores distâncias para realizar as medições, diferente do que ocorre em plantios adensados e florestas nativas. Logo, instrumentos de medição de altura com princípios de funcionamento simples podem resultar em estimativas confiáveis de altura, podendo ser usados como uma alternativa de baixo custo.

Os hipsômetros são equipamentos que permitem a medição da altura de árvores, podendo se dividir nos que se

baseiam no princípio geométrico, relação de lados de triângulos semelhantes, como o hipsômetro de Christen que se destaca devido a sua construção ser simples. E, nos que se baseiam no princípio trigonométrico, relação entre ângulos e distâncias, em que se tem como exemplo o Nível de Abney, o Blume-Leiss, o Haga e o Suunto, além de outros com tecnologia mais moderna, com destaque para o Vertex IV®, hipsômetro/clinômetro eletrônico Haglöf®, Criterion RD 1000®, entre outros (Machado e Figueiredo Filho 2009; Soares et al. 2012).

Há também a disposição, mais recentemente, a tecnologia com o uso de aplicativos em *Smartphones*, que introduziu no ambiente florestal aplicativos criados especificamente para medição de alturas das árvores. Tais medições em *Smartphones* são feitas utilizando o sensor acelerômetro 3D interno incorporado, sendo um sensor capaz de detectar mudanças em aceleração linear ao longo de três eixos ortogonais e permite determinar o ângulo de inclinação de um sensor, responsável por rodar automaticamente a tela do *Smartphone*. Alguns *Smartphones* também incorporam um giroscópio que permite a detecção da velocidade angular ao longo de três eixos (Villasante e Fernandez 2014), sendo responsável por determinar a direção e orientação, semelhante ao que ocorre em bússolas, visto que o giroscópio detecta se o aparelho celular for girado no seu próprio eixo, para cima ou para baixo.

Diante da possibilidade de redução de custos do inventário florestal, uma vez que alguns aplicativos são encontrados de forma gratuita, torna-se, pertinente avaliar o desempenho de aplicativos como ferramenta de medição de altura.

Assim, para a obtenção da altura de árvores, diferentes instrumentos podem ser utilizados, desde que, possibilitem a medida exata com facilidade operacional, auxiliando a busca pela minimização de custos e consequentemente possibilitando à tomada de decisões para o planejamento florestal adequado. Neste sentido objetiva-se avaliar a exatidão de instrumentos para a obtenção da altura total em árvores de eucalipto em um sistema agrossilvipastoril.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em um sistema agrossilvipastoril, classificado como sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), na EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) Agrossilvipastoril, em Sinop, Mato Grosso, localizado nas coordenadas geográficas de 11° 51' 43" S e 55° 35' 27" O, em uma altitude média de 384 m acima do nível do mar. A região apresenta precipitações totais anuais que variam de aproximadamente 1327,29 a 1974,47 mm, com temperaturas médias mensais variando entre 23,5°C e 25,5°C e máximas inferiores a 36°C. Pelas classificações de Köppen e de Thornthwaite a região é do tipo climático Aw e B2wA'a (Mota et al. 2013).

Como componente florestal o sistema possui o clone H13 (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) consorciado com o gado de leite. O componente agrícola do ILPF utilizado inicialmente, antes do gado, foi composto por milho (*Zeamays* L.) e feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). O sistema ILPF totaliza 40 hectares, implantado em fevereiro de 2011 no delineamento de blocos ao acaso, sendo quatro blocos, com quatro repetições. Possui a configuração de plantio de faixas duplas com um espaçamento de 3 m x 2 m x 52 m e de faixas triplas com um espaçamento de 3 m x 2 m x 15 m.

Coletas de dados

Por meio de um inventário florestal piloto, e de acordo com diâmetro quadrático médio (dg) verificado em cada

bloco, variando estes entre 18,4 com e 23,4 com, foram selecionadas cinco árvores por bloco, totalizando 20 árvores amostra. Foram mensuradas as alturas totais das árvores por diferentes métodos, sendo eles com a utilização dos hipsômetros Vertex IV®, Haglöf® e de Christen, dendrômetro ótico Criterion RD 1000® e aplicativo *Measure Height* para *Smartphones*. Para todos os métodos, exceto ao utilizar o hipsômetro de Christen, foi utilizada a mesma distância entre o mensurador e a árvore. Após, as mesmas árvores foram derrubadas para a obtenção de seus comprimentos, correspondentes as suas alturas reais, utilizando-se uma trena, constituindo a testemunha.

