



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**JULIA MARTINS DIAS DE OLIVEIRA**

**APLICATIVOS DE *SMARTPHONE* PARA MENSURAÇÃO DA ALTURA TOTAL  
DE ÁRVORES**

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**JULIA MARTINS DIAS DE OLIVEIRA**

**APLICATIVOS DE *SMARTPHONE* PARA MENSURAÇÃO DA ALTURA TOTAL  
DE ÁRVORES**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
NOVEMBRO – 20019

**APLICATIVOS DE *SMARTPHONE* PARA MENSURAÇÃO DA ALTURA TOTAL  
DE ÁRVORES**

**JULIA MARTINS DIAS DE OLIVEIRA**

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. EMANUEL JOSÉ GOMES DE ARAÚJO – UFRRJ  
Orientador

---

Prof. Dr. MARCO ANTONIO MONTE – UFRRJ  
Membro

---

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA – UFRRJ  
Membro

## DEDICATÓRIA

A minha família, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem Ele nada disso seria possível.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por fornecer ensino de qualidade e ser minha segunda casa durante esses cinco anos de graduação.

Ao meu orientador, Professor Emanuel José Gomes de Araújo, por ter sugerido e incentivado o tema dessa monografia, por toda paciência, dedicação, ensinamentos e experiências proporcionadas desde a disciplina de Dendrometria.

Aos membros da banca, Professor Marco Antonio Monte e Professor Bruno Araujo Furtado de Mendonça, pela contribuição na realização desse trabalho.

À todos os meus professores ao longo desses cinco anos de Rural, que contribuíram com minha formação.

Aos meus pais e demais familiares, que sempre incentivaram meus estudos, dando todo apoio necessário para a realização dos meus objetivos.

Ao meu irmão, pela paciência e sempre estando disposto a tirar minhas dúvidas, além de ter contribuído para esse trabalho desenvolvendo o aplicativo Tree Vision.

Aos meus amigos desde a infância e do CTUR, João Pedro, Miguel, Mayara, Bruno e Marcella.

Aos meus amigos da UFRRJ, Thaís, Junilha, Isabelle, Mariana, Gabriela, Layla, Carolina e Thiago por todos os momentos compartilhados.

À equipe do LAMFLOR, composta pela Julyana, Stephany, Laís, Felipe, Karla, Natália, Miryelle e Ana, pelo companheirismo e ensinamentos ao longo desses períodos, em especial, ao Pedro e Danilo por sempre estarem dispostos a tirar minhas dúvidas e ensinar coisas novas, e ao Lucas e Vinícius por serem pacientes e ajudarem na coleta dos dados para que esse trabalho se tornasse possível.

## RESUMO

Tendo em vista a grande importância da variável altura na mensuração florestal e dificuldade para obtenção da mesma, o uso de novas tecnologias mostra –se promissor. Diante disso o objetivo desse estudo foi avaliar a precisão e exatidão o de aplicativos de *smartphones* para a mensuração da altura total de árvores. Foram mensuradas a altura de 90 árvores no *campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, distribuídas igualmente em três classes de altura, classe 1 ( $\leq 11,5$  m), classe 2 ( $11,5 < h < 20$  m) e classe 3 ( $\geq 20$  m). As alturas medidas pelo hipsômetro vertex foram considerados os valores paramétricos para serem comparados com os aplicativos testados: *Measure Height* (MH e MDH), *Hypsometer* (HYP), *Simple Measure* (SM), *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) *Hight and Distance* (HD), *Two Point Height* (TPH e TPH2) e *Tree Meter* (TM). Para análise dos dados foram realizadas a avaliação das médias, desvio padrão e coeficiente de variação. Em seguida a análise gráfica das diferenças para verificar a tendência nas estimativas e os parâmetros estatísticos viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD). O índice de desempenho (c) foi obtido através da associação entre a correlação de Pearson (r) e índice de concordância de Willmott (d). Conclui-se que, os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH) são aplicativos que apresentam precisão e exatidão nas medidas realizadas, podendo ser utilizados na mensuração da altura total de árvores. Destacando o aplicativo ST que apresentou os melhores resultados entre os três. O *Tree Meter* (T.M) pode ser utilizado em árvores da classe 1 e 2. Os demais aplicativos não são aconselhados, considerando que respondem de maneira ineficiente nas análises realizadas.

**Palavras-chave:** Sensores; Hipsômetros; Dispositivos móveis; Desempenho; Mensuração florestal

## ABSTRACT

Given the great importance of the variable height in forest measurement and difficulty in obtaining it, the use of new technologies is promising. Therefore, the objective of this study was to evaluate the accuracy and precision of smartphone applications for measuring total tree height. The height of 90 trees was measured on the campus of the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, distributed equally in three height classes, class 1 ( $\leq 11.5$  m), class 2 ( $11.5 < h < 20$  m) and class 3 ( $\geq 20$  m). The heights measured by vertex hypsometer were considered the parametric values to be compared with the tested applications: Measure Height (MH and MDH), Hypsometer (HYP), Simple Measure (SM), Height Calculator (HC), Smart Tools (ST) Hight and Distance (HD), Two Point Height (TPH and TPH2) and Tree Meter (TM). For data analysis, the means, standard deviation and coefficient of variation were evaluated. Then the graphical analysis of the differences to verify the trend in the estimates and the statistical parameters bias (V), mean absolute differences (MD) and standard deviation of the differences (DPD). The performance index (c) was obtained through the association between Pearson correlation (r) and Willmott agreement index (d). It can be concluded that the Height Calculator (HC), Smart Tools (ST) and Two Ponit Height (TPH) applications are applications that present precision and accuracy in the measurements made and can be used to measure the total tree height. Highlighting the ST app that presented the best results among the three. The Tree Meter (T.M) can be used on class 1 and 2 trees. Other applications are not advised, as they respond inefficiently in the analyzes performed.

**Keywords:** Sensors; Hypsometers; Mobile devices; Performance; Forest Measurement

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 Variável altura.....	2
2.2 Instrumentos para mensuração da altura.....	2
2.3 Aplicativos .....	3
2.3.1 <i>Measure Height</i> (MH e MDH) versão 1.4 .....	3
2.3.2 <i>Hypsometer</i> (HYP) versão 1.11 .....	3
2.3.3 <i>Simple Measure</i> (SM) versão .....	3
2.3.4 <i>Height and Distance</i> (HD).....	4
2.3.5 <i>Smart Tools</i> (ST) versão 17.6.....	4
2.3.6 <i>Two Point Height</i> (TPH e TPH2) versão0.05 .....	4
2.3.7 <i>Height Calculator</i> (HC) versão .....	4
2.3.8 <i>Tree Meter</i> (TM) versão 1.2.....	4
2.4 Sensores .....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 Área de estudo.....	5
3.2 Coleta de dados .....	5
3.4 Análise dos dados .....	7
4. RESULTADOS .....	8
5. DISCUSSÃO .....	12
6. CONCLUSÕES .....	13
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
8.1 ANEXO – COMO UTILIZAR OS APLICATIVOS .....	17



## LISTA DE TABELAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabela 1</b> Aplicativos utilizados para mensuração da altura total de árvores.....	<b>6</b>
<b>Tabela 2.</b> Análise das estatísticas média e coeficiente de variação e para o Vertex e os aplicativos referentes as três classes de altura estudadas.....	<b>8</b>
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros estatísticos e índice de desempenho referentes aos aplicativos para as três classes de altura.....	<b>12</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.</b> Distribuição das árvores amostradas em três áreas diferentes na UFRRJ.....	<b>6</b>
<b>Figura 2.</b> Média das alturas e desvio padrão dos indivíduos arbóreos por classe de altura e método utilizado para os melhores aplicativos e o Vertex.....	<b>9</b>
<b>Figura 3.</b> Gráficos da diferença das estimativas geradas pelos aplicativos em relação à altura fornecida pelo Vertex para cada classe de altura estudada. Em que: MH e MDH são os métodos de mensuração do aplicativo <i>Measure Height</i> ; HYP = <i>Hypsometer</i> ; SM = <i>Simple Measure</i> ; HC = <i>Height Calculator</i> ; ST = <i>Smart Tools</i> ; HD = <i>Height and Distance</i> ; TPH e TPH2 são os métodos do aplicativo <i>Two Point Height</i> e TM = <i>Tree Meter</i> .....	<b>9</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A altura é uma variável de grande importância na mensuração florestal. Em florestas nativas auxilia na classificação da estrutura vertical da mesma (SILVA et al., 2012). Em florestas plantadas é utilizada na classificação da capacidade produtiva e para a realização de análises visando um melhor retorno econômico (BINOTI et al., 2013).

Entretanto, a atividade para obtenção dessa variável possui um elevado custo, devido as dificuldades relacionadas a mensuração e pelos erros que podem ser adquiridos durante esse processo (ARAÚJO et al., 2012). Além disso, os custos relacionados aos equipamentos para realizar tal atividade também são elevados, devido a precisão que fornecem ao realizar as medições (SILVA, 2018). Então, mesmo sendo eficientes, o preço limita sua utilização em maior escala.

Em florestas inequiâneas a estimativa da altura utilizando hipsômetros como o Vertex, Blume Leiss, Haglof e até mesmo a vara hipsométrica são muito trabalhosas, pois nesses casos são necessários tomar distância das árvores para a utilização correta dos aparelhos, porém ao tomar essa distância a visualização da copa alvo torna-se praticamente impossível (CURTO et al., 2013). Em florestas equiâneas é comum medir somente a altura de alguns indivíduos e realizar a estimativa dos demais por meio da relação hipsométrica (SCOLFORO, 2005).

O desenvolvimento de novas metodologias, com o objetivo de melhorar a obtenção dessa variável, buscando redução no tempo das atividades, mantendo ou até melhorando a precisão e com o menor erro causados pelo operador, são de grande importância para a área florestal (LINGNAU et al., 2008). Com avanço da tecnologia, novas abordagens vêm sendo estudadas para serem aplicadas na mensuração florestal, como exemplo pode-se ter o uso do sensoriamento remoto (RIBAS; ELMIRO, 2013) para mensuração da altura utilizando tecnologias como o LIDAR e o VANT em florestas nativas e plantadas. Entretanto são métodos onerosos devido ao custo relacionado com a quantidade e qualidade dos voos realizados para adquirir os dados (CUESTA et al., 2009).

Com a facilidade de pessoas possuírem um *smartphone*, o uso de aplicativos para diferentes atividades no setor florestal tem se tornado cada vez mais promissor, exemplos conhecidos são os aplicativos Timbeter, (2013) que tem como principal objetivo calcular o volume em pilhas de madeiras e o Mata Nativa Móvel, (2016) que funciona como uma planilha de campo eletrônica, auxiliando na coleta e organização dos dados em inventários florestais.

A utilização desses aplicativos para obtenção da variável altura também é possível. Silva, (2018) e Brito Neto et al. (2016) não encontraram diferença estatística significativa quando utilizaram o aplicativo MOTI em comparação com o Haglof e *Smart Measure* comparado aos hipsômetros Suunto, Haglof e Vertex IV respectivamente. Além disso, a obtenção da altura por métodos e tecnologias que melhorem a qualidade e exatidão das estimativas, são de grande importância para um melhor aproveitamento dos dados em futuras aplicações (LAURO et al., 2018).

Porém, para que os aplicativos possam ser utilizados é preciso que os *smartphones* possuam um IMU (Unidade de Medição Inercial) composto por sensores como, o acelerômetro e giroscópio, estes são capazes de monitorar movimentos angulares e rotacionais em relação a Terra, tornando possível determinar a orientação do dispositivo móvel (MADGWICK; HARRISON; VAIDYANATHAN, 2011), para que em conjunto com modelos matemáticos forneçam as estimativas desejadas.

