

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 14 (2)

February 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14220211221>

Article link

<http://sea.ufr.edu.br/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=1221&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES, CrossRef, ICI Journals Master List.



Avaliação de aplicativos de *smartphone* para mensuração da altura total de árvores

Evaluation of *smartphone* applications for measuring the total height of trees

J. M. D. Oliveira, J. P. M. D. Oliveira, L. S. Cardoso, D. H. S. Ataíde, R. A. Curto, E. J. G. Araújo

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

* Author for correspondence: juliamdo96@gmail.com

Resumo. Este trabalho avaliou a precisão e a exatidão dos aplicativos de *smartphones* para a mensuração da altura total de árvores. Foram mensuradas as alturas de 90 árvores de diferentes espécies no *campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Seropédica, distribuídas igualmente em três classes de altura: (1) $h \leq 11,5$ m, (2) $11,5 < h < 20$ m; e (3) $h \geq 20$ m. As alturas medidas pelo hipsômetro Vertex III® foram a referência na comparação dos aplicativos do sistema *Android* testados: *Measure Height* (MH e MDH), *Hypsometer* (HYP), *Simple Measure* (SM), *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST), *Height and Distance* (HD), *Two Point Height* (TPH e TPH2) e *Tree Meter* (TM) utilizando o *smartphone* MOTO G5. Para análise dos dados foi aplicado o teste F ($\alpha = 0,05$), e havendo diferença significativa, foi aplicado o teste de média de Dunnett ($\alpha = 0,05$) e análise dos coeficientes de variação (CV%) das alturas para todos os aplicativos utilizados. Em seguida, realizou-se a análise gráfica das diferenças e os parâmetros estatísticos vies (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD), finalizando com o índice de desempenho (c). Conclui-se que os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH) apresentam maior precisão e exatidão na mensuração da altura total das árvores. Contudo, foi observado que o aumento da altura das árvores, reduz o desempenho dos aplicativos, principalmente utilizando o *Simple Measure* (SM) e *Height and Distance* (HD). O *Tree Meter* (TM) pode ser utilizado em árvores menores que 20 m de altura total. Os aplicativos *Measure Height* (MH e MDH) e o *Hypsometer* (HYP) apresentam baixa precisão e exatidão nas estimativas.

Palavras-chaves Desempenho, dispositivos móveis, hipsômetros.

Abstract. The objective of this study was to evaluate the precision and accuracy of *smartphone* applications for measuring the total height of trees. We measured the heights of 90 trees of different species on the campus of the Federal Rural University of Rio de Janeiro in Seropédica, equally distributed in three height classes: (1) $h \leq 11.5$ m; (2) $11.5 < h < 20$ m; and (3) $h \geq 20$ m. The heights measured by the Vertex III® hypsometer was the reference for the comparison of the tested applications: *Measure Height* (MH and MDH), *Hypsometer* (HYP), *Simple Measure* (SM), *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST), *Height and Distance* (HD), *Two Point Height* (TPH and TPH2) and *Tree Meter* (TM) using the MOTO G5 *smartphone*. For data analysis, we performed an F ($\alpha = 0,05$) test, and if there is a significant difference Dunnett's mean test ($\alpha = 0,05$) was applied, and height variation coefficients (CV%) were analyzed for all applications used. Then, we carried out the graphical analysis of the differences and the statistical parameters of Bias (V), Mean of Absolute Differences (MD), Standard Deviation of Differences (DPD), ending with the performance index (c). We concluded that the applications *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) and, *Two Point Height* (TPH) present greater precision and accuracy in the measurement of the total height of the trees. However, we observed that increasing the height of the trees, reduces the performance of the applications, mainly using the *Simple Measure* (SM) and *Height and Distance* (HD) applications. The *Tree Meter* (TM) can be used on trees smaller than 20 m in total height. *Measure Height* (MH and MDH) and *Hypsometer* (HYP) applications have low precision and accuracy in estimates.

Keywords: Performance, mobile devices, hypsometers.

Introdução

O desenvolvimento de novas tecnologias com objetivo de melhorar a mensuração da variável altura total de árvores é de grande importância para

a área florestal, principalmente buscando redução no tempo de obtenção da variável e mantendo, ou até melhorando, a precisão com menor erro causado pelo operador (Lingnau et al., 2008).

Com avanço da tecnologia, novas abordagens vêm sendo estudadas para a mensuração da altura em florestas equiâneas e inequiâneas, como exemplo, a utilização de sensores ativos e passivos (*LIDAR*, *VANT*, etc) (Ribas & Elmiro, 2013). O uso de aplicativos de *smartphone* para diferentes atividades no setor florestal também tem se tornado cada vez mais promissor.

Exemplos conhecidos são os aplicativos *Timbeter* (2013), que estima o volume em pilhas de madeiras, e o *Mata Nativa Móvel* (2016), que auxilia na coleta e organização dos dados em inventários florestais. O uso de aplicativos para obtenção da variável altura de árvores também se mostra promissor, quando se avalia os resultados de estudos realizados por Lauro et al. (2018), Curto et al. (2019) e Harfouche et al. (2019).