O desenvolvimento dos métodos deu-se conforme descrito a seguir: Primeiramente a altura das árvores foi estimada utilizando o hipsômetro Vertex IV® (incluindo o *transponder*). O *transponder* foi posicionado a 1,30 m do solo, fixado na árvore, sendo possível a obtenção da distância do operador até a árvore de maneira automática, podendo o operador posicionar-se a diferentes distâncias. Com o *transponder* fixo em frente à árvore foi feita a medição de altura total. O valor da medição é mostrado automaticamente no visor do equipamento, consistindo no Método 1.

No Método 2, a estimativa de altura foi feita utilizando um hipsômetro digital (hipsômetro/clinômetro eletrônico Haglöf®). Inicialmente foi medida a distância do operador até a árvore com auxílio de uma trena, podendo essas medidas serem feitas a qualquer distância da árvore. Logo após, foi possível realizar os procedimentos de visada na base até o ápice da árvore, o valor da medida é observado diretamente no visor do equipamento. Por isso o referido equipamento é classificado como um hipsômetro, uma vez que fornece a altura diretamente, sem a necessidade de transformações.

O dendrômetro ótico Criterion RD 1000® (Método 3), foi posicionado distante de cada árvore a ser mensurada, onde foi possível visualiza-la da base até o ápice, a distância do operador até a árvore foi medida com auxílio de uma trena. Em seguida, foi obtido o ângulo voltado para a base da árvore. A medida que movimenta-se o equipamento rastreando o fuste, a altura da árvore é atualizada automaticamente visor do equipamento, uma vez que o mesmo permite a leitura da altura e diâmetro da árvore em qualquer ponto (ou múltiplos pontos) ao longo do fuste, de qualquer distância conveniente.

O hipsômetro de Christen (Método 4) é o único dos instrumentos testados que consiste no princípio geométrico, sendo composto por uma régua e uma baliza de altura conhecida, tendo como diferencial dos demais métodos não necessitar medir a distância do observador para obter a altura. Assim, para a estimativa da altura com este hipsômetro, o mesmo foi segurado com os braços esticados e na direção dos olhos, o observador desloca-se até que a árvore encaixasse na abertura do instrumento. Para esta atividade, uma baliza de 3 metros foi encostada na árvore, visto que o equipamento foi construído para esta referência. A altura foi obtida no ponto de interseção entre o topo da baliza e a escala do instrumento.

O último método foi realizado utilizando o aplicativo de celular *Measure Height* (Método 5), desenvolvido pela empresa de software Deskis, que é gratuito para o sistema operacional Android. O aplicativo *Measure Height*, foi criado exclusivamente para medição de alturas de árvores, esse Software usa dispositivos do acelerômetro e equações trigonométricas para estimar a altura das árvores (Deskis OÜ 2016). Nas suas configurações possuem funções de calibração manual, além de um manual de instruções. Para medir a altura foi fixada uma distância já conhecida do operador até a árvore, obtida com auxílio de uma trena. O aparelho telemóvel utilizado foi um *Smartphone* que possui câmera de 13 megapixels, tela de 5 polegadas, acelerômetro incorporado, porém não possui giroscópio (Samsung 2015). O acelerômetro incorporado possui uma resolução de 0,0383

m.s-2, obtido por meio do aplicativo Phone Tester (Torres 2017).

Análises dos dados

Utilizou-se o teste de Bartlett para testar a homogeneidade das variâncias (Snedecor e Cochran 1989), cuja hipótese de nulidade expressa que os dados em questão possuem homogeneidade de variâncias. No caso de atendimento ao pressuposto, os dados foram submetidos à análise de variância para um delineamento inteiramente casualizado (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste

de Dunnett a 95% de probabilidade, entre os valores reais (testemunha) da altura das árvores e os valores obtidos com os diferentes métodos. Todas as análises foram realizadas com auxílio do *Software R* (R Core Team 2017). Foi realizada ainda, a análise gráfica de resíduos e testes complementares de análise estatística, por meio de Viés (V), Média das Diferenças absolutas (MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD), conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios e respectivos estimadores para avaliação dos métodos de obtenção de altura total