Com a crescente utilização dessa nova tecnologia no setor florestal e dos resultados satisfatórios apresentados nos estudos acima, acredita-se que os aplicativos possam ser eficientes na mensuração da altura total das árvores. O objetivo desse estudo foi avaliar a precisão e exatidão dos aplicativos de *smartphones* para a mensuração da altura total de árvores.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Variável altura

A altura total das árvores que compõem uma floresta, auxilia no conhecimento e análise da estrutura vertical de florestas inequidistantes, objetivando estudos fitossociológicos ou aplicação de manejo florestal (SOUZA et al., 2003). Em povoamentos florestais puros, auxiliam na classificação de sítios baseados no crescimento de árvores, considerando altura média das árvores do povoamento ou ainda altura das árvores dominantes (MACHADO et al., 1997).

Existem métodos diretos e indiretos para obtenção da variável altura, considerando a falta de praticidade na utilização da medição direta, são utilizados instrumentos que possibilitem sua medição indiretamente. Por conta disso, é uma variável que está mais sujeita a erros do que o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) por exemplo (COUTO; BATISTA; RODRIGUES, 1989). Esses erros podem ser classificados em erros operacionais causados pela operação inadequada dos instrumentos de mensuração; erros aleatórios que ocorrem em diferentes sentidos, não podendo ser relacionados a causas conhecidas e tendem a se neutralizar com o aumento do número de observações e os erros sistemáticos, que estão associados à metodologia de mensuração e podem ser corrigidos por meio de modelagem matemática ou técnicas de observação em campo (GEMAEL; MACHADO; WANDRESEN, 2015).

Obter a altura de árvores em povoamentos florestais é uma tarefa que gera alto custo, visto que comparada a obtenção do diâmetro, os processos para sua mensuração não são simples (MENDONÇA; CARVALHO; CALEGARIO, 2015). Por isso, é comumente aplicada a relação hipsométrica, onde a altura dos indivíduos é estimada por meio da relação entre a altura obtida de algumas árvores representativas e o diâmetro a 1,30 m do solo (SCOLFORO, 2005). Em florestas nativas obter a altura é ainda mais complicado devido ao espaçamento reduzido entre as árvores e dossel elevado, dificultando a visualização da copa (SOARES et al., 2011), trata-se de uma atividade complexa, por causa das dificuldades inerentes ao ambiente e dos processos a serem realizados buscando qualidade dos dados (GONÇALVES; VAN ELDIK; POKORNY, 2009).

### 2.2 Instrumentos para mensuração da altura

Os hipsômetros são os instrumentos comuns utilizados para mensuração de árvores em pé, muitos deles são baseados em princípios trigonométricos como por exemplo o Haga, Blume Leiss e Clinômetro Suunto. Entretanto, além deles também existem aqueles hipsômetros fundamentados em sistemas eletrônicos que utilizam ondas sonoras como o Vertex, e raio laser como o Criterion 400. (GONÇALVES; VAN ELDIK; POKORNY, 2009).

O hipsômetro Vertex III é um instrumento que em conjunto com o transponder é capaz de medir alturas, ângulos e distâncias. Com a emissão de sinais ultrassônicos é possível saber a distância exata em que o Vertex se encontra do transponder que é fixado na árvore, a partir disso a altura é calculada trigonometricamente com o auxílio do ângulo (BARREIRO; TOMÉ, 2005). Feliciano et al. (2016) encontraram resultados que comprovam a alta precisão do Vertex quando comparado aos hipsômetros Haga, TruPulse Blume Leiss, Suunto e Relascópio.

O Criterion 400 é um aparelho eletrônico que pode ser utilizado para medir distância, altura e o diâmetro das árvores por meio do laser que reflete na superfície da árvore e volta para o equipamento. A altura é mensurada por meio de visadas no topo e base da árvore, que em conjunto com os ângulos e por meio trigonométrico calculará a altura (FREITAS; WICHERT, 1998).

Os hipsômetros trigonométricos em grande parte são importados e possuem custo elevado, assim quando um equipamento desses não pode ser utilizado e buscando por redução dos custos e facilidade de utilização, os hipsômetros baseados em princípios geométricos

tornam-se uma opção viável, alguns deles são: prancheta dendrométrica, superposição de ângulos e hipsômetro de Christen (ANDRADE et al., 2016).

Outra forma de mensurar a altura das árvores é por meio das régua retrateis, porém, essas apesar de fornecerem a altura real do indivíduo, possuem características negativas que limitam sua escolha para utilização, como por exemplo serem pesadas e pouco compactas, sendo preciso um certo esforço do operador na locomoção pela floresta e na realização da medição (CURTO et al., 2013).

Os aplicativos para *smartphone* nos últimos anos tem se tornado cada vez mais uma realidade na mensuração da altura de árvores, com diversas pesquisas avaliando seus resultados (BRITO NETO, 2016; SILVA, 2018; LAURO et al., 2018; CURTO et al., 2019; HARFOUCHE et al., 2019). O aplicativo *Measure Height* desenvolvido pela empresa Deskis OÜ (2014) é um aplicativo que foi desenvolvido objetivando essa prática.

## 2.3 Aplicativos

### 2.3.1 *Measure Height* (MH e MDH) versão 1.4

É um aplicativo desenvolvido pela empresa *Deskis OÜ* em 2014 que possui dois métodos para medir a altura total das árvores. No canto superior direito da tela principal é possível fazer a configuração da altura que o *smartphone* em relação ao solo, acessar um manual do aplicativo e calibrar a angulação do mesmo.

Novamente na tela inicial, temos as duas opções de medição destacadas. *Measure Height only*” (MH), onde é preciso inserir a informação da distância do operador em relação a árvore para em seguida mirar no topo da mesma para que a medida da altura seja realizada. Na segunda opção “*Measure Distance and Height*” (MDH) é possível mensurar a distância que o operador está em relação a árvore e, em seguida com esse valor medir a altura da mesma. Para isso deve-se mirar na base e depois no topo do indivíduo (DESKIS OÜ, 2014).

### 2.3.2 *Hypsometer* (HYP) versão 1.11

É um aplicativo desenvolvido em 2012 pela empresa *Makinsoft*, capaz de medir a altura total das árvores com o auxílio da distância que o operador se encontra em relação a mesma. O botão no canto superior direito na tela inicial do aplicativo permite fazer a configuração da altura em que o *smartphone* está em relação ao solo em cm e visualizar um pequeno manual de instrução.

Com o aparelho posicionado na horizontal, deve-se mirar na base da árvore e ao clicar no botão “Distância” essa variável seja mensurada, em seguida no topo para medir a altura (no caso da altura, não existe um botão para confirmar a função). Para que uma nova medição seja realizada, basta clicar no botão “reset” (MAKINOSOFT, 2012).

### 2.3.3 *Simple Measure* (SM)

É um aplicativo que pode medir a altura de árvores com o auxílio da distância que o operador se encontra em relação a mesma. Primeiramente é preciso que ambos (árvore e operador) estejam no mesmo nível de terreno, em seguida deve-se calibrar na barra localizada na parte inferior da tela a altura que o *smartphone* se encontra em relação ao solo.

Para medir a distância, deve-se posicionar a linha vermelha localizada no centro da tela na base da árvore e apertar o botão na base. Em seguida fixar a mesma linha no topo da copa para medir a altura (PLAY STORE, 2018).

### **2.3.4 Height and Distance (HD)**

É um aplicativo capaz de medir distância e altura sem o auxílio da câmera fotográfica. Com o *smartphone* na horizontal, na tela inicial são apresentadas as opções “*check height*” e “*check distance*”, em ambas é preciso inserir a altura que o *smartphone* está posicionado em relação ao solo.

Para a mensuração ser realizada o operador deve olhar sobre a borda lateral do aparelho para detectar os alvos. Deve-se mirar na base da árvore e aperta o botão “*aim here*” para que a distância seja mensurada. Para a altura, deve-se repetir o processo anterior e em seguida mirar no topo da copa apertando “*aim here*” para conhecer a altura (PLAY STORE, 2018).

### **2.3.5 Smart Tools (ST) versão 17.6**

Aplicativo desenvolvido pelo *PC Mehanik* em 2014 que possui 38 ferramentas de fácil utilização, como: régua, nível, localização, bussola, conversor, entre outros. Para medir a altura e a distância deve-se selecionar a ferramenta “Distância”, manter o *smartphone* na posição vertical.

Com a opção selecionada, na parte superior da tela é possível fazer a calibração da angulação do aplicativo e configurar as unidades de medida. Em seguida é preciso informar a altura que o *smartphone* se encontra em relação ao solo para realizar a mensuração. Primeiramente, a cruzeta no centro da tela deve estar posicionada na base da árvore, onde ao apertar o botão “ok” a distância é medida, depois a mesma cruzeta precisa ser mirada no topo da árvore para que a altura seja mensurada (PC MEHANIK, 2014).

### **2.3.6 Two Point Height (TPH e TPH2) versão 0.05**

Aplicativo desenvolvido pela *Omega Centauri Software* em 2014 para medir altura. Possui dois métodos de utilização. No primeiro (TPH) o aparelho deve estar na vertical e a câmera fotográfica ativada, a cruzeta no centro da tela deve ser posicionada na base da árvore e no topo da mesma. Na tela seguinte deve-se inserir as informações de altura do *smartphone* em relação ao solo e a distância do mesmo em relação a árvore. Como resultado terá a altura.

No segundo método (TPH2) o posicionamento do aparelho deve ser na horizontal e sem o auxílio da câmera. A visada deve ser realizada por cima da borda lateral do *smartphone* mirando na base da árvore e clicando na tela, depois mirar no topo e dar um segundo clique. Na próxima tela é preciso completar com as mesmas informações da primeira metodologia para que a altura possa ser calculada (OMEGA CENTAURI SOFTWARE, 2014).

### **2.3.7 Height Calculator (HC)**

Um aplicativo que pode ser utilizado para medir a altura das árvores, esse também não utiliza câmera fotográfica. Para que a mensuração possa ser realizada, é preciso acrescentar no canto superior esquerdo da tela a altura que o *smartphone* em relação ao solo e a distância que o mesmo se encontra em relação a árvore.

Com o *smartphone* posicionado na horizontal o operador deve observar pela borda lateral do aparelho o topo da árvore e clicar na tela para confirmar a medição (PLAY STORE, 2018).

### **2.3.8 Tree Meter (TM) versão 1.2**

É um aplicativo desenvolvido pela Inalbyss Technologies em 2014 para medir a altura das árvores. Para isso é necessário utilizar um objeto de referência com altura conhecida, que o *smartphone* esteja posicionado na vertical e que a câmera fotográfica esteja ativa. A medição é

realizada por meio de uma fotografia, onde é necessário ajustar marcadores na base e topo do objeto de referência e da árvore, em seguida informar a altura da referência. O valor da altura aparecerá na tela (INALBYSS TECHNOLOGIES, 2014).

## 2.4 Sensores

Uma Unidade de Medição Inercial (da sigla em inglês IMU) é um conjunto de sensores que associados à uma plataforma móvel tem por objetivo a mensuração de sua velocidade, força gravitacional e determinação de sua orientação. Esta tecnologia teve sua primeira utilização nos anos 1930 onde era principalmente aplicada para a navegação de aeronaves e orientação de grandes dispositivos (AHMAD; GHAZILLA; KHAIRI, 2013). Hoje, é possível a utilização de Unidades de Medição Inercial de baixo custo e com precisões relativamente boas graças aos avanços tecnológicos na construção de Sistemas Micro eletromecânicos (do inglês Micro-Electro-Mechanical Systems MEMS).

Uma IMU é composta por dois diferentes sensores: acelerômetro e giroscópio. Essencialmente, acelerômetros associados fornecem observações da força resultante não gravitacional que incide sobre cada um dos eixos (X, Y, Z) do referencial de uma plataforma móvel. Já os giroscópios possibilitam a obtenção de medidas da taxa de rotação dos eixos X, Y e Z da plataforma em relação aos eixos X, Y e Z de um referencial inercial. (MORI, 2013).