Para que a grande maioria dos aplicativos possa ser utilizada, é preciso que os *smartphones* possuam uma IMU (Unidade de Medição Inercial), que são compostas por sensores (acelerômetro e giroscópio), permitindo monitorar movimentos angulares e rotacionais em relação a Terra. Desta forma, é possível determinar a orientação do dispositivo móvel (Madgwick et al., 2011), para que em conjunto com modelos matemáticos, forneçam as estimativas desejadas.

São vários os métodos empregados para a aquisição da altura total de árvores com base nos sensores integrados às plataformas móveis. O aplicativo *Tree Meter* (TM) (Inalbyss Technologies, 2014), por exemplo, utiliza a câmera do dispositivo móvel para capturar uma imagem com um objeto de dimensões conhecidas e o indivíduo arbóreo para o qual se deseja determinar a altura. Realiza-se então a comparação entre as dimensões reais do objeto e suas dimensões no espaço-imagem para estimar a altura da árvore.

Aplicativos como *Measure Height* (MH) (Deskis OÜ, 2014) ou *Simple Measure* (SM) (Play Store, 2018), por meio de uma IMU, utilizam observações de aceleração e/ou rotação incidentes aos eixos X, Y, Z do dispositivo móvel para determinar sua inclinação em relação a Terra. Assim, os valores angulares de inclinação do dispositivo possibilitam determinar a altura do indivíduo florestal por meio de relações trigonométricas.

Nesse contexto, alguns aplicativos de *smartphone* demonstraram eficiência na predição da altura total, mas devido à alta variedade de aplicativos disponíveis e cenários de medição, é necessário buscar mais informações acerca dessas aplicações no âmbito florestal. Sendo assim, este trabalho buscou avaliar a precisão e exatidão de aplicativos de *smartphones* para a mensuração da altura total de árvores.

Métodos

Área de estudo

Os dados foram coletados na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ),

Seropédica, RJ. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Aw (Alvares et al., 2014), caracterizado como tropical úmido de savana com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação total e a temperatura média anual são de 1.274 mm e 23,7° C (Silva & Dereczynski, 2014), respectivamente. A altitude varia de 0 a 25 m e o relevo é de baixa amplitude, sendo em sua maioria plano (Gasparini et al., 2013).

Coleta de dados

A coleta de dados consistiu na mensuração da altura total de 90 árvores, de diferentes espécies, distribuídas em diferentes áreas no *campus* da UFRRJ, em que a altura mínima mensurada foi 4,6 m e a máxima 25,4 m. Esses dados foram divididos em três classes de altura: classe 1 ($h \leq 11,5$ m), classe 2 ($11,5 < h < 20$ m) e classe 3 ($h \geq 20$ m), cada uma contendo 30 indivíduos.

A operação foi realizada utilizando um tripé para apoiar o hipsômetro Vertex III®, buscando estabilizar o aparelho durante a medição e leitura dos dados. O Vertex III® permite a mensuração automática de alturas, ângulos, e distâncias por meio da emissão de sinais ultrassônicos pelo *transponder* (Campos & Leite, 2017). Sua escolha como hipsômetro referencial em comparação com os aplicativos foi devida sua alta precisão em relação a outros hipsômetros (Feliciano et al., 2016) e também pela impossibilidade da mensuração direta da altura total das árvores amostradas.

O *transponder* foi posicionado a 1,30 m do solo e fixado na árvore para realizar a medição da altura total. Além disso, obedeceu-se a uma distância mínima em relação a árvore alvo, igual a sua altura esperada visualmente ou superior. A mesma distância e posição do tripé foram mantidas para a mensuração com os aplicativos de *smartphone*.

Os aplicativos foram instalados no *smartphone* Motorola G5 (Moto G5), com câmera de 13 *megapixels*, tela de 5,0 polegadas com resolução de 1.920 x 1.080 *pixels*, sistema operacional *Android* 7.0, sensor acelerômetro de resolução 16 bits ou 0,005g e amplitude de +-156,906g, sensor giroscópio de resolução 0,061 (mV/rad/s) e amplitude 2.000 rad/s, com bateria de 2.800 mAh.

Foram avaliados oito aplicativos (Tabela 1) disponíveis na plataforma *Android*. Exceto o *Tree Meter* (TM), todos estão disponíveis para *download* gratuitamente. Devido a metodologia do aplicativo TM, foi necessário utilizar um objeto referencial com altura de 1,75 m.

O aplicativo *Measure Height* apresenta duas formas de realizar a mensuração da altura, o MDH mede a altura da árvore e a distância do operador em relação a mesma, o MH mede somente a altura, sendo necessário a inserir a informação da distância no aplicativo.