Estatística	Estimador	Estimador %
Resíduo (%)		$R = \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \cdot 100$
Viés (V)	$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$	$V(\%) = \frac{V}{\bar{Y}} \cdot 100$
Média das diferenças absolutas (MD)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$	$MD(\%) = \frac{MD}{\bar{Y}} \cdot 100$
Desvio padrão das diferenças (DPD)	$DPD = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n di^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n di \right)^2}{n} \right)}{n-1}}$	$DPD(\%) = \frac{DPD}{\bar{Y}} \cdot 100$

Em que: \hat{Y}_i = Altura da i-ésima árvore medida de forma direta, após ser abatida, com a trena (m); Y_i = altura da i-ésima árvore medida pelos métodos avaliados (m); n = número de observações; $di = \left(Y_i - \hat{Y}_i \right)$, \bar{Y} = média das árvores medidas pelo método destrutivo (m³).

Resultados

O teste de Bartlett (p-valor 0,9797) indicou homogeneidade das variâncias para os dados de altura total avaliados. Por meio da análise de variância foram verificadas diferenças significativas entre os instrumentos testados (p-valor 0,00027). Na Tabela 2 está apresentado o teste de média de Dunnett a 95% de probabilidade.

Tabela 2. Teste de médias de Dunnett, a 95% de probabilidade, da altura total de árvores amostradas de Eucalipto em sistema agrossilvipastoril, com diferentes instrumentos.

Métodos	Média (m)	p valor(> t)
Vertex	27,39	0,90600 ^{ns}
Haglöf	27,47	0,85594 ^{ns}
Criterion	27,12	0,99210 ^{ns}
Christen	25,75	0,56693 ^{ns}
<i>Measure height</i>	24,17	0,00619*
Média real (testemunha)	26,78	

Em que: * = Diferença significativa (p<0,005) e; ns = Diferença não significativa (p>0,005).

Na análise pelo teste de Dunnett, verificou-se que o método de medição de altura que apresentou diferença com a altura real média foi o que se baseou no uso do aplicativo *Measure heigh*, para *Smartphones*. Para os demais instrumentos, como não houve diferença significativa, pode-se inferir que tais métodos, estatisticamente, resultam em igualdade com a altura real média das árvores mensuradas. Dentre estes, o instrumento que obteve média mais próxima da altura real foi o Criterion, seguidos pelo Vertex e Hipsômetro/Clinômetro Haglöf, todos baseados no princípio trigonométrico. Já o hipsômetro de Christen, baseado no princípio geométrico, foi o gerou média mais distante da média real.

Complementando a análise de exatidão das médias, é apresentada na sequência os gráficos de resíduos levando-se em conta os métodos avaliados (Figura 1).