Esta tecnologia pode ser encontrada hoje em smartphones, robôs, veículos autônomos ou aeronaves. Possui como principal aplicação a determinação da orientação de uma plataforma, porém, suas aplicações indiretas são inúmeras indo desde a navegação até a fotogrametria e visão computacional (LIMA, 2005).

Entende-se por navegação a execução de uma viagem entre dois pontos de coordenadas distintas. Navegação inercial é um tipo específico de navegação que se utiliza de informações fornecidas pelos sensores acelerômetros e giroscópios de uma IMU para determinação da orientação de um corpo em relação a um sistema de coordenadas (SANTANA, 2011).

Fotogrametria Aérea é uma técnica utilizada para obtenção de medidas tridimensionais de um espaço objeto através de uma série de fotografias obtidas de uma câmera associada a uma plataforma de voo. Para tanto, os sensores de uma IMU e receptores GNSS são integrados para observação do não alinhamento entre o plano de informação da câmera e da plataforma de voo a qual está associada. O não alinhamento é então utilizado para correção dos erros sistemáticos das medidas tridimensionais obtidas (PINTO; FORLANI, 2002).

Em ambas aplicações citadas anteriormente, os sensores inerciais atuam fornecendo informações angulares a respeito da inclinação entre diferentes referenciais. As ferramentas (aplicativos) analisados neste trabalho utilizam destas tecnologias para realizar observações angulares e extrair medidas indiretas de altura dos indivíduos florestais.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de estudo

A coleta de dados foi realizada 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; DEREZYSKI, 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).

### 3.2 Coleta de dados

A coleta de dados consistiu na mensuração da altura total de 90 árvores distribuídas em diferentes áreas do campus da UFRRJ, buscando contemplar três classes de altura, classe 1 ( $\leq$

11,5 m), classe 2 ( $11,5 < h < 20$  m) e classe 3 ( $\geq 20$  m) cada uma contendo 30 indivíduos (Figura 1).

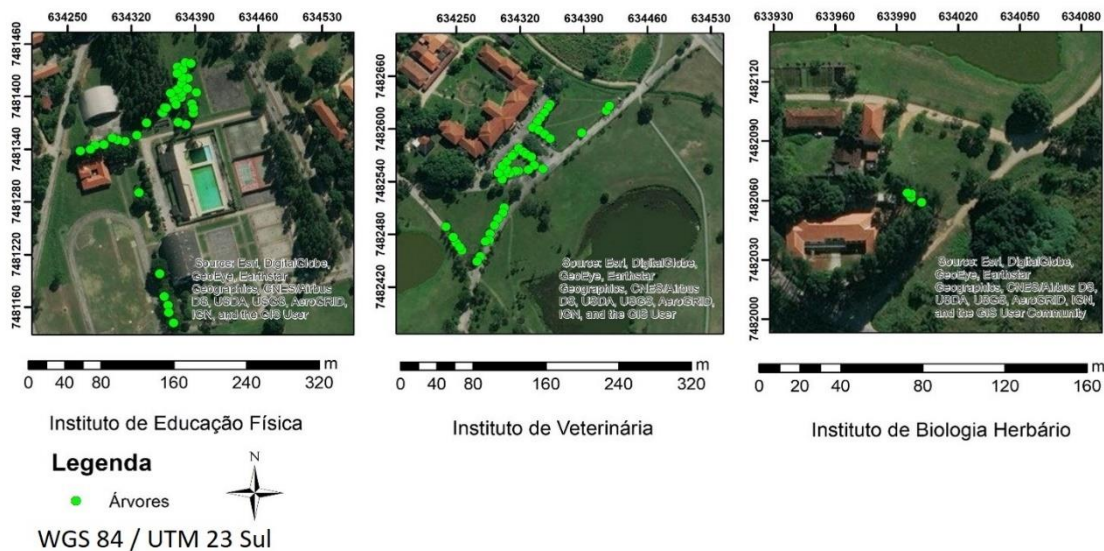


Figura 1: Distribuição das árvores amostradas em três áreas diferentes na UFRRJ.

A atividade foi realizada utilizando um tripé para apoiar o *smartphone* e o Vertex, buscando estabilizar os aparelhos durante a medição e leitura dos dados. O Vertex foi escolhido como valor referencial para comparação com os aplicativos, devido sua alta precisão e a impossibilidade da mensuração direta da altura total da árvore. O transponder foi posicionado a 1,30 m do solo e fixado em frente à árvore para realizar a medição de altura total, além disso a distância mínima arbitrária de acordo com a altura esperada ou superior de cada árvore adotada para o Vertex, foi mantida para os outros métodos utilizados.

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, sensores (acelerômetro e giroscópio) e bateria de 2.800 mAh.

Para medir a altura total (Ht), além do Hipsômetro Vertex III foram utilizados oito aplicativos para *smartphone* pertencentes ao sistema Android: *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).

Para todos os aplicativos a altura do *smartphone* em relação ao solo foi de 1,40 m. Contudo, para o aplicativo TM foi necessário utilizar um objeto referencial de altura conhecida 1,75 m.

### 3.3 Aplicativos

Tabela 1: Aplicativos utilizados para mensuração da altura total de árvores.

App	Ano	Fabricante	Versão	Custo	Posição do Smartphone	Sensores
Mede distância e altura (Necessário: altura do smartphone em relação ao solo)						
<i>Measure Height</i> (MDH)	2014	<i>Deskis OÜ</i>	1.4	Gratuito	Vertical	Câmera + sensores
<i>Hypsometer</i> (HYP)	2012	<i>Makinosoft</i>	1.11	Gratuito	Horizontal	Câmera + sensores



<i>Simple Measure (SM)</i>	-	-	-	Gratuito	Vertical	Câmera + sensores
<i>Height and Distance (HD)</i>	-	-	-	Gratuito	Horizontal	Sensores
<i>Smart Tools (ST)</i>	2014	<i>PC Mehanik</i>	17.6	Gratuito	Vertical	Câmera + sensores
Mede altura (Necessário: altura do smartphone em relação ao solo e distância do operador em relação a árvore)						
<i>Measure Height (MH)</i>	2014	<i>Deskis OÜ</i>	1.4	Gratuito	Vertical	Câmera + sensores
<i>Two Point Height (TPH)</i>	2014	<i>Omega Centauri Software</i>	0.05	Gratuito	Vertical	Câmera + sensores
<i>Two Point Height (TPH2)</i>	2014	<i>Omega Centauri Software</i>	0.05	Gratuito	Horizontal	Sensores
<i>Height Calculator (HC)</i>		-	-	Gratuito	Horizontal	Sensores
<i>Tree Meter (TM)</i>	2014	<i>Inalbyss Technologies</i>	1.2	R\$ 4,00	Vertical	Câmera

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

### 3.4 Análise dos dados

Foi realizada a análise das médias, desvio padrão ( $\delta$ ) e coeficiente de variação (CV%) das alturas, buscando fazer um comparativo entre o valor referencial (Vertex) e os de altura gerados pelos aplicativos e seus métodos, para verificar a existência de médias diferentes entre eles.

A análise gráfica das diferenças foi utilizada para conferir se existe tendência nas estimativas. Além disso, foram calculados os parâmetros estatísticos viés (V) (Equação 1), média das diferenças absolutas (MD) (Equação 2), desvio padrão das diferenças (DPD) (Equação 3), coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 4) e o índice de concordância de Willmott (d) (Equação 5).

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

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

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

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

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

Em que:  $r$  = índice de correlação de Pearson;  $d$  = índice de concordância de Willmott;  $X_i = i$ -ésimo valor observado;  $\bar{X}$  = média dos valores observados;  $Y_i = i$ -ésimo valores observados de ambas as variáveis;  $\hat{Y}_i = i$ -ésimo valor estimado;  $\bar{Y}$  = média dos valores observados de ambas as variáveis;  $n$  = número de observações;  $di = (Y_i - \hat{Y}_i)$ .

O índice de desempenho ( $c$ ) avaliou a confiança das estimativas considerando a precisão e exatidão de cada aplicativo através da associação entre o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de concordância de Willmott ( $c = r.d$ ), permitindo classificar o desempenho em péssimo ( $0 \leq c \leq 0,20$ ), ruim ( $0,20 < c \leq 0,40$ ), regular ( $0,40 < c \leq 0,60$ ), bom ( $0,60 < c \leq 0,80$ ) e ótimo ( $0,80 < c \leq 1,0$ ).

Todas as análises acima foram realizadas separadamente para cada classe de altura, buscando verificar a variação dos resultados ao longo do aumento da altura das árvores. O *software* utilizado foi o *Microsoft Office Excel®*.

#### 4. RESULTADOS

Na Tabela 2 estão presentes os resultados das estatísticas média e coeficiente de variação (CV%) dos aplicativos em comparação ao Vertex. Para as três classes estudadas, a altura média dos aplicativos *Measure Height* (MH e MDH) e *Hypsometer* (HYP) são as que mais diferem do Vertex em conjunto com um maior CV%. Resultado diferente foi encontrado para os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH), que são os únicos que para as três classes apresentam os valores dessas estatísticas semelhantes.

Tabela 2: Análise das estatísticas média e coeficiente de variação e para o Vertex e os aplicativos referentes as três classes de altura estudadas.

Métodos	Classe 1		Classe 2		Classe 3	
	Ht média (m)	CV%	Ht média (m)	CV%	Ht média (m)	CV%
Vertex	8,28	16,85	15,84	15,41	22,78	7,89
<b>MDH</b>	<b>4,50</b>	<b>19,81</b>	<b>4,86</b>	<b>13,40</b>	<b>6,27</b>	<b>13,09</b>
<b>HYP</b>	<b>12,80</b>	<b>21,34</b>	<b>21,98</b>	<b>31,70</b>	<b>33,73</b>	<b>34,68</b>
SM	7,75	16,91	7,40	10,39	8,58	9,82
HD	7,87	16,42	12,14	38,04	18,86	26,42
<b>ST</b>	<b>8,17</b>	<b>15,50</b>	<b>15,50</b>	<b>16,00</b>	<b>22,46</b>	<b>9,20</b>
<b>MH</b>	<b>7,03</b>	<b>20,36</b>	<b>12,34</b>	<b>17,19</b>	<b>18,56</b>	<b>9,84</b>
<b>TPH</b>	<b>8,29</b>	<b>15,09</b>	<b>15,91</b>	<b>15,01</b>	<b>22,79</b>	<b>7,27</b>
TPH2	9,67	11,28	17,46	20,89	25,03	8,52
<b>HC</b>	<b>8,42</b>	<b>15,10</b>	<b>15,33</b>	<b>17,28</b>	<b>22,66</b>	<b>7,97</b>
TM	8,49	14,67	14,95	13,42	18,33	10,29

Em que: Ht é a altura total dos indivíduos mensurados; CV% é o coeficiente de variação; ns = diferença não significativa; MDH e MH são os métodos de mensuração do aplicativo *Measure Height*; HYP = *Hypsometer*; SM = *Simple Measure*; HD = *Height and Distance*; S.T = *Smart Tools*; T.P.H e T.P.H2 são os métodos do aplicativo *Two Point Height*; H.C = *Height Calculator* e T.M = *Tree Meter*.

Pode-se observar que com o avanço da classe, a diferença das alturas médias da maioria dos métodos analisados em comparação com o Vertex aumenta. Essa característica pode ser observada nos métodos: MDH, HYP, SM, HD, MH, TPH2 e TM. Esse último, nas classes 1 e 2 apresentou pouca diferença na média quando comparado ao Vertex, porém na classe 3 essa diferença foi maior.

Na Figura 2 estão presentes a distribuição das médias e desvio padrão das alturas por classes dos melhores métodos utilizados.