O *Two Point Height* opera da mesma forma, diferindo na utilização do *smartphone*. Para o TPH, a visualização e a mensuração da árvore são por meio da câmera fotográfica. No TPH2 a mensuração é

realizada com o aparelho na horizontal, utilizando a borda lateral para mirar o topo da árvore. No que diz respeito a distância em relação à árvore, foi utilizada a fornecida pelos aplicativos, para aqueles que foram *Aplicativos utilizados*

capazes de mensurá-la. Para os que não possuíam essa função, a distância foi mensurada utilizando uma trena.

Tabela 1: Informação dos aplicativos utilizados na mensuração da altura total das 90 árvores no *campus* da UFRRJ

Aplicativos	Ano	Fonte	Versão	Função
<i>Measure Height</i> (MDH)*	2014	<i>Deskis OÜ</i>	1.4	Distância e Altura
<i>Hypsometer</i> (HYP)*	2012	<i>Makinosoft</i>	1.11	Distância e Altura
<i>Simple Measure</i> (SM)*	-	<i>Play Store</i>	-	Distância e Altura
<i>Height and Distance</i> (HD)*	-	<i>Play Store</i>	-	Distância e Altura
<i>Smart Tools</i> (ST)*	2014	<i>PC Mehanik</i>	17.6	Distância e Altura
<i>Measure Height</i> (MH)**	2014	<i>Deskis OÜ</i>	1.4	Altura
<i>Two Point Height</i> (TPH)**	2014	<i>Omega Centauri Software</i>	0.05	Altura
<i>Two Point Height</i> (TPH2)**	2014	<i>Omega Centauri Software</i>	0.05	Altura
<i>Height Calculator</i> (HC)**	-	<i>Play Store</i>	-	Altura
<i>Tree Meter</i> (TM)***	2014	<i>Inalbyss Technologies</i>	1.2	Altura

* É necessário inserir a altura do *smartphone* em relação ao solo.

** É necessário inserir a altura do *smartphone* em relação ao solo e a distância do operador em relação a árvore.

*** Funciona por fotografia, precisa de um objeto com altura conhecida para fazer a projeção da altura da árvore.

Análise dos dados

Para avaliar a diferença entre as médias geradas pelos aplicativos em comparação com o Vertex, os dados foram submetidos ao teste F (95% de confiança). Havendo diferença significativa, foi aplicado o teste de média de Dunnett, com 95% de confiança. Além disso, também foram calculados os coeficientes de variação (CV%) das alturas para todos os aplicativos utilizados.

Em seguida, a análise gráfica das diferenças foi aplicada, em que foi subtraído os valores obtidos pelo Vertex dos valores estimados por cada aplicativo testado, buscando conferir a existência ou não de tendência nas estimativas. Em seguida, calculou-se os parâmetros estatísticos viés (V) (Equação 1), média das diferenças absolutas (MD) (Equação 2) e desvio padrão das diferenças (DPD) (Equação 3). Os resultados dos testes tiveram seus valores relativizados (%).

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad (\text{Equação 1})$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

$$DPD = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i \right)^2}{n} \right)}{n-1}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: Y_i = Altura da i -ésima árvore medida com o Vertex (m); \hat{Y}_i = Altura da i -ésima árvore medida com os aplicativos (m); \bar{Y} = média dos valores obtido por aplicativo; n = número de observações; d_i = diferença entre o valor de referência e o valor obtido por aplicativo ($Y_i - \hat{Y}_i$).

Também foram calculados o coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 4) e o índice de concordância de Willmott (1981) (d) (Equação 5). O índice de desempenho (c) permitiu avaliar a precisão e exatidão de cada aplicativo por meio da associação entre o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de concordância de Willmott ($c = r.d$).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{Y}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: X_i = Altura da i -ésima árvore medida com o Vertex (m); \bar{X} = média da altura da i -ésima árvore medida com o Vertex (m); \bar{Y} = média da altura da i -ésima árvore medida com os aplicativos (m); Y_i = Altura da i -ésima árvore medida com os aplicativos (m); n = número de observações; \hat{Y}_i = Altura da i -ésima árvore medida com os aplicativos (m); Y_i = Altura da i -ésima árvore medida com o Vertex (m); \bar{Y} = média da altura da i -ésima árvore medida com o Vertex (m).

As análises foram realizadas separadamente para cada metodologia e classe de altura, buscando verificar o desempenho dos aplicativos em diferentes estratos de altura. Os dados foram processados em planilhas do *Microsoft Office Excel 2016*®.

Resultados e discussão

Para as três classes estudadas, a média da altura estimada pelos aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH) foram estatisticamente iguais aos valores de referência (Vertex). Por outro lado, as alturas estimadas utilizando o *Measure Height* (MH e MDH) e *Hypsometer* (HYP) diferiram dos valores médios obtidos pelo Vertex e apresentaram maior variabilidade (CV%) (Tabela 2).