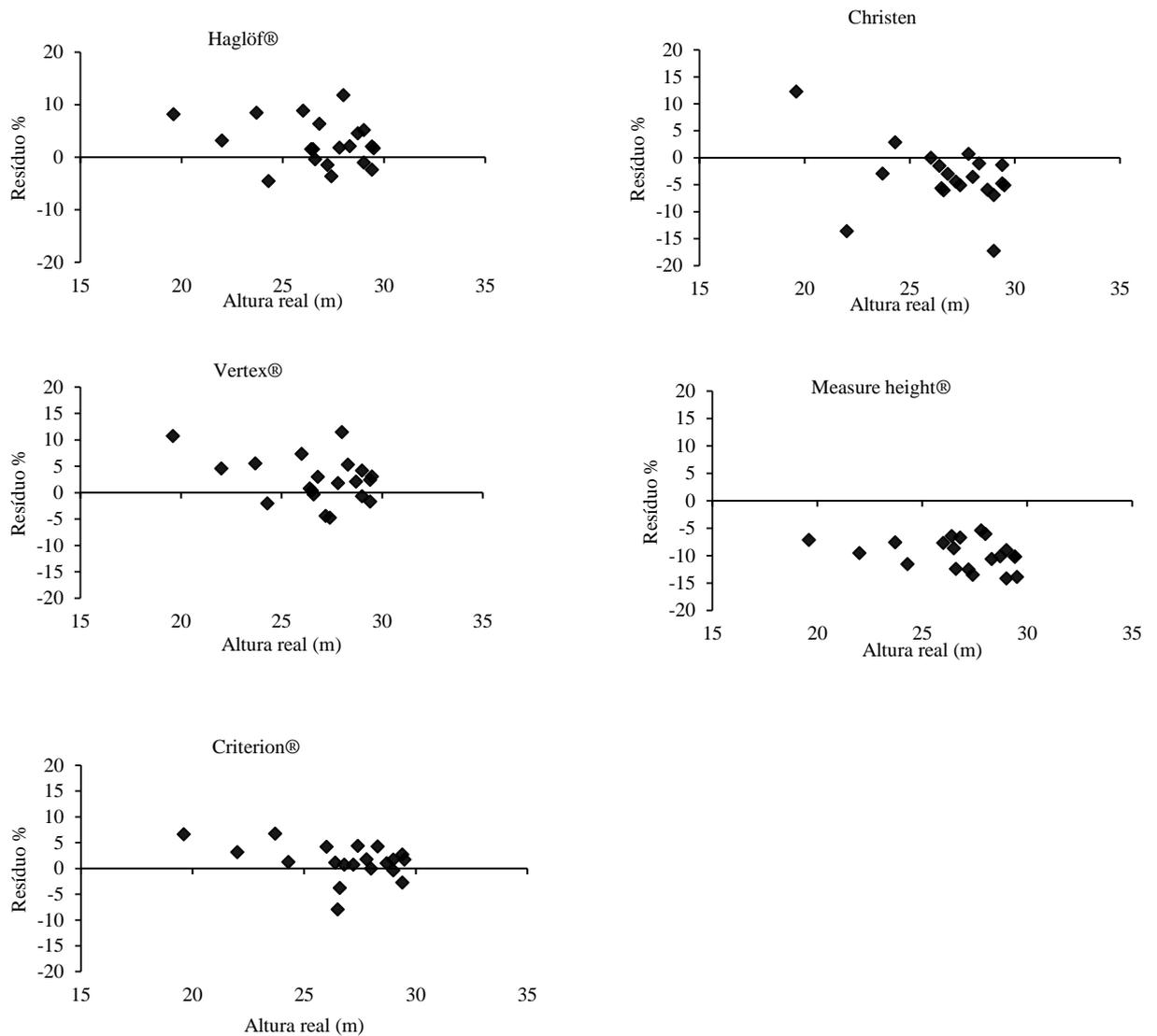


Figura 1. Resíduos em porcentagem para os instrumentos avaliados para obtenção de altura total.

Nota-se que os métodos de estimativa com Vertex, Hipsômetro/Clinômetro Haglöf e Criterion, apresentaram tendência em superestimar as alturas, sendo essa tendência mais evidente para as árvores mais baixas, dentre as observadas, porém com erro distribuído em intervalo baixo, de -10 a 15%. O hipsômetro de Christen apresentou tendência em subestimar as alturas, sendo mais expressiva que a tendência em superestimar dos demais instrumentos. Já o método com o aplicativo *Measure height* subestimou a altura

de todas as árvores medidas, onde os resíduos encontraram-se no intervalo de -15 a -5% de erro. Assim, considerando a análise gráfica dos resíduos, o Criterion foi o aparelho que apresentou menores tendências, sendo o de melhor desempenho quanto a distribuição dos resíduos.

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas Viés (V), Média das Diferenças Absolutas (MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD) para as estimativas de altura pelos diferentes métodos.

Tabela 3. Estatísticas complementares V, MD e DPD para estimativa da altura total com diferentes instrumentos.

Estatísticas	Instrumentos				
	Vertex*	Haglöf*	Criterion*	Hip. de Christen	<i>Measure height</i> *
V (%)	-2,28	-2,58	-1,25	3,85	9,75
MD (%)	3,70	3,92	2,74	5,08	9,75
DPD (%)	4,73	5,00	3,48	6,70	10,25

Em que: Viés (V), Média das Diferenças Absolutas (MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD)

Analisando os resultados apresentados, verifica-se que o Criterion apresentou a melhor estimativa em relação às outras estimativas avaliadas, já que os valores de V, MD e DPD foram mais próximos de “0”, o que indica que o método apresenta boa exatidão, onde são menores as tendências (V) e amplitudes (MD) e maior a homogeneidade (DPD) dos resíduos, conforme interpretação descrita por Figueiredo Filho (1996), seguido pelos instrumentos Vertex, Hipsômetro/Clinômetro Haglöf, Christen e aplicativo *Measure height*, respectivamente.