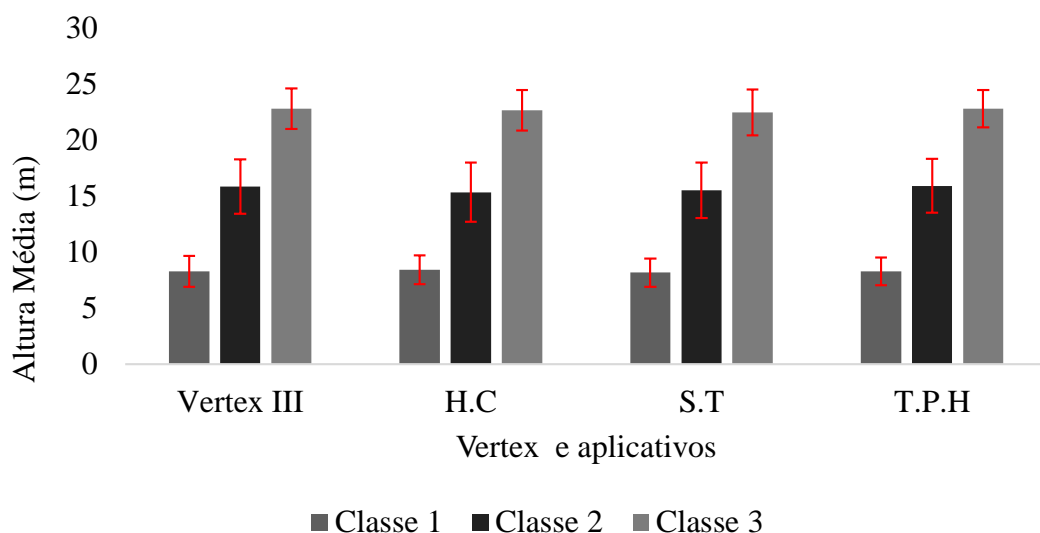
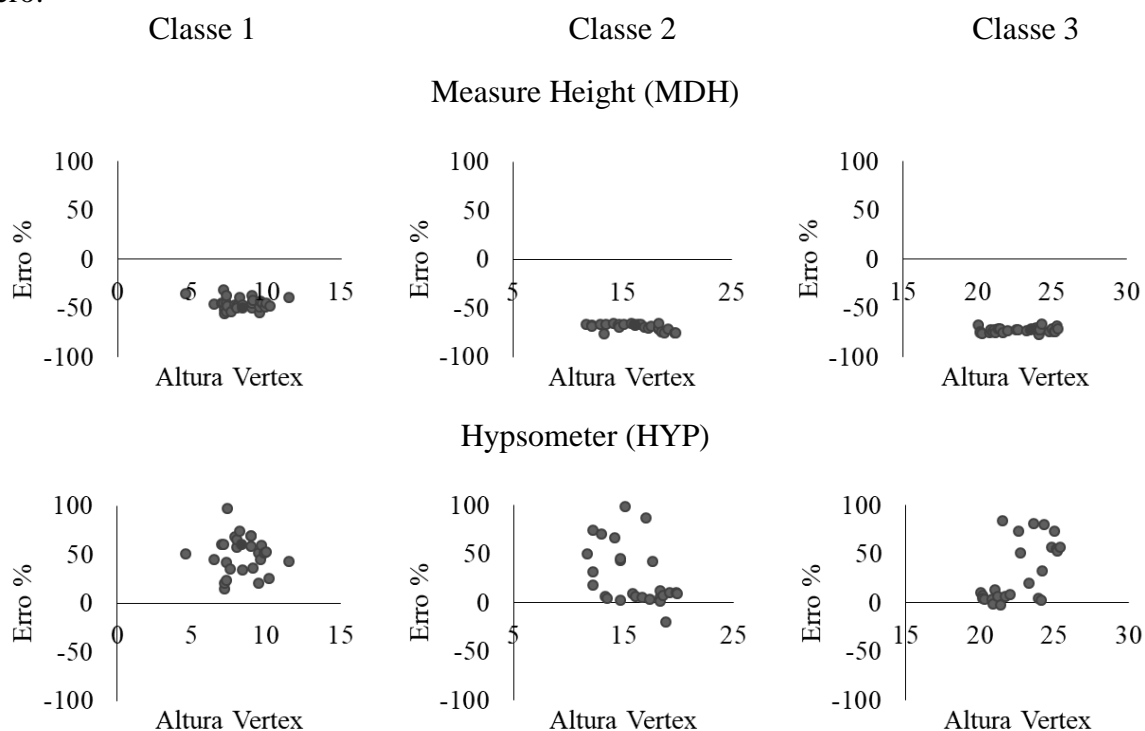
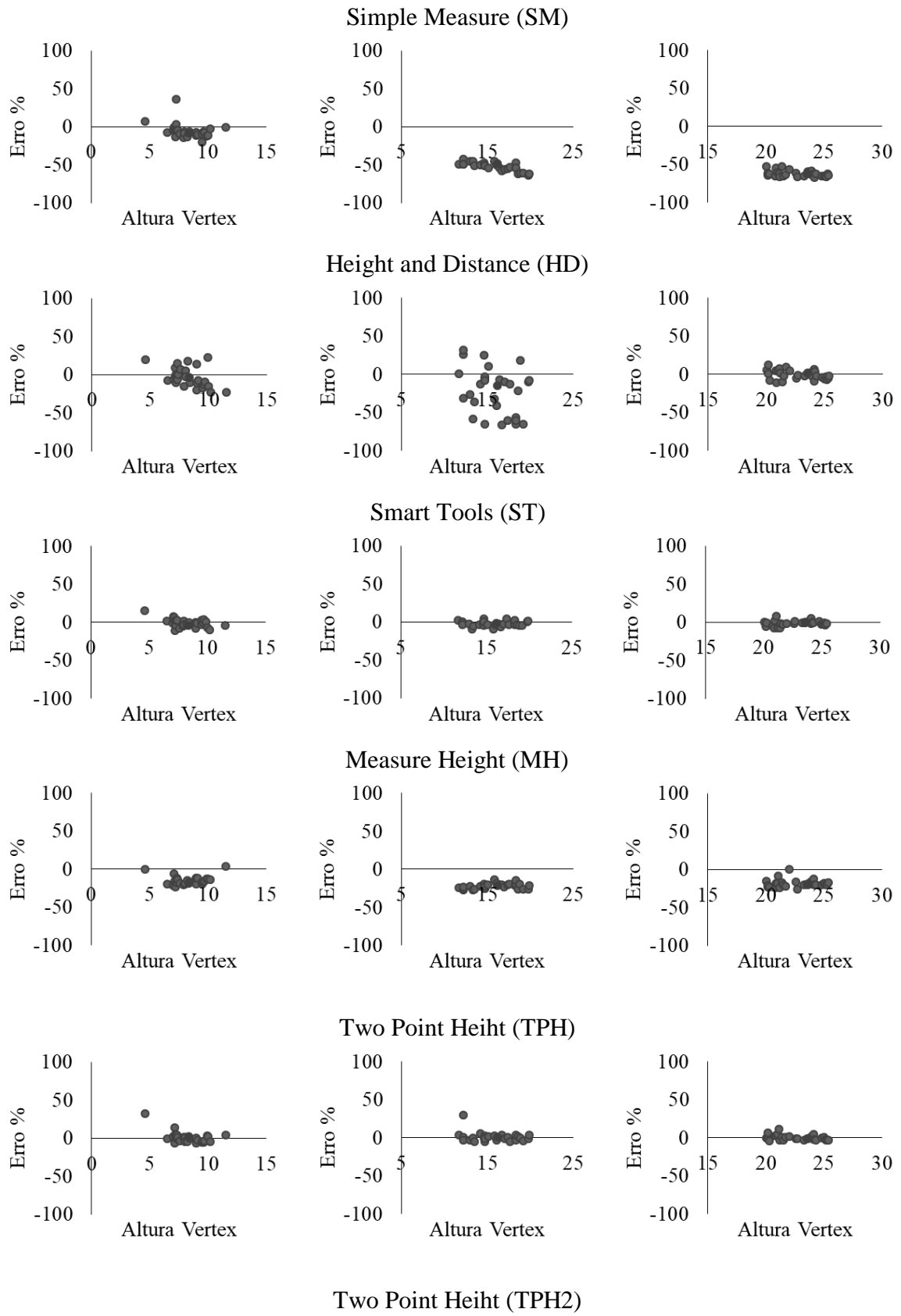


Figura 2: Média das alturas e desvio padrão dos indivíduos arbóreos por classe de altura e método utilizado para os melhores aplicativos e o Vertex.

Na Figura 3 os gráficos de diferença para os aplicativos avaliados demonstram que ambos os métodos do aplicativo *Measure Height* (MH e MDH) e o aplicativo *Simple Measure* (SM) apresentaram tendência de subestimar os valores de altura total para as três classes de altura estudadas. Essa característica também pode ser observada no aplicativo *Tree Meter* (TM), que apresentou tendência semelhante apenas para a classe 3.

O aplicativo HYP apresentou superestimava e uma grande amplitude de diferença relacionada aos dados. Já o aplicativo HD, além de apresentar uma amplitude de diferença semelhante ao método anterior, as medidas foram aleatórias para todas as classes. Os demais aplicativos demonstraram distribuição mais uniforme, com as diferenças na medida tendendo a zero.





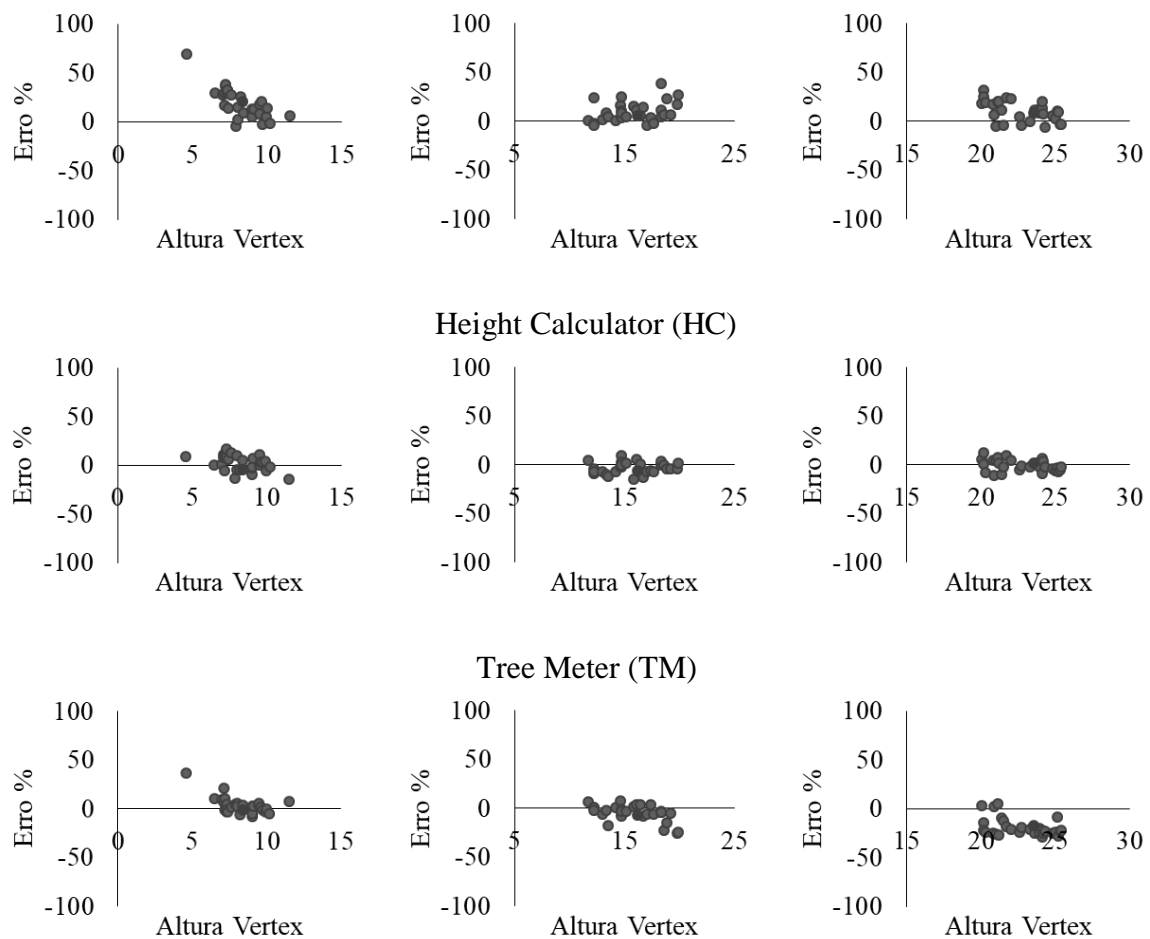


Figura 3: Gráficos da diferença das estimativas geradas pelos aplicativos em relação à altura fornecida pelo Vertex para cada classe de altura estudada. Em que: MH e MDH são os métodos de mensuração do aplicativo *Measure Height*; HYP = *Hypsometer*; SM = *Simple Measure*; HC = *Height Calculator*; ST = *Smart Tools*; HD = *Height and Distance*; TPH e TPH2 são os métodos do aplicativo *Two Point Height* e TM = *Tree Meter*