Diferentes estudos comprovam a eficiência do Vertex em realizar a mensuração da altura das árvores. Silva et al. (2012) encontraram médias estatisticamente iguais as alturas reais em uma floresta nativa densa com altura média de 19,7 m. Dalla Corte et al. (2016) também encontraram médias de altura estatisticamente iguais em relação a real em um plantio puro de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don., em que a altura média foi de 21,81 m.

Observou-se que os aplicativos *Simple Measure* (SM) e *Height and Distance* (HD) apresentaram altura média igual a de referência apenas na classe 1, enquanto o aplicativo TPH2 apresentou estimativas médias iguais a altura

referencial nas classes 2 e 3. Com o aplicativo TM, nas classes 1 e 2 não houve diferenças estatisticamente significativas, já na classe 3, esse aplicativo não apresentou boas estimativas.

Tabela 2. Coeficiente de variação, diferença média e valor-p ($\alpha = 0,05$) aplicando o teste de Dunnett em comparação aos valores obtidos com o Vertex e com os aplicativos testados, referentes as três classes de altura estudadas no campus da UFRRJ.

Métodos	Classe 1			Classe 2			Classe 3		
	Diferença média (m)	Valor-p	CV%	Diferença média (m)	Valor-p	CV%	Diferença média (m)	Valor-p	CV%
MDH	-3,79	0,0000*	19,81	-10,98	0,0000*	13,40	-16,51	0,0000*	13,09
HYP	4,52	0,0000*	21,34	6,14	0,0000*	31,70	10,95	0,0000*	34,68
SM	-0,53	0,6661	16,91	-8,44	0,0000*	10,39	-14,20	0,0000*	9,82
HD	-0,41	0,8753	16,42	-3,70	0,0001*	38,04	-3,93	0,0029*	26,42
ST	-0,11	1,0000	15,50	-0,34	0,9999	16,00	-0,33	1,0000	9,20
MH	-1,25	0,0081*	20,36	-3,50	0,0004*	17,19	-4,22	0,0010*	9,84
TPH	0,01	1,0000	15,09	0,07	1,0000	15,01	0,01	1,0000	7,27
TPH2	1,39	0,0023*	11,28	1,62	0,3148	20,89	2,25	0,2292	8,52
HC	0,14	1,0000	15,10	-0,51	0,9978	17,28	-0,12	1,0000	7,97
TM	0,20	0,9990	14,67	-0,89	0,9037	13,42	-4,78	0,0001*	10,29

Em que: * = diferença significativa entre as médias; CV% é o coeficiente de variação; MDH e MH são os métodos de mensuração do aplicativo *Measure Height*; HYP = *Hypsometer*; SM = *Simple Measure*; HD = *Height and Distance*; ST = *Smart Tools*; TPH e TPH2 são os métodos do aplicativo *Two Point Height*; HC = *Height Calculator* e TM = *Tree Meter*.

Os gráficos de diferença entre as estimativas obtidas pelos aplicativos e o Vertex confirmaram a maior precisão e exatidão nos aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH), em que a distribuição dos erros apresentou maior homogeneidade (Figura 1). Destaca-se que esses três aplicativos possuem formas diferentes de realizar a mensuração da altura das árvores. O *Smart Tools* (ST) utiliza a câmera fotográfica e a informação da altura do operador para medir a distância até a árvore e em seguida sua altura.

Dentre os aplicativos que permitem a mensuração da distância (MDH, HYP, SM, HD, ST), o *Smart Tools* (ST) foi o único a apresentar valores acurados nas três classes. O *Height Calculator* (HC) realiza a medida utilizando a lateral do *smartphone* na horizontal como mira, necessitando somente da informação da altura do operador e a distância que está em relação a árvore. O *Two Point Height* (TPH) além de utilizar a câmera, também precisa da altura do operador e da distância em relação à árvore.

Os gráficos demonstraram que o aplicativo *Measure Height* (MH e MDH) apresentou forte tendência de subestimar os valores de altura total para as três classes de altura, enquanto o *Hypsometer* (HYP), apresentou uma tendência evidente em superestimar. Diante disso, esses aplicativos não devem ser recomendados para a mensuração da altura total nas mesmas condições avaliadas.

O *Measure Height* (MDH) e o *Hypsometer* (HYP) não proporcionaram resultados satisfatórios pois, durante a mensuração da altura, não foram capazes de computar a distância correta em que o operador estava em relação a árvore. Para o primeiro, a distância sempre foi inferior e, no caso do segundo foi superior de forma discrepante e

aleatória. Com o *Measure Height* (MH), mesmo ao inserir a distância, a altura gerada apresentava-se inferior à altura de referência, com tendência em subestimar as alturas.

A tendência em subestimar também foi observada na classe 3 para o aplicativo *Tree Meter* (TM) e nas classes 2 e 3 para o *Simple Measure* (SM). O aplicativo *Height and Distance* (HD) também apresentou tendência em subestimar, para as três classes, porém, com menor magnitude de erros. Além do aplicativo *Hypsometer* (HYP), o *Two Point Height* (TPH2) também exibiu tendência em superestimar a altura total das árvores em todas as classes avaliadas, porém, com menor amplitude.