Discussão

Foi verificado desempenho médio não satisfatório utilizando o aplicativo *Measure height* para mensurar altura, como também foi verificado por Villasante e Fernandez (2014) e Bijak e Sarzyński (2015), os quais indicam que o resultado está relacionado a menor resolução do sensor acelerômetro e a ausência de um giroscópio. O *Smartphone* utilizado para realizar as medições não possui giroscópio, como consta nas especificações técnicas do produto (Samsung 2015), quanto ao acelerômetro, apresenta baixa resolução, igual ao *Smartphone* utilizado por Villasante e Fernandez (2014), o que pode ter determinado a ineficiência do aplicativo nas medições de altura total.

Alturas com médias estatisticamente iguais às alturas reais também foram verificadas com o uso Vertex por Silva et al. (2012.b) para a medição de altura total em floresta nativa densa e por Jesus et al. (2012) em povoamento clonal de eucalipto, em árvores cujas alturas médias foram de 19,7 e 16,8 m, respectivamente. Com o Hipsômetro/Clinômetro Haglöf, David (2011) confrontando a medição de altura real obtida com uma régua, para árvores menores que 15 metros em floresta nativa, concluiu que a média das alturas foram estatisticamente iguais. Curto et al. (2013) também em floresta nativa, utilizando Hipsômetro/Clinômetro Haglöf e Vertex, porém avaliando árvores de maior porte (média de 19,3 m), verificaram igualdade da altura média com a altura real obtida por escalada, assim como Dalla Corte et al. (2016) em plantio puro de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don., cuja altura média verificada foi de 21,81 metros. Assim, o Vertex e o Hipsômetro/Clinômetro Haglöf apresentam exatidão na estimativa média da altura de árvores de grande porte, e em diferentes condições florestais.

Trabalhos para averiguar especificamente a eficiência do Criterion na estimativa de alturas são escassos, apesar de já ter sido utilizado para medir altura de árvores, em trabalhos como no de Huerta e Wal (2012). No entanto para determinação de volume, função para a qual o equipamento foi especificamente desenvolvido e que utiliza a altura para sua determinação, alguns estudos já foram realizados. Pode-se citar os estudos desenvolvidos por Silva (2016) em floresta Amazônica na determinação do volume comercial, por Nicoletti et al. (2015) para floresta em remanescente florestal, por Bonazza et al. (2015) em povoamento de Pinus e por Dalla Corte et al. (2016) em plantio de *Cryptomeria japonica*, concluindo-se resultados médios satisfatórios para estimativa da referida variável.

Utilizando o hipsômetro de Christen em árvores do Cerrado de porte baixo, Andrade et al. (2016) verificaram que

o referido instrumento não apresentou diferenças significativas em relação à altura média real, sendo neste caso considerada a medida tomada com o hipsômetro Suunto. Verifica-se que o instrumento pode permitir obter altura média igual à real em florestas plantadas e nativas, conforme foi verificado para o sistema agrossilvipastoril em estudo. Diante de tal resultado, indicar um instrumento ideal para obter a altura passa a requerer observações de fatores limitantes na realização de inventários florestais, como o custo.

O hipsômetro de Christen, por exemplo, além de permitir a obtenção da altura com média tendendo à exatidão, é de custo baixo de aquisição, por ser de simples construção, sendo necessário somente um pedaço de madeira e uma régua, que pode ser improvisada e de qualquer material, desde tenha o comprimento requerido. Assim, esse instrumento poderia ser uma alternativa, já que no sistema agrossilvipastoril se mostrou eficiente.

Já o Criterion, que é um instrumento relativamente novo no mercado, versátil e de alta tecnologia, apesar de ter se mostrado eficiente na obtenção da altura total, apresenta custo elevado de aquisição, o que compreende em um fator determinante para a sua utilização, o tornando inviável em diversas situações, como em empreendimentos florestais de pequeno porte ou em atividade desenvolvidas por profissionais autônomos, quando o objetivo for somente para medição de alturas. No entanto, conforme descrito em seu manual, o Criterion oferece diferentes tipos de funcionalidade, permitindo a mensuração de diâmetros ao longo do fuste, possibilitando realizar a cubagem da árvore em pé e determinar a altura ao longo do fuste em que um diâmetro específico é atingido, sendo bastante útil para determinação de sortimentos.

No entanto, a redução de custos pode limitar a exatidão das medidas, que podem ocasionar estimativas tendenciosas. Deste modo é preciso verificar, além das médias obtidas, possíveis tendências com o uso dos instrumentos antes de indicá-los para obtenção da altura total.