Na Tabela 3 é possível observar os valores referentes aos parâmetros viés (V), média das diferenças (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e índice de desempenho para cada classe e seus respectivos aplicativos. Os aplicativos HC, ST e TPH apresentaram os melhores resultados para as análises realizadas, onde HC e ST demonstram ótimo índice de desempenho para todas as classes avaliadas e HC teve o desempenho reduzido de “Ótimo” para “Bom” na classe 3.

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

Classe 1							
App	V%	MD%	DPD%	R	d	c	Desempenho
MDH	45,72	45,72	254,55	0,85	0,41	0,35	Ruim
HYP	-54,56	54,56	303,79	0,59	0,37	0,22	Ruim
SM	6,39	8,92	49,69	0,85	0,88	0,75	Bom
HD	5,00	11,76	65,49	0,65	0,78	0,50	Bom
<b>ST</b>	<b>1,38</b>	<b>3,77</b>	<b>21,01</b>	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,93</b>	<b>Ótimo</b>

MH	15,10	15,42	85,85	0,94	0,81	0,76	Bom
<b>TPH</b>	<b>-0,07</b>	<b>3,98</b>	<b>22,16</b>	<b>0,95</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	<b>Ótimo</b>
TPH2	-16,76	17,35	96,60	0,75	0,68	0,52	Regular
<b>HC</b>	<b>-1,67</b>	<b>6,81</b>	<b>37,91</b>	<b>0,88</b>	<b>0,93</b>	<b>0,82</b>	<b>Ótimo</b>
TM	-2,45	5,30	29,53	0,92	0,95	0,87	Ótimo
Classe 2							
App	V%	MD%	DPD%	r	d	c	Desempenho
MDH	69,32	69,32	385,94	0,70	0,28	0,20	Péssimo
HYP	-38,75	40,33	224,55	0,11	0,22	0,02	Péssimo
SM	53,27	53,27	296,57	0,60	0,87	0,53	Regular
HD	23,38	30,14	167,81	0,12	0,38	0,05	Péssimo
<b>ST</b>	<b>2,16</b>	<b>3,26</b>	<b>18,14</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	<b>Ótimo</b>
MH	22,09	22,09	123,01	0,96	0,66	0,64	Bom
<b>TPH</b>	<b>-0,47</b>	<b>3,07</b>	<b>17,10</b>	<b>0,94</b>	<b>0,97</b>	<b>0,91</b>	<b>Ótimo</b>
TPH2	-10,20	11,04	61,44	0,90	0,85	0,76	Bom
<b>HC</b>	<b>3,19</b>	<b>5,13</b>	<b>28,57</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,91</b>	<b>Ótimo</b>
TM	5,59	7,48	0,65	0,77	0,84	0,74	Bom
Classe 3							
App	V%	MD%	DPD%	r	d	c	Desempenho
MDH	72,48	72,48	403,54	0,78	0,17	0,13	Péssimo
HYP	-48,05	48,22	268,49	0,69	0,22	0,15	Péssimo
SM	62,32	62,32	346,99	0,36	0,19	0,07	Péssimo
HD	17,23	20,97	116,75	0,50	0,43	0,21	Ruim
<b>ST</b>	<b>1,43</b>	<b>2,63</b>	<b>14,62</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>	<b>0,90</b>	<b>Ótimo</b>
MH	18,52	18,55	103,26	0,81	0,50	0,40	Regular
<b>TPH</b>	<b>-0,03</b>	<b>2,49</b>	<b>13,87</b>	<b>0,91</b>	<b>0,95</b>	<b>0,86</b>	<b>Ótimo</b>
TPH2	-9,86	11,57	64,41	0,39	0,55	0,21	Ruim
<b>HC</b>	<b>0,54</b>	<b>4,73</b>	<b>26,32</b>	<b>0,75</b>	<b>0,86</b>	<b>0,64</b>	<b>Bom</b>
TM	19,53	20,13	112,10	0,33	0,40	0,13	Péssimo

Em que: App = aplicativo; 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*.

O MH, MDH e HYP como já demonstrado nas outras análises, apresentaram os piores resultados nas três classes avaliadas, contudo vale destacar que o aplicativo *Measure Height* (MH e MDH) apresentou bons valores de precisão demonstrado pela correlação de Pearson, perdendo na exatidão dos dados. Resultado diferente do HYP que não apresentou resultados satisfatórios em nenhum dos parâmetros.

O TM respondeu com um ótimo desempenho para os indivíduos de menor altura, porém quando ocorre o aumento da mesma os valores das estatísticas paramétricas aumentam e o índice de desempenho que era ótimo na classe 1 passa a ser péssimo na classe 3.

## 5. DISCUSSÃO

Os aplicativos Smart Tools (ST), Height Calculator (HC) e o Two Point Height (TPH) foram os três melhores analisados, sendo que cada um possui uma forma diferente de realizar a mensuração da altura. Acredita-se que isso esteja relacionado a boa precisão e estabilidade no momento da obtenção dos ângulos, utilizando os dois sensores para fazer a medição (acelerômetro e giroscópio).

O MDH e o HYP proporcionaram resultados inferiores devido ao aplicativo também mensurar a distância para que depois essa seja considerada no cálculo de altura. Durante a coleta dos dados, esses métodos não foram capazes de computar a distância correta em que o operador estava da árvore, para o MDH sempre foi inferior e para o HYP superior de forma discrepante e aleatória. Para o MH mesmo ao inserir a distância, a altura gerada sempre apresentava-se inferior à altura de referência, seguindo um padrão nas estimativas.

Para o aplicativo *Measure Height* (MH) estudos realizados recentemente apresentaram resultados semelhantes onde identificaram tendência em subestimar a altura total das árvores. Para Curto et al. (2019), analisando os resíduos as medidas mais eficientes foram para alturas entre 16 e 23 m. Já Lauro et al. (2018) não recomendam a utilização do aplicativo, considerando que os resultados também foram tendenciosos e as estimativas geradas foram diferentes. A diferença nesses resultados quando comparado ao primeiro estudo citado, pode estar relacionada com a versão dos sensores no *smartphone* (MOTO G3), que é inferior ao do presente estudo (MOTO G5).

No mesmo estudo citado acima, Curto et al. (2019) encontrou tendência para o aplicativo TPH em superestimar a altura das classes avaliadas, sendo classe 1 (9,0 a 15,9 m), classe 2 (16 a 23 m) e classe 3 (acima de 23 m), para o MH e o HYP foi somente encontrado essa tendência na classe 2, nas demais, os dados foram subestimados. Mesmo assim destaca que o HYP apresentou o melhor desempenho com a distribuição dos resíduos menos tendenciosas e mais homogêneas.

Estudos realizados com outros aplicativos incluindo o HYP e o HD afirmaram que os mesmos podem ser utilizados para medir alturas em árvores isoladas, além disso o HYP também foi satisfatório para estimar alturas em povoamentos de *Eucalyptus* sp. (HARFOUCHE et al., 2019). Porém, nesse último caso não é informado como foi feita a seleção das árvores e a altura média dos indivíduos, sendo essas informações importantes para comparação com outros estudos e tornando assim impossível determinar em qual variação de altura os aplicativos foram eficientes.

A mudança de desempenho do aplicativo TM pode estar relacionada com a forma de funcionamento do aplicativo, onde com o auxílio de objetos de altura conhecida a altura é projetada. No caso da classe 3, onde as árvores eram mais altas, foi preciso tomar uma maior distância que pode ter prejudicado a estimativa final da altura. Vele destacar que é necessário fazer novos estudos analisando diferentes condições com o mesmo aplicativo e realizar comparações com a altura real das árvores e o mesmo aplicativo com diferentes *smartphones*.

## 6. CONCLUSÕES

Conclui-se que, os aplicativos *Height Calculator* (HC), *Smart Tools* (ST) e *Two Point Height* (TPH) são aplicativos que apresentam precisão e exatidão nas medidas realizadas, podendo ser utilizados na mensuração da altura total de árvores. Destacando o aplicativo ST que apresentou os menores erros relacionados aos parâmetros estatísticos, uma distribuição mais homogênea das diferenças e um ótimo desempenho nas três classes estudadas.

O *Tree Meter* (T.M) pode ser utilizado em árvores da classe 1 e 2, pois perdeu em precisão e exatidão na classe seguinte. Os demais aplicativos não são aconselhados, considerando que respondem de maneira ineficiente as análises realizadas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, N.; GHAZILLA, R. A. R.; KHAIRI, N. M. Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. **International Journal of Signal Processing Systems**, v. 1, n. 2, p. 256-262, 2013.
- 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.
- ANDRADE, V. C. L.; RIBEIRO, J. R.; PINTO, I. O.; SANTOS, M. J. F.; TELES, L. B.; TERRA, D. L. C. V. Hipsômetros baseados no princípio geométrico avaliados em área de cerrado sensu stricto. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 333-336, 2016.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012.
- BARREIRO, S.; TOMÉ, M. Manual de utilização hipsómetro Vertex III. **Publicações GIMREF-RT1/2005. Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa**, 2005.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013.
- BRITO NETO, R. L. et al. Utilização de aplicativo telemóvel para medição da altura total de árvores. In: IV SEEFLOR-BA - IV SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL DA BAHIA E I MOSTRA DA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UESB, n. 1, p. 7, 2016.
- COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. L. F.; RODRIGUES, L. C. E. Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas. **Documentos florestais**, v. 5, p. 1-37, 1989.
- CUESTA, J.; CHAZETTE, P.; ALLOUIS, T.; SANAK, J.; GENAU, P.; FLAMANT, P. H.; DURRIEU, S.; FLAMANT. New airborne lidar observes forest canopies. SPIE Newsroom, 2009. Disponível em: < <https://spie.org/news/1732-new-airborne-lidar-observes-forest-canopies>>. Acesso em 24 de nov. 2019.
- CURTO, R. D. A.; DA SILVA, G. F.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, L. T.; DAVID, H. C. Métodos de estimação de altura de árvores em floresta estacional semidecidual. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 105-116, 2013.
- CURTO, R. D. A.; DEECKEN, B. P.; KOHLER, S. V.; BIAZATTI, S. C.; ARAÚJO, E. J. G.; WINK, C.; M, R. Operacionalidade de aplicativos de smartphone para mensuração de altura de árvores em região de ecótono Cerrado-Amazônia. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 218-225, 2019.
- DESKIS OÜ, Measure Height. Versão 1.4. Aplicativo, 2014. Disponível em: < <https://play.google.com/store/apps/details?id=ee.deskis.android.height>>. Acesso em: maio 2018.