Lauro et al. (2018) não recomendaram a utilização do aplicativo *Measure Height* (MH), considerando que os resultados também foram tendenciosos e as estimativas geradas foram diferentes da referencial. Em um estudo realizado por Curto et al. (2019), utilizando o *smartphone* MOTO G3, com o aplicativo *Measure Height*, (MH), os resultados apresentaram-se semelhantes quanto a subestimativa das alturas mensuradas, apesar de naquela ocasião não diferirem estatisticamente dos valores obtidos com o Vertex. A diferença dos resultados quando comparado ao presente estudo, pode estar relacionada com os sensores disponíveis nos smartphones MOTO G3 e MOTO G5. O modelo MOTO G3 é composto por um acelerômetro com sensibilidade inferior ao acelerômetro presente no MOTO G5. Ocorre que a sensibilidade está diretamente relacionada a magnitude do movimento que é "percebido" pelo sensor em um dos eixos, influenciando na determinação dos ângulos de inclinação do dispositivo.

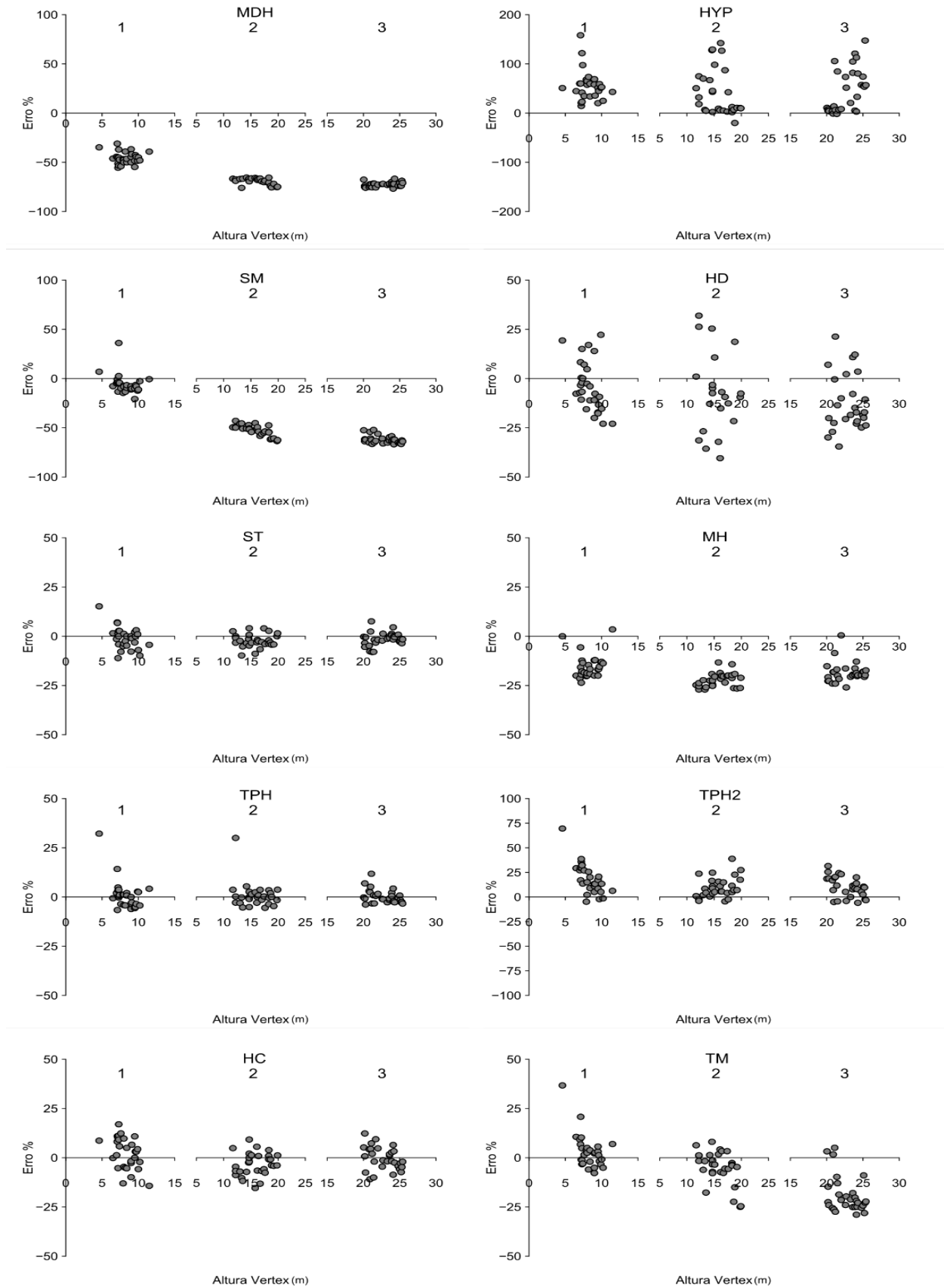


Figura 1: Gráficos da diferença das estimativas geradas pelos aplicativos em relação à altura obtida pelo Vertex III® para cada classe de altura estudada. Em que: 1 = classe 1, 2 = classe 2, 3 = classe 3, ; MDH e MH são os métodos de

mensuração do aplicativo *Measure Height*; HYP = *Hypsometer*; SM = *Simple Measure*; HD = *Height and Distance*; ST = *Smart Tools*; TPH e TPH2 são os métodos do aplicativo *Two Point Height*; HC = *Height Calculator* e TM = *Tree Meter*.