Verificando a análise de resíduos (Figura 1) é possível observar uma tendência de superestimativa da altura de árvores com o hipsômetro Vertex, conforme também constatado por Jesus et al. (2012). Já Silva et al. (2012b) e Curto et al. (2013) verificaram efeito contrário, em que o hipsômetro Vertex, para obtenção da altura total de árvores em áreas de floresta de Mata Atlântica, apresentou uma leve tendência em subestimar a altura, sendo essa cada vez maior a medida que se aumenta a altura das árvores. A mensuração realizada por Silva et al. (2012b) e Curto et al. (2013) abrangeu árvores a partir de 15 m de altura, porém, a amplitude foi estendida para árvores de até 45 e 30 metros de altura, respectivamente. Notou-se nestes casos, que a medida que as alturas das árvores foi aumentando o Vertex deixou de superestimar passando a subestimar a altura das árvores.

Bonazza (2015), avaliando altura total de árvores com o Vertex, para plantios de Pinus em diferentes idades, verificou uma superestimativa nas medições de altura total em árvores com alturas médias de 17,2 m, enquanto as medições em árvores com alturas médias de 26,3 m resultaram em subestimativa, inferindo-se com esses resultados que há uma

tendência a subestimativa das medições com o aumento da altura total das árvores, conforme ocorreu no presente trabalho, em que a partir de 25 metros de altura, verifica-se que o erro começa a ser compensado também tendendo a subestimativa.

Da mesma forma como ocorreu com o Vertex, o Hipsômetro/Clinômetro Haglöf, apresentou tendência em superestimar a altura, porém, passando a ocorrer erros de subestimativa da altura de árvores mais altas, conforme também verificado por Curto et al. (2013).

Silva (2016) utilizou o Hipsômetro/Clinômetro Haglöf em floresta Amazônica e também verificou que este instrumento apresentou tendência em superestimar o valor da altura comercial, correspondendo a altura média de 15,5 metros. No entanto, no referido trabalho a maioria dos resíduos encontravam-se em intervalos maiores (-40 a 20%) que os observados no presente trabalho (-5 a 15%). Menores erros na estimativa podem ser atribuídos ao fato de ser possível melhor visualização da base e topo da árvore devido a configuração do sistema agrossilvipastoril, quando comparada a alta densidade e dificuldade de enquadramento e visualização das árvores em florestas nativas. No entanto, também em floresta nativa David (2011) não verificou tendências com a utilização do Hipsômetro/Clinômetro Haglöf, porém o porte das árvores era mais baixo, tendo-se em média 9,1 metros de altura.

Com o hipsômetro de Christen a tendência foi de subestimar a altura, sendo essa tendência maior com o aumento da altura. De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2009), geralmente o hipsômetro de Christen não obtém boas estimativas de alturas de árvores mais altas, devido à dificuldade em obter o enquadramento, uma vez que é preciso percorrer grandes distâncias para visualização do ápice e base simultaneamente. No entanto, posto que a visualização da base e topo é alcançada mais facilmente na configuração de sistema agrossilvipastoril, já que se consegue tomar maiores distâncias para realizar as medições, foi possível uma maior eficiência do instrumento.

Contudo, apesar da facilidade em termos de distanciamento, árvores mais altas ainda inferem dificuldade na medição. Isso porque, o intervalo entre as gradações da régua do hipsômetro de Christen é menor nas maiores alturas, o que ocasiona maior dificuldade de visualização do ponto de interseção entre o topo da baliza e a escala do instrumento, de modo que qualquer oscilação do mensurador no momento da leitura possa ocasionar erros significativos. Conforme verificado neste trabalho, a altura média, apesar de estatisticamente igual a real, resultou em subestimação das alturas. Machado e Figueiredo Filho (2009) enfatizam que a exatidão das medidas com o hipsômetro de Christen decresce a medida que a altura da árvore aumenta, indicando que na prática este instrumento somente deve ser utilizado para alturas menores que 20 m.

Assim, apesar do baixo custo de aquisição e de permitir mais fácil realização das medições em sistema agrossilvipastoril do que quando em plantios ou florestas mais densas, o hipsômetro de Christen apresenta tendências na estimativa da altura total para as árvores de grande porte nestes sistemas de integração.