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.

FREITAS, A. G.; WICHERT, M. C. P. Comparação entre instrumentos tradicionais de medição de diâmetro e altura com o criterion 400. 1998.

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.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas** 2. ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2015. 430p.

GONÇALVES, D. de A.; VAN ELDIK, T.; POKORNY, B. O uso de dendrômetro a laser em florestas tropicais: aplicações para o manejo florestal na Amazônia. **Floresta**, v. 39, n.1, p. 175-187, 2009.

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.

INALBYSS TECHNOLOGIES, Tree Meter. Versão 1.2. Aplicativo, 2014. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.inalbyss.android.treemeter>>. Acesso em: maio 2018.

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.

LIMA, Sandro Reginato Soares de. Integração GPS/INS utilizando sensores inerciais baseados em sistemas microeletromecânicos (MEMS). 2005.

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.

MACHADO, S. A.; OLIVEIRA, E. B.; CARPANEZZI, A. A.; BARTOSZECK, A. C. P. S. Classificação de sítio para bracatingais na Região Metropolitana de Curitiba. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado ALICE**, 1997.

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.

MAKINOSOFT, Hypsometer. Versão 1.11. Aplicativo, 2012. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=makino.android.hypsometer>>. Acesso em: maio 2018.

MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 107-115, 2015.

MORI, A. M. **O uso de sistema inercial para apoiar a navegação autônoma**. Dissertação de Mestrado. 2013. 180 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OMEGA CENTAURI SOFTWARE, Two Point Height. Versão0.05. Aplicativo, 2014. Disponível em:<<https://play.google.com/store/apps/details?id=mobi.omegacentauri.twopoint>>. Acesso em: maio de 2018.

PC MEHANI, Smart Tools. Versão 17.6. Aplicativo, 2014. Disponível em:<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pcmehani.smarttoolkit>>. Acesso em: maio 2018.

PINTO, L.; FORLANI, G. A single step calibration procedure for IMU/GPS in aerial photogrammetry. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 34, n. B3, p. 210-213, 2002.

PLAY STORE, Aplicativos. Disponível em: < <https://play.google.com/store/apps> >. Acesso em: maio 2018.

RIBAS, R. P.; 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.

SANTANA, D. D. S. **Navegação terrestre usando unidade de medição inercial de baixo desempenho e fusão sensorial com filtro de Kalman adaptativo suavizado**. Tese de Doutorado. 2011. 230 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal**. UFLA/FAEPE: Lavras, 2005. 393p.

SILVA, B. H. L. **Comparação entre estimativas de altura de eucalipto realizadas pelo MOTI e pelo clinômetro Haglof**. Trabalho de conclusão de curso. 2018. 31 f. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Departamento de Engenharia Florestal, Diamantina, 2018.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, O. M.; DE SOUZA, C. A. M.; SOARES, C. P. B.; LEMOS, R. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 397-405, 2012.

SILVA, L. R. **Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para mensuração florestal**. Trabalho de conclusão de curso. 2018. 41 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Florestal, Curitiba, 2018

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, 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.

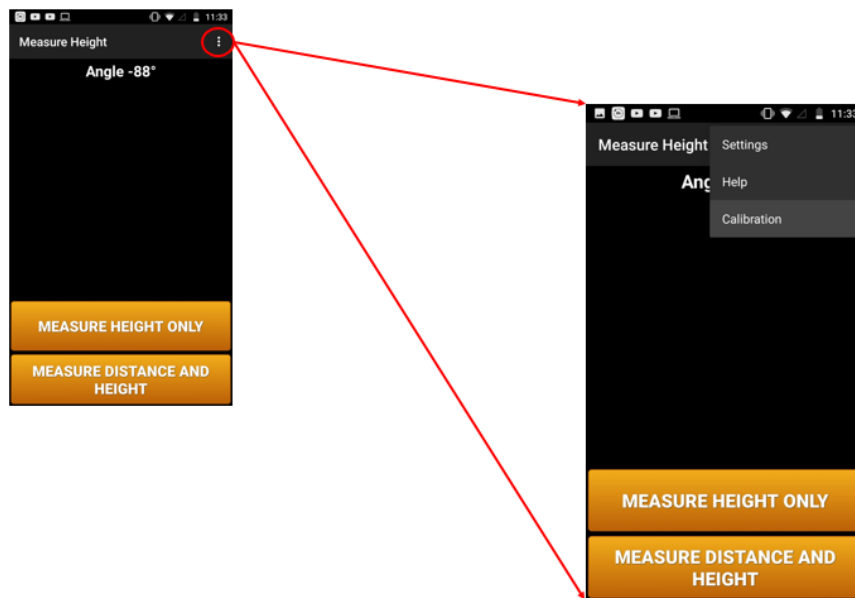
SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; GAMA, J. R. V.; LEITE, H. G. Emprego de análise multivariada para estratificação vertical de florestas inequiâneas. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 59-63, 2003.

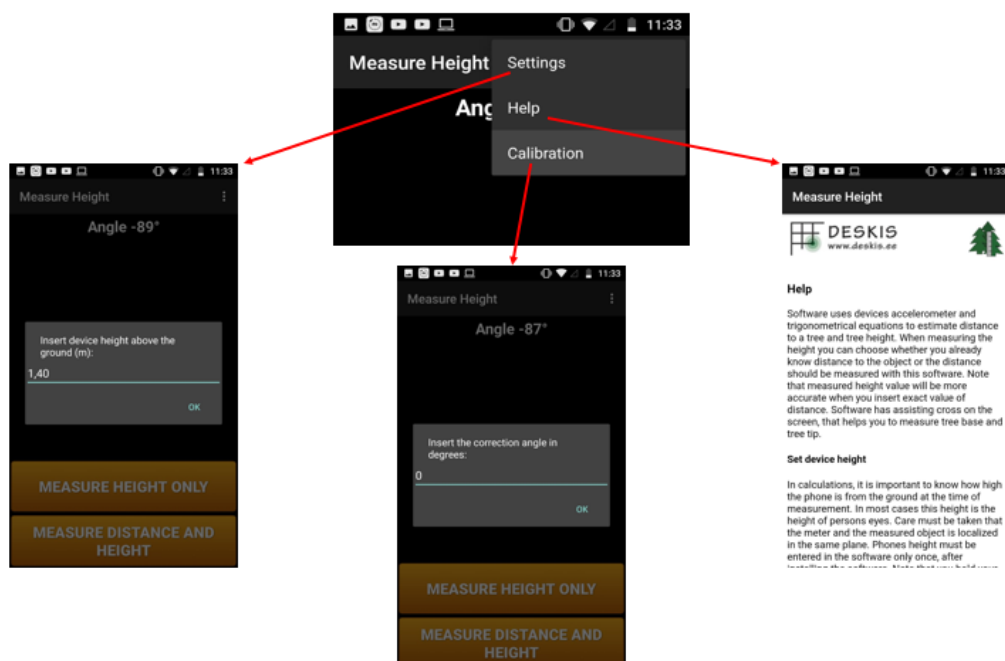
## 8.1 ANEXO – COMO UTILIZAR OS APLICATIVOS

### 8.1 *Measure Height* (MH e MDH)

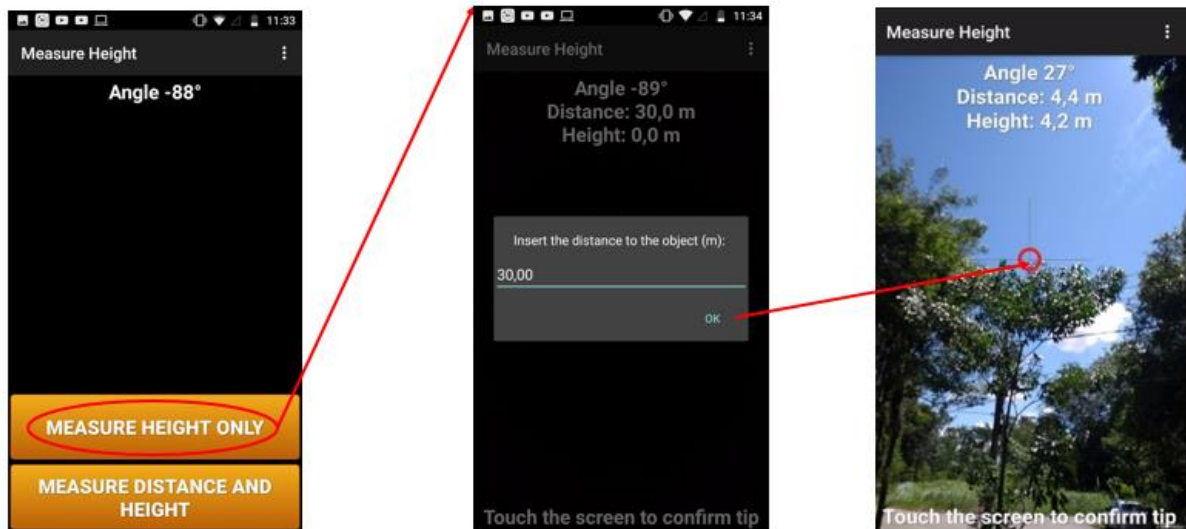
Tela inicial – Opções



Configuração da altura que o smartphone está em relação ao solo – Calibração do ângulo – Manual de instrução.



Mensurar somente a altura – Inserir a distância que o operador se encontra em relação a árvore  
 – Mirar no topo da árvore e clicar na tela.



Mensurar distância e altura – Mirar na base da árvore e clicar na tela para obter a distância -  
 Mirar no topo da árvore e clicar na tela.

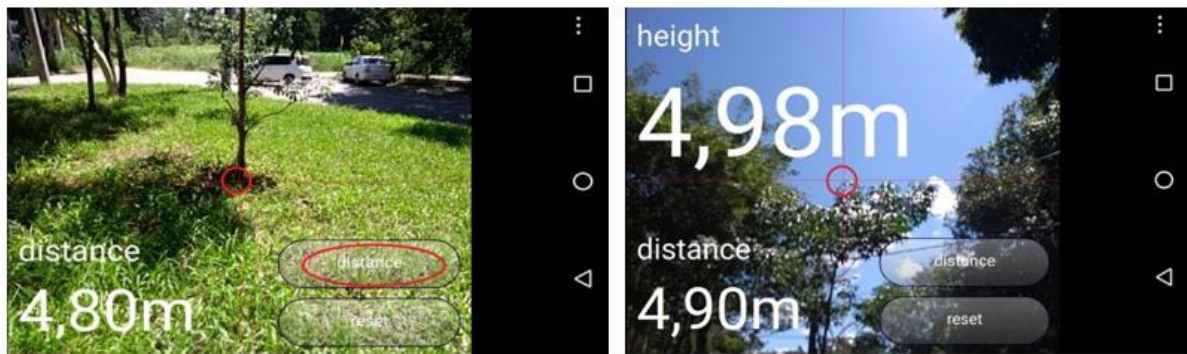


## 8.2 Hypsometer (HYP)

Tela inicial – Opções – Inserir a altura que o *smartphone* está em relação ao solo – Manual de intrução.