Ainda no mesmo estudo, Curto et al. (2019) recomendaram o *Hypsometer* (HYP), pois apresentou o melhor desempenho, resíduos menos tendenciosos e mais homogêneos. O referido aplicativo, no presente estudo, não apresentou resultados precisos e nem exatos. Considerando que as condições dos experimentos foram semelhantes, exceto pelo tripé para melhorar a estabilidade utilizado no presente estudo, as diferenças encontradas podem estar relacionadas ao modelo do *smartphone* e seus sensores (versão, presença ou ausência) e a diferença da altura do observador que realizou a medição.

Harfouche et al. (2019), utilizando *smartphone Samsung Galaxy S5* avaliaram diferentes aplicativos, incluindo o *Hypsometer* (HYP) e o *Height and Distance* (HD) e concluíram que os mesmos podem ser utilizados para medir alturas em

árvores isoladas. Além disso, o *Hypsometer* (HYP) também foi satisfatório para estimar alturas em povoamentos de *Eucalyptus* sp. Porém, nesse último caso não foi reportado o método de seleção das árvores e a altura média dos indivíduos, tornando assim impossível determinar em qual variação de altura os aplicativos foram eficientes.

Na Tabela 3 estão presentes os valores referentes aos parâmetros viés (V), média das diferenças (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e índice de desempenho (c) para cada classe de altura e aplicativos. Os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH), mantiveram o padrão apresentado nas análises anteriores, com melhores desempenhos e os menores erros em todas as classes, exceto HC, que teve o desempenho reduzido na classe 3.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos e índice de desempenho referentes aos aplicativos para as três classes de altura.

Classe 1						
Aplicativos	V%	MD%	DPD%	r	d	c
MDH	45,72	45,72	46,70	0,85	0,41	0,35
HYP	-54,56	54,56	60,74	0,59	0,37	0,22
SM	6,39	8,92	11,16	0,85	0,88	0,75
HD	5,00	11,76	14,59	0,65	0,78	0,50
ST	1,38	3,77	5,06	0,96	0,97	0,93
MH	15,10	15,42	16,24	0,94	0,81	0,76
TPH	-0,07	3,98	5,47	0,95	0,97	0,92
TPH2	-16,76	17,35	20,08	0,75	0,68	0,52
HC	-1,67	6,81	8,26	0,88	0,93	0,82
TM	-2,45	5,30	7,04	0,92	0,95	0,87
Classe 2						
Aplicativos	V%	MD%	DPD%	r	d	c
MDH	69,32	69,32	70,50	0,70	0,28	0,20
HYP	-38,75	40,33	50,40	0,11	0,22	0,02
SM	53,27	53,27	54,85	0,60	0,87	0,53
HD	23,38	30,14	39,04	0,12	0,38	0,05
ST	2,16	3,26	3,95	0,98	0,98	0,96
MH	22,09	22,09	22,51	0,96	0,66	0,64
TPH	-0,47	3,07	5,24	0,94	0,97	0,91
TPH2	-10,20	11,04	15,26	0,90	0,85	0,76
HC	3,19	5,13	6,41	0,94	0,96	0,91
TM	5,59	7,48	11,28	0,77	0,84	0,74
Classe 3						
Aplicativos	V%	MD%	DPD%	r	d	c
MDH	72,48	72,48	72,69	0,78	0,17	0,13
HYP	-48,05	48,22	66,71	0,69	0,22	0,15
SM	62,32	62,32	62,76	0,36	0,19	0,07
HD	17,23	20,97	25,79	0,50	0,43	0,21
ST	1,43	2,63	3,50	0,94	0,96	0,90
MH	18,52	18,55	19,17	0,81	0,50	0,40
TPH	-0,03	2,49	3,32	0,91	0,95	0,86
TPH2	-9,86	11,57	13,77	0,39	0,55	0,21
HC	0,54	4,73	5,64	0,75	0,86	0,64
TM	19,53	20,13	21,66	0,33	0,40	0,13

Em que: V% = viés; MD% = média das diferenças; DPD% = desvio padrão das diferenças; r = correlação de Pearson; d = índice de Willmott; c = índice de desempenho; MH e MDH são os métodos de mensuração do aplicativo *Measure Height*; HYP = *Hypsometer*; SM = *Simple Measure*; HC = *Height Calculator*; ST = *Smart Tools*; HD = *Height and Distance*; TPH e TPH2 são os métodos do aplicativo *Two Point Height* e TM = *Tree Meter*.