Com a utilização do aplicativo *Measure height* as tendências de subestimativas foram ainda mais evidentes que as observadas com o hipsômetro de Christen (Figura 1), corroborando com a diferença estatística verificada ao comparar a altura medida com o aplicativo com o valor médio verdadeiro das alturas (Tabelas 2 e 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Bijak e Sarzyński (2015) utilizando o mesmo aplicativo em medições de árvores com alturas variando de 12 a 29 metros em uma floresta homogênea de pinheiros escoceses na Polônia central. O aplicativo mostrou uma tendência de subestimação das alturas, com erro entre -29 a 13%. A tendência em subestimar a altura foi mais significativa nas árvores mais altas (< 20m), independente das distâncias tomadas pelo mensurador, sendo explicada devido ao fato dos *Smartphones* se basearem na inclinação e no princípio trigonométrico, com a tangente do ângulo na determinação das alturas, onde pequenos desvios da vertical podem resultar em maiores erros.

Villasante e Fernandez (2014) realizaram medidas de altura em pontos pré-estabelecidos de 4 a 12 metros de altura utilizando o aplicativo *Measure height* e verificaram problemas graves devido os resultados de subestimação das alturas, que atribuíram a uma transformação interna deficiente entre os dados do acelerômetro e os valores de ângulo, inferindo a um erro sistemático nas medições dos *Smartphones*. Os autores explicam que uma calibração prévia nos *Smartphones* é necessária para transformar os dados obtidos com o acelerômetro, em medidas de ângulos ou altura mais corretas. No entanto, Bijak e Sarzyński (2015), relatam que o método de calibração incluído nos aplicativos testados são insuficientes, que o *Measure height* apresenta somente a opção de correção de ângulo de inclinação. Portanto, apesar dos aplicativos serem ferramentas promissoras para a determinação de altura da árvore, sugerem-se melhorias tanto no Software dos aplicativos, quanto nos *Smartphones*, com a incorporação de funções de calibração e autocorreção fáceis e eficazes.

Devido à verificação da proporcionalidade do erro interno na conversão dos valores do acelerômetro em graus de inclinação, Villasante e Fernandez (2014) propuseram a correção com a regressão linear, verificando melhoria considerável nas estimativas com *Smartphones*. Apesar da possibilidade, essa é a desvantagem para a utilização de aplicativos, quando comparada a instrumentos tradicionais, visto que a análise de regressão traz consigo erros de ajuste.

Já o Criterion, de acordo com todas as estatísticas avaliadas (Tabelas 2 e 3; Figura 1) se apresentou-se o mais eficiente na estimativa de altura total, no entanto, seu alto custo de aquisição torna-se um fator limitante. Porém, se além da obtenção da altura o objetivo também for obter o volume de árvores em pé o custo pode ser compensatório, dado a exatidão na obtenção da altura total, permitindo indicar, consequentemente, exatidão na obtenção das alturas ao longo do fuste.

O Vertex, segundo instrumento de melhor exatidão dentre os testados (Tabelas 2 e 3; Figura 1) também não é um instrumento barato, apesar de seu custo ser pouco menor que a do Criterion, assim, sua escolha deve levar em conta o tamanho do empreendimento e a necessidade de adquirir um produto de alto custo. Deste modo, o Hipsômetro/Clinômetro

Haglöf, passa a ser a opção mais viável, isso porque além de ser preciso e de considerável exatidão, apresenta um custo inferior ao do Criterion e Vertex, e proporciona certos benefícios, como o fato de ser pequeno e leve, facilitando o manuseio, bem como a locomoção em campo, com maior praticidade operacional ao operador. Pesa contra ele a necessidade de mensuração da distância de forma manual quando comparado ao Vertex, que indica a distância de forma automática, resultando em maior tempo gasto para execução da mensuração.

Conclusão

O Criterion RD 1000® foi o instrumento de maior exatidão, seguido pelo Vertex IV, sendo indicados para realização de medidas de altura. O Hipsômetro/Clinômetro Haglöf é indicado quando for de preferência a realização de medidas da altura com exatidão e com menor custo.

O método que empregou o Hipsômetro de Christen para estimar a altura da árvore apresentou o pior desempenho quanto à exatidão.

Não é indicado o uso do aplicativo *Measure height*, já que o mesmo resultou em estimativas diferentes das alturas reais, sendo muito tendencioso. No entanto, aplicativos podem ser uma ferramenta promissora, dependendo da resolução do acelerômetro do *Smartphone* utilizado, e desde que se façam melhorias em suas funções antes de um uso mais amplo na prática florestal.