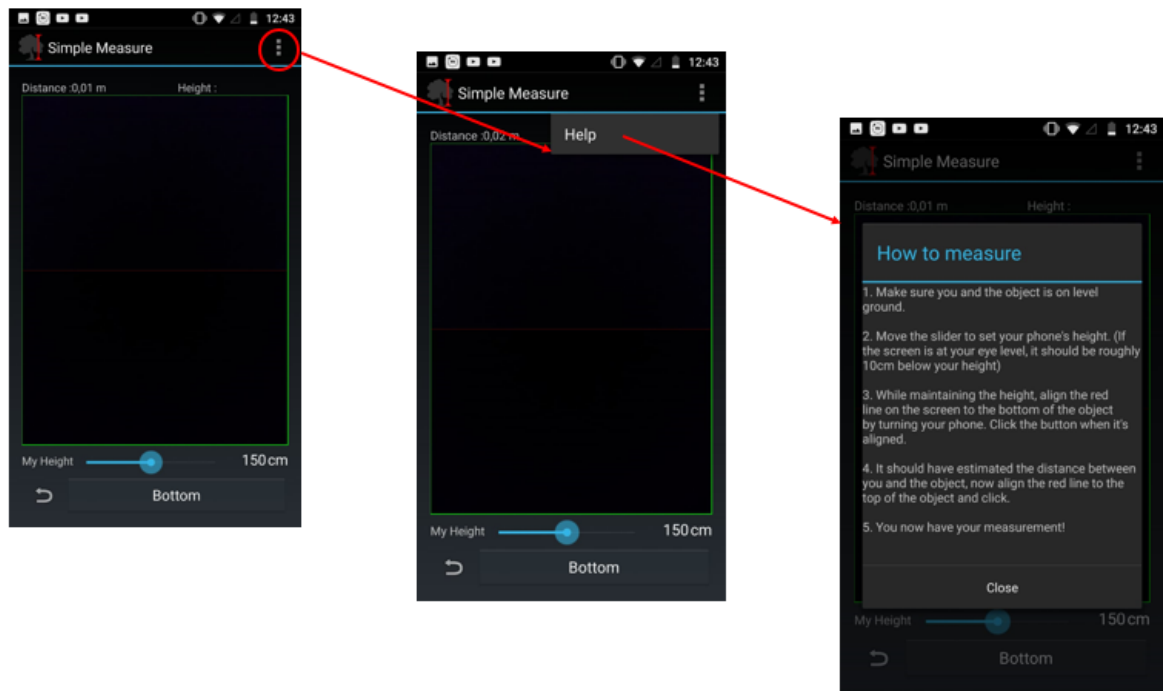


Mirar a cruzeta na base da árvore para medir a distância – Mirar a cruzeta no topo para medir a altura – reset para fazer novamente a medição.

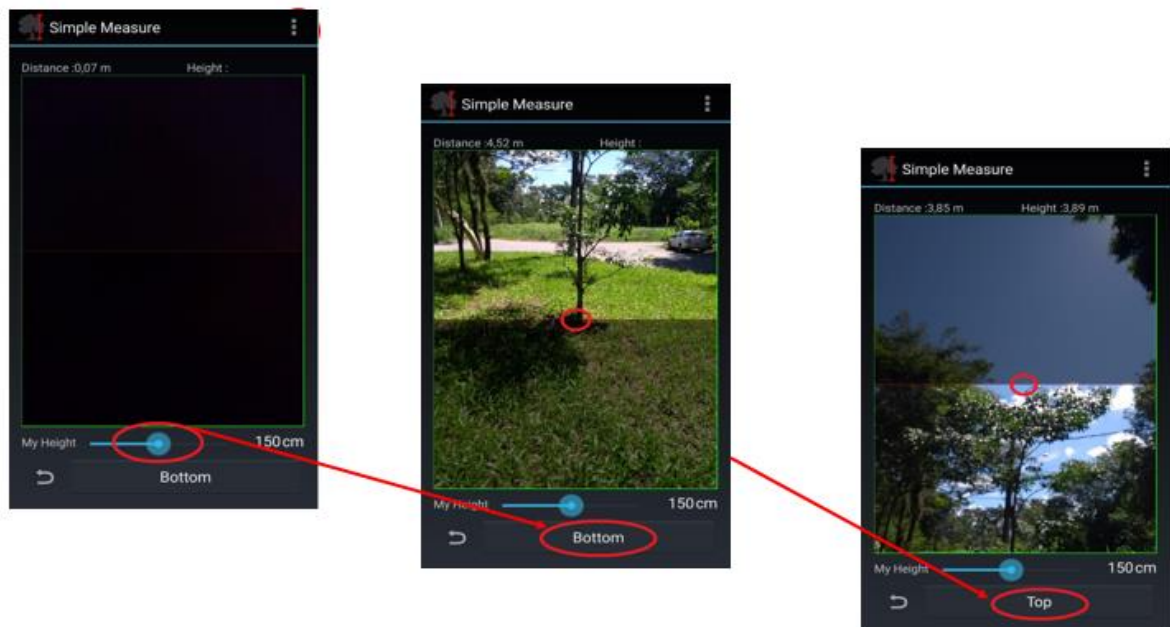


### 8.3 Simple Measure (SM)

Tela inicial – Opções - Manual

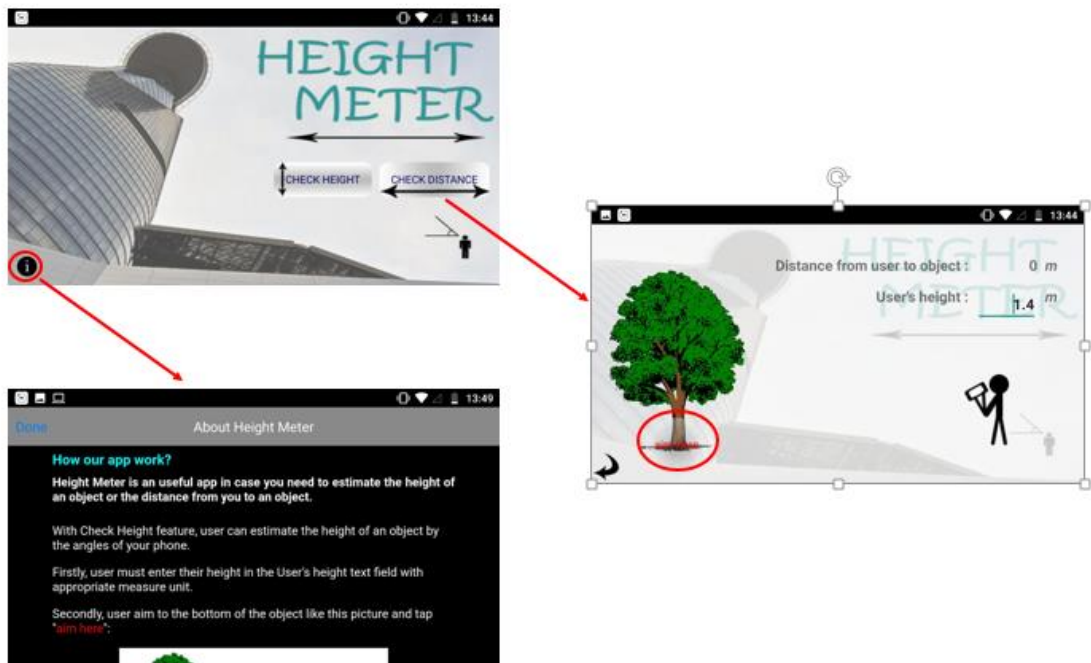


Ajustar na barra inferior a altura que o smartphone esta em relação ao solo – Mirar na base da árvore e apertar o botão para medir a distância – Mirar no topo e apertar o botão para medir a altura.

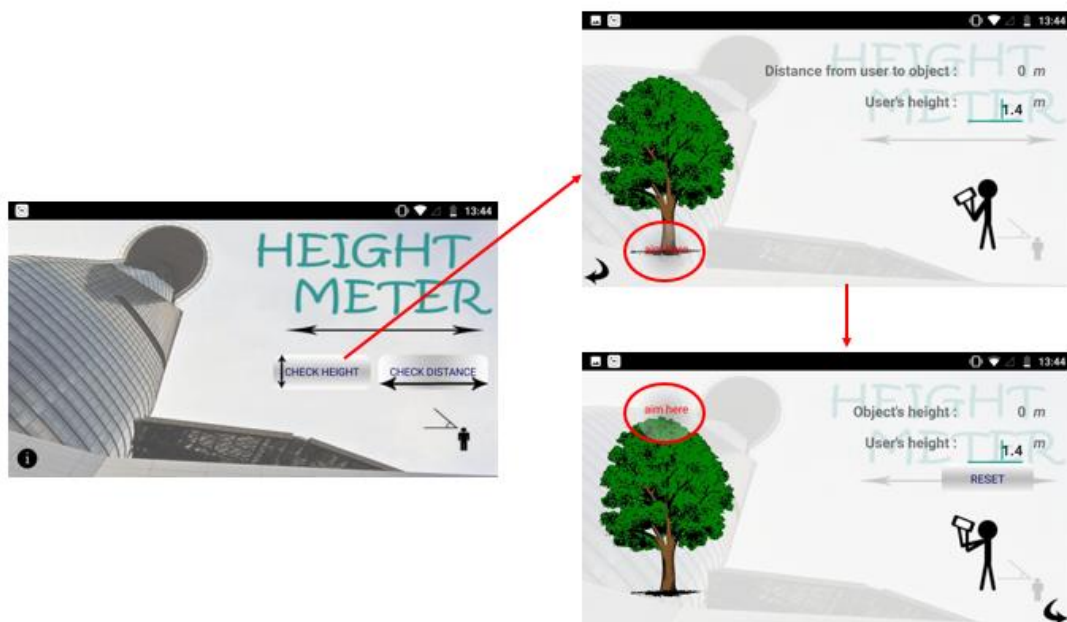


#### 8.4 Height and Distance (HD)

Tela inicial – opções – Manual – Medir distância – Inserir a altura que o *smartphone* está em relação ao solo, mirar na base da árvore e apertar o botão.

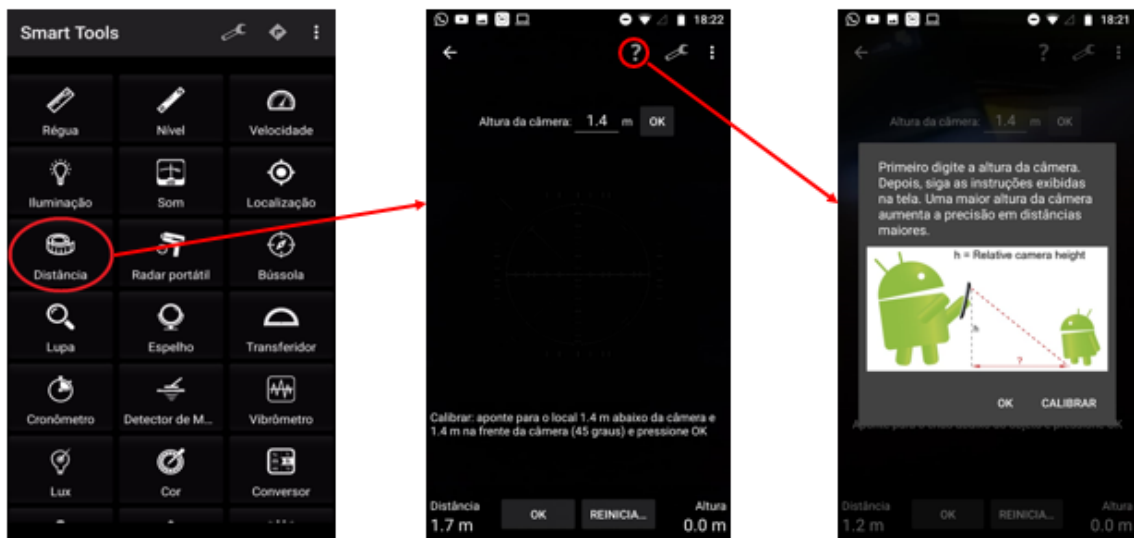


Tela inicial – Medir altura – Inserir a altura que o smartphone está em relação ao solo – Mirar na base da árvore e apertar o botão – Mirar no topo da árvore e apertar o botão.



## 8.5 Smart Tools (ST)

Tela principal – Tela da função distância – Manual de utilização.