Esse melhor desempenho foi possível devido a alta correlação linear positiva e alto grau de concordância entre os valores estimados pelos aplicativos em relação aos obtidos pelo Vertex. Na última classe, o aplicativo *Height Calculator* (HC) apresentou redução principalmente da precisão de suas estimativas, não acompanhando o aumento da altura das árvores e afetando o seu desempenho.

O *Measure Height* (MDH) e o *Hypsometer* (HYP) apresentaram os resultados com menor desempenho nas três classes avaliadas. As estimativas obtidas pelo *Measure Height* (MDH), apresentaram alta correlação com as alturas mensuradas pelo Vertex, contudo com menor exatidão. Isso ocorre porque no numerador da fórmula de Willmott tem-se a diferença entre os valores estimados e observados, podendo gerar uma amplitude de variação maior, principalmente quando o aplicativo tende a superestimar ou subestimar de forma acentuada. O estimador da correlação de *Pearson* é calculado com base no grau de associação entre os valores estimados e observados, considerando a diferença em relação à média observada (valor central). Por fim, o *Hypsometer* (HYP), não resultou em parâmetros satisfatórios em nenhum dos casos por apresentar aleatoriedade nas estimativas.

Os demais aplicativos apresentaram decréscimo nos parâmetros com o avanço das classes de altura. O *Tree Meter* (TM) apresentou precisão e exatidão nas duas primeiras classes, porém, na classe 3 os valores das estatísticas paramétricas viés (19,53%), média das diferenças (20,13%) e desvio padrão das diferenças (21,66%) aumentaram e o índice de desempenho decresceu. A mudança de desempenho deste aplicativo pode estar relacionada com o seu funcionamento onde, com o auxílio de objetos de altura conhecida, a altura é projetada. Na classe 3, onde as árvores eram mais altas foi preciso tomar uma maior distância, podendo ter prejudicado a mensuração final da altura.

Segundo Bijak & Sarzynski (2015), em um estudo utilizando o aplicativo *Measure Height* (MH e MDH), o método de medição baseia-se na inclinação do *smartphone* e cálculos de tangente para determinar a altura da árvore. Assim, um pequeno desvio durante a atividade pode resultar em um erro significativo. Villasante e Fernandez (2014) informam que a calibração do *smartphone* é necessária para que os dados obtidos pelo aplicativo em conjunto com os sensores possam ser considerados ângulos e alturas corretas.

A acurácia dos aplicativos pode ser relacionada com os parâmetros de construção, o funcionamento dos sensores envolvidos, também dos modelos matemáticos empregados. Em atividades de fotogrametria, os coeficientes de distorções das lentes e outras variáveis são modeladas matematicamente, pois influenciam diretamente na obtenção de medidas quantitativas de uma imagem (Santos et al., 2013). As observações extraídas do aplicativo *Tree Meter* (TM), que é o único a mensurar a altura das árvores por meio de

fotografias, podem estar sujeitas a erros inerentes à construção das câmeras dos dispositivos móveis.

Os sensores acelerômetro e giroscópio estão sujeitos a fatores de construção como a resolução e amplitude, que descrevem o grau de sensibilidade às acelerações e rotações incidentes ao dispositivo móvel, que por sua vez são determinantes para a precisão das medidas (Choudhary & Iniewski, 2016). De maneira geral, os aplicativos avaliados que utilizam uma Unidade de Medição Inercial para determinar a inclinação do dispositivo podem apresentar estimativas distintas da medida de referência.

Outros fatores como a estabilidade do dispositivo ou efeitos de ruído e arrastamento dos sensores acelerômetro e giroscópio também podem ser minimizados proporcionando estabilidade para a plataforma de mensuração, calibração dos sensores envolvidos e utilização de modelos matemáticos durante a coleta dos dados (Oliveira & Gonçalves, 2017).

Uma aplicação viável para essa ferramenta seria a sua utilização em inventários voltados para a arborização urbana. A atividade pode ser realizada de forma mais prática pois, a visão do topo da árvore em geral não é limitada pelo espaçamento e o *smartphone* é um aparelho de fácil acesso a todos, diferente de alguns hipsômetros como o Vertex, que possui alto custo. Contudo, vale destacar que é necessário realizar outros estudos, visando analisar diferentes condições e *smartphones* com o mesmo aplicativo.

Conclusões

Os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height*, função (TPH) apresentam maior precisão e exatidão na mensuração de árvores com altura total variando de 4,6 a 25,4 m.

O aumento da altura das árvores, em geral, reduz o desempenho dos aplicativos, sendo isso mais evidente ao utilizar os aplicativos *Simple Measure* (SM) e *Height and Distance* (HD).