Referências

- Andrade, VCL, Ribeiro JR, Pinto, IO, Santos MJF, Teles LB, Terra DLCV (2016) Hipsômetros baseados no princípio geométrico avaliados em área de cerrado *sensu stricto*. *Nativa*, 4 (5): 333-336. doi: 10.14583/2318-7670.v04n05a10
- Bijak S, Sarzynski J (2015) Accuracy of *Smartphones* applications in the field Measure of tree height. *Folia Forestalia Polonica*, 57 (4): 240-244. doi: 10.1515/ffp-2015-0025
- Bonazza M, Sampietro JA, Silvestre R, Nicoletti MF, Lima GCP, Silva AL, Morés DF, Rodrigues AL (2015) Accuracy of Non-Destructive Volumetric Estimates in Stands of *Pinus taeda* L. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9 (31): 71-79.
- Bonazza M (2015). *Quantificação dendrométrica não-destrutiva e relações entre unidade de volume sólido e massa de madeira em povoamentos de Pinus taeda* L. Dissertação, Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC. 176f.
- Curto RA, Silva GF, Soares CPB, Martins LT, David HC (2013) Métodos de estimação de altura de árvores em Floresta Estacional Semidecidual. *Revista Floresta*, 43 (1): 105-116.
- Dalla Corte AP, Sanquetta CR, Oliveira KA, Behling A, Coutinho VM (2016) Desempenho de diferentes equipamentos para mensuração de diâmetro a 1,30 m, altura individual total e volume do fuste em *Cryptomeria japonica* (Thunb. Ex L. f.) D. Don. *Enciclopédia Biosfera*, 13 (23): 432-441. doi: 10.18677
- David HC (2011) *Métodos de estimação de altura de árvores em uma floresta nativa do sul do Espírito Santo*. Monografia, Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 34f.
- Deskis Oü, 2016. Disponível em: <http://www.deskis.ee/korgusmootja/index.html>. Acesso em: 04 de mar. 2017.
- Figueiredo Filho A, Borders BE, Hitch KL (1996) Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 83: 39-46.
- Huerta E, Wal H (2012) Soil macroinvertebrates abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *European Journal of Soil Biology*, 50: 68-75. doi:10.1016/j.ejsobi.2011.12.007
- Jesus CM, Miguel EP, Leal FA, Encinas JI (2012) Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*. *Enciclopédia Biosfera*, 8 (15): 291-299.
- Nicoletti MF, Batista JLF, Carvalho SPC, Castro TN, Hess AF (2015) Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação do volume de árvores em pé. *Ciência Florestal*, 25 (2): 395-404.
- Machado AS, Figueiredo Filho A (2009) *Dendrometria*. Guarapuava: Ed UNICENTRO. 2ed. 316p.
- Mota LL, Botton D, Fonseca RC, Silva WC, Souza AP (2013) Balanço hídrico climatológico e classificação climática da região de Sinop, Mato Grosso. *Scientific Electronic Archives*, 3: 38-44.
- R Core Team. R (2017) *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical computing, Vienna. URL <http://www.R-project.org/>.
- Samsung (2015). Disponível em: <http://www.samsung.com/pt/smartphones/galaxy-j5-j500fn/>. Acesso em: 10 de out. 2017.
- Snedecor GW, Cochran WG (1989) *Statistical Methods*. 8th ed. Iowa: Iowa State University Press, p. 247.
- Silva JC (2016) *Métodos de medição da altura e do volume comercial de árvores no bioma Amazônico*. Dissertação, Mestrado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, ES, 70f.
- Silva GF, Oliveira OM, Souza CAM, Soares CPB, Lemos R (2012a) Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de altura de árvores. *Revista Cerne*, 18 (3): 397-405. doi: 10.1590/S0104-77602012000300006.
- Silva GF, Curto RA, Soares CPB, Piassi LC (2012b) Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. *Revista Árvore*, 36 (2): 341-348. doi: 10.1590/S0100-67622012000200015
- Soares CPB, Neto FP, Souza AL (2012) *Dendrometria e inventário florestal*. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 272p.
- Villasante A, Fernandez C (2014) Measurement errors in the use of *Smartphones* as low-cost forestry hypsometers. *Silva Fennica*, 48 (5): 1-11. doi: 10.14214/sf.1114