Tela inicial – Configuração das unidades – Calibração – Adicionar altura que o smartphone está em relação ao solo.



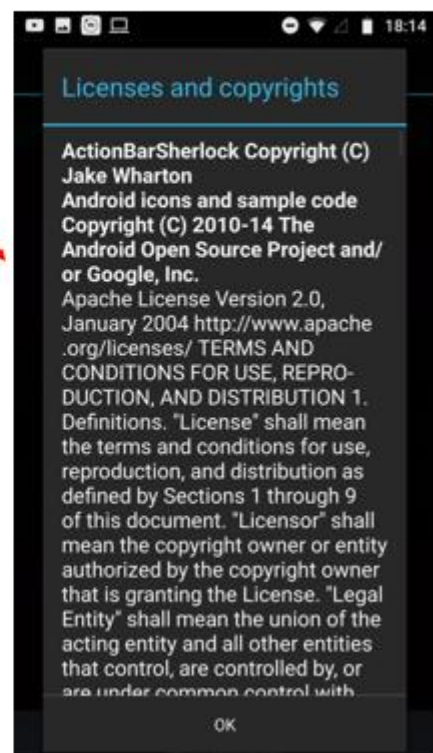
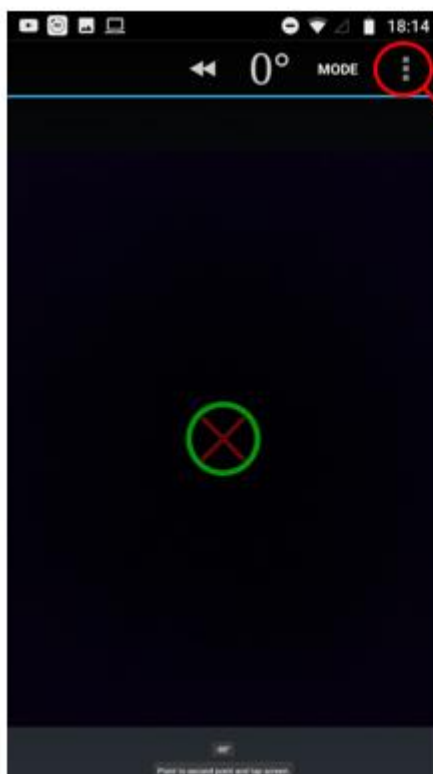
Medir a distancia mirando na base da árvore e apertando “ok” – Medir a altura mirando no topo e apertando “ok”.



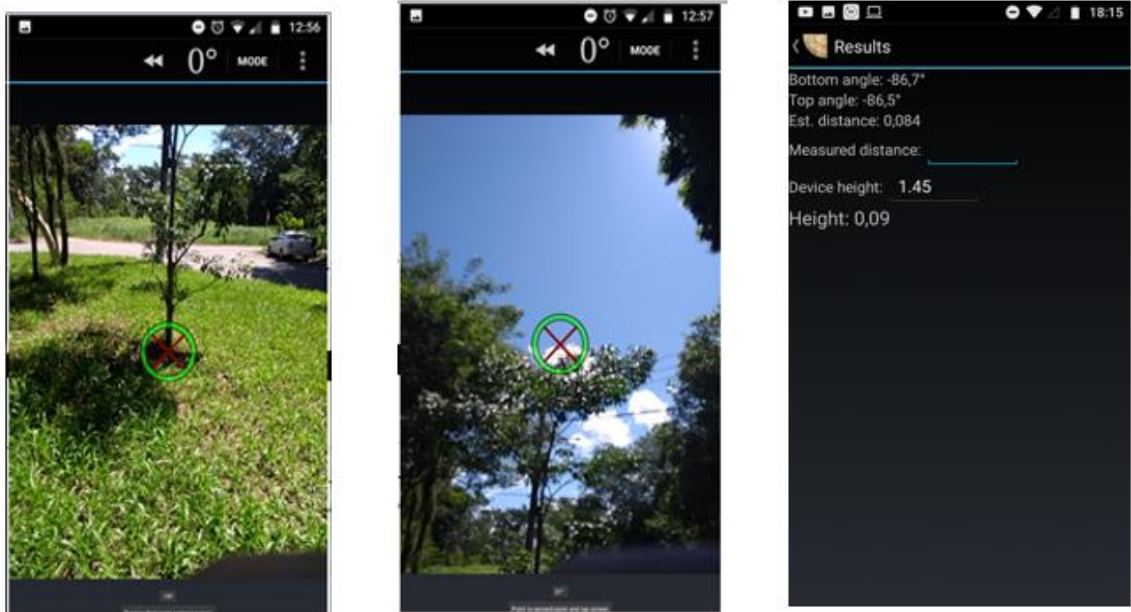


## 8.6 Two Point Height (TPH e TPH2)

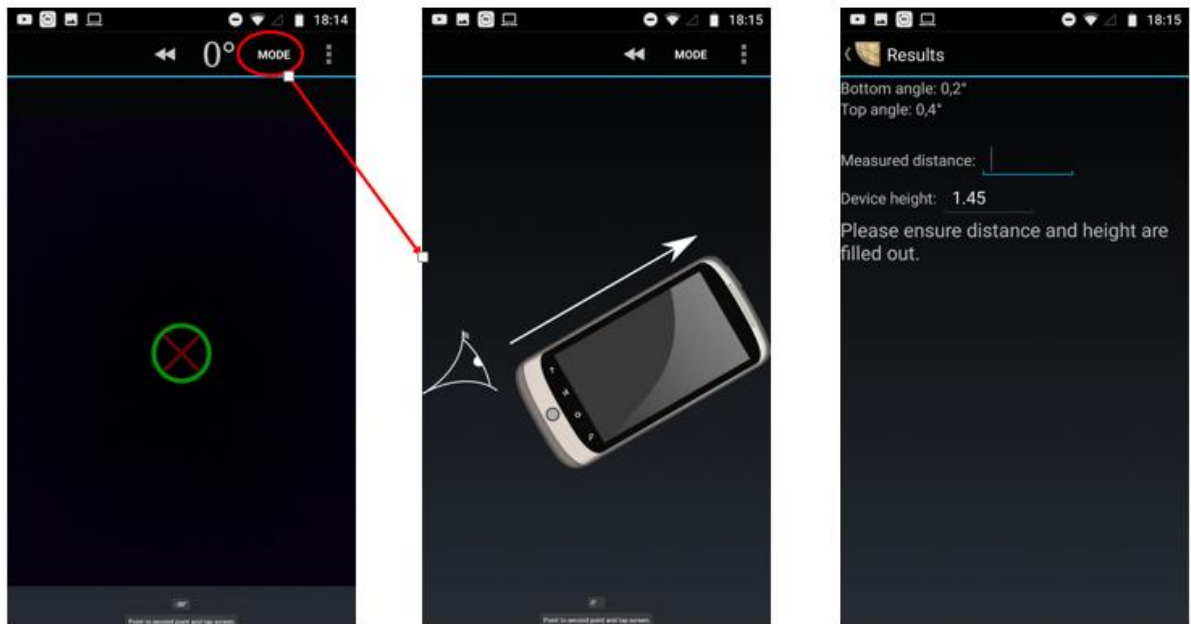
Tela inicial – Informações sobre o fabricante.



Mirar o alvo na base da árvore e clicar na tela – Mirar no topo da árvore e clicar na tela – Na tela seguinte informar a altura do *smartphone* em relação ao solo e a distância que o operador se encontra em relação a árvore.

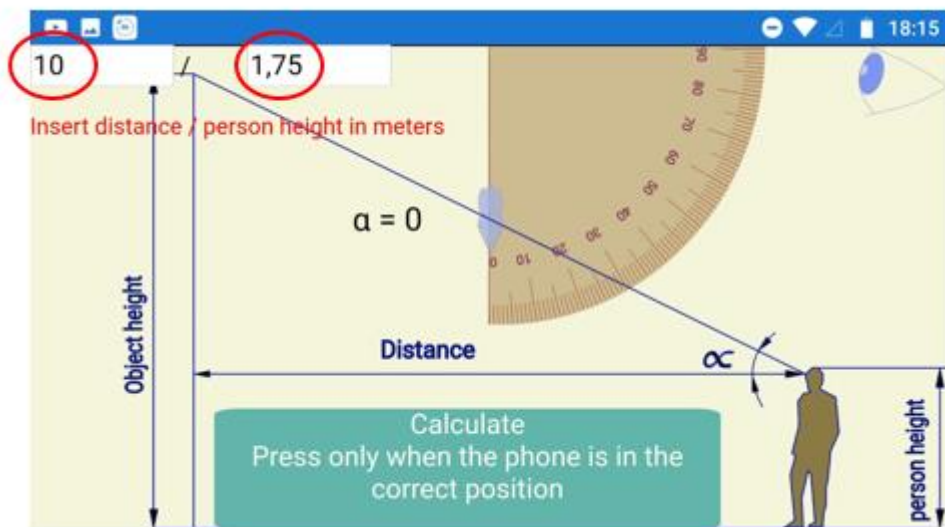


Tela inicial – Mode – Visualizar pela borda lateral do celular a base e o topo da árvore e clicar na tela – Adicionar a altura do *smartphone* em relação ao solo e a distância que o operador se encontra em relação a árvore.



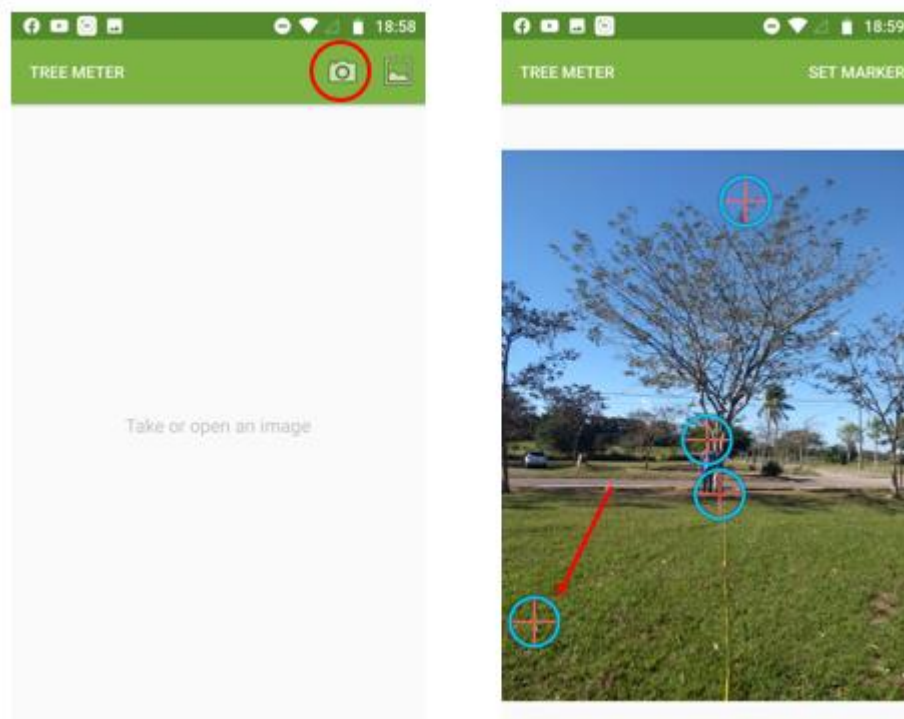
### 8.7 Height Calculator (HC)

Tela inicial – Adicionar a altura do *smartphone* em relação ao solo e a distância que o operador se encontra em relação a árvore - Visualizar pela borda lateral do celular a base e o topo da árvore e clicar na tela.



### 8. 8 Tree Meter (TM)

Tela inicial – Fotografar a árvore com um objeto de referência ao lado – Ajustar os marcadores no topo e na base do objeto de referência e da árvore.



Inserir a altura do objeto de referência – altura será calculada.