O *Tree Meter* (TM) pode ser utilizado em árvores com altura total de até 20 m. A partir desta altura, esse aplicativo reduz expressivamente a precisão e exatidão nas estimativas nas condições desse estudo.

Os aplicativos *Measure Height* (MH e MDH) e o *Hypsometer* (HYP) apresentam baixa precisão e exatidão nas estimativas utilizando o *smartphone* Moto G5.

Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEC, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

BIJAK, S.; SARZYŃSKI, J. Accuracy of smartphone applications in the field measurements of tree height. *Folia Forestalia Polonica*, v.57, n.4, p.240-244, 2015. DOI: 10.1515/ffp-2015-0025

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. UFV, 2017. 636 p.

CHOUDHARY, V.; INIEWSKI, K. Mems: fundamental technology and applications. CRC Press, 2016.

CURTO, R. D. A.; DEECKEN, B. P.; KOHLER, S. V.; BIAZATTI, S. C.; ARAÚJO, E. J. G.; WINK, C.; MORA, R. Operacionalidade de aplicativos de *smartphone* para mensuração de altura de árvores em região de ecótono Cerrado-Amazônia. *Nativa*, v. 7, n. 2, p. 218-225, 2019. DOI: 10.314113/nativa.v7i2.6310

DALLA CORTE A. P.; SANQUETTA C. R.; OLIVEIRA K. A.; BEHLING A.; COUTINHO V. M. 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 p: 432-441, 2016. DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_038

DESKIS OÜ, Measure Height. Versão 1.4. Aplicativo, 2014. <https://play.google.com/store/apps/details?id=ee.deskis.android.height>

FELICIANO, M. E.; RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; VITOR, P. C. G. Avaliação de diferentes hipsômetros na estimativa da altura total Assessing different hypsometers to estimate total height. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 2, p. 1-5, 2016. DOI:10.18378/rvads.v11i2.3741

GASPARINI, K. A.; LYRA, G. B.; FRANCELINO, M. R.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; FACCO, A. G. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 3, p. 296-306, 2013. DOI: 10.4322/floram.2013.030

HARFOUCHE, T. B.; DALLA CORTE, A. P.; RUZA, M.; BEHLING, A. Uso de Aplicativos em Smartphone para Medições de Árvores. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 4, n. 1, p. 7-15, 2019. DOI: 10.5380/biofix.v4i1.62532

INALBYSS TECHNOLOGIES, Tree Meter. Versão 1.2. Aplicativo, 2014. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.inalbyss.android.treemeter>

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. DOI: 10.34062/afs.v5i4.6166

LINGNAU, C.; SILVA, M. N.; SANTOS, D. S.; MACHADO, A.; LIMA, J. G. S. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre individual tree height mensuration with laser terrestrial data. *Ambiência*, v. 4, n. 4, p. 85-96, 2008. <https://revistas.unicentro.br/index/index.php/ambiencia/article/view/275>

MADGWICK, S. O. H.; HARRISON, A. J. L.; VAIDYANATHAN, R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm. In: 2011 IEEE international conference on rehabilitation robotics. IEEE, 2011. p. 1-7. DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975346
MAKINOSOFT, Hypsometer. Versão 1.11. Aplicativo, 2012. <https://play.google.com/store/apps/details?id=makin.o.android.hypsometer>

OLIVEIRA, S. W.; GONÇALVES, E. N. Implementação em c: filtro de kalman, fusão de sensores para determinação de ângulos. *ForScience*, v. 5, n. 3, 2017. DOI: 10.29069/forscience.2017v5n3.e287

OMEGA CENTAURI SOFTWARE, Two Point Height. Versão 0.05. Aplicativo, 2014. <https://play.google.com/store/apps/details?id=mobi.omegacentauri.twopoint>

PC MEHANI, Smart Tools. Versão 17.6. Aplicativo, 2014. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pcmeh.anik.smarttoolkit>

PLAYSTORE. Aplicativos. 2019. https://play.google.com/store/apps?hl=pt_BR

RIBAS, P. R.; ELMIRO, M. A. T. Individualização de árvores em ambiente florestal nativo utilizando métodos de segmentação em modelos digitais produzidos a partir da tecnologia LIDAR. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 65, n. 4, 2013. <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43856>

SANTOS, K. A.; DI MOZART, V. P.; CÔRTEZ, J. B. R. Geração de imagens corrigidas das distorções das lentes a partir dos parâmetros de calibração da câmera. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR., p. 2077-2082., 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. *Revista Árvore*, 36, p: 341-348. 2012. DOI: 10.1590/s0100-6762202000200015

SILVA, W. L.; DEREZCZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014. DOI: 10.11137/2014_2_123_138

VILLASANTE A; FERNANDEZ C. Measurement errors in the use of smartphones as low-cost forestry hypsometers. *Silva Fennica*, 48 no. 5 article id 1114. 11 p.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v. 2, n. 2, p. 184- 194, 1981.