

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JÚLIO CÉSAR SOZNOSKI

EXTRAÇÃO DE ALTURAS DE ÁRVORES DE *Eucalyptus benthamii* A PARTIR DE
IMAGENS OBTIDAS COM RPAs (AERONAVE REMOTAMENTE TRIPULADA)

Curitiba
2018

JÚLIO CÉSAR SOZNOSKI

**EXTRAÇÃO DE MÉTRICAS FLORESTAIS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS
COM RPAs**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Manejo Florestal de Precisão, do programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Dra. Ana Paula Dalla Corte

Curitiba
2018

DEDICATÓRIA

Quero dedicar esse momento a minha esposa Sabrina Sedrez que me deu forças em todas etapas desse trabalho, muitas vezes tendo que abrir mão de algo para estar ao meu lado, a minha filha Beatriz e a minha família que são a razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial a minha professora e orientadora Ana Paula Dalla Corte que se dedicou junto comigo na elaboração deste trabalho e que esteve comigo até a sua completa conclusão.

Agradeço também a minha instituição por ter me dado à chance e todas as ferramentas e aos pós graduados Marieli Sabrina Ruza, Luani Rosa de Oliveira e Ângela Hentz, vocês foram fundamentais para realização deste trabalho.

RESUMO

Com a revolução tecnológica de captação e qualidade de imagens através do uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) a acessibilidade aos profissionais se tornou mais fácil o que promoveu um salto nas obtenções de estimativas de medições. Essa tendência incentivou o desenvolvimento de programas que possibilitem a mensuração dos objetos captados pelas imagens, transformando as mesmas em nuvens de pontos obtidas por técnicas de fotogrametria digital. Desta forma, o objetivo geral do trabalho foi testar o desempenho de técnicas que usam fotografias aéreas tomadas com aeronave remotamente pilotada (RPA), para a obtenção da variável altura total individual em um plantio florestal do gênero *Eucalyptus benthamii*. O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná em Pinhais – PR. Foram testados 2 tratamentos, a saber: T1 – Medição das alturas das árvores individuais com técnica tradicional empregando equipamento Vertex IV da marca Haglöf e T2 – Medição das alturas das árvores individuais com através da extração de métricas obtidas nas fotografias aéreas obtidas com RPA e processadas no software Pix4D. A comparação entre os tratamentos deu-se pelo coeficiente de correlação de Pearson e pelo teste Qui-quadrado. O tratamento 2 (RPA) apresentou valores de coeficiente de variação menores do que T1, tendo portanto, tendência de gerar estimativas mais próximas o que não necessariamente é realidade. A correlação entre os dois tratamentos foi de 0,932. Porém, apesar de alta correlação, o teste Qui-quadrado indicou diferença significativa para as duas médias, ao nível de 0,01. Conclui-se também que o T2 apresentou tendência em subestimar as alturas das árvores. Por questões de melhorias quanto aferições e mais práticas de pilotagem o T2 ainda precisa passar por alguns ajustes, concluindo que o T1 ainda é o melhor procedimento em termos de produtividade e com um menor custo para medições em pequenas áreas.

Palavras-chave: Métricas florestais, inventário florestal, Veículo Aéreo Não-tripulado.

ABSTRACT

With the technological revolution of capturing and quality of images through the use of remotely piloted aircraft (RPA) the accessibility to the professionals has become easier, which has promoted a jump in the obtaining of estimates of measurements. This trend encouraged the development of programs that allow the measurement of the objects captured by the images, transforming them into clouds of points obtained by digital photogrammetry techniques. Thus, the overall objective of the work was to test the performance of techniques using aerial photographs taken with remotely piloted aircraft (RPA) to obtain the variable total individual height in a forest plantation of the genus *Eucalyptus benthamii*. The work was developed at the Canguiri Experimental Farm of the Federal University of Paraná in Pinhais - PR. Two treatments were tested: T1 - Measurement of the heights of the individual trees with a traditional technique using Haglöf's Vertex IV equipment and T2 - Measurement of the heights of the individual trees through the extraction of metrics obtained in aerial photographs obtained with RPA and processed in the Pix4D software. Pearson's correlation coefficient and Chi-square test were used to compare treatments. Treatment 2 (RPA) presented values of coefficient of variation smaller than T1, therefore, tending to generate estimates closer to what is not necessarily reality. The correlation between the two treatments was 0.932. However, despite a high correlation, the chi-square test indicated a significant difference for the two means, at the level of 0.01. It was also concluded that T2 tended to underestimate tree heights. Due to improvements in gauging and more piloting practices, T2 still has to go through some adjustments, concluding that T1 is still the best procedure in terms of productivity and with a lower cost for small-area measurements.

Key words: Forest metrics, forest inventory, Unmanned Aerial Vehicle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Fazenda Experimental do Canguiri.....	11
Figura 2 - Vista área das linhas de plantio utilizadas no trabalho (a). Vista lateral das linhas (b).....	11
Figura 3 - VANT Phantom 4 Pro utilizado para o voo.....	12
Figura 4 - Vista superior do planejamento de voo. A linha verde segue a posição da captura das imagens.....	13
Figura 5 - Demonstração da execução do plano de voo.....	14
Figura 6 - Demonstração do caminhamento da mensuração das árvores.....	15
Figura 7 - a. Modelo Digital da Superfície e b. Ortoimagem.....	16
Figura 8 - Resultado do modelo de altura de copa.....	17
Figura 9 - Linha 1 do teste mostrando a diferença entre altura da árvore medida com T1 (hipsômetro Vertex) e pelo T2 (RPA).....	18
Figura 10 - Linha 2 do teste mostrando a diferença entre altura da árvore medida com T1 (hipsômetro Vertex) e pelo T2 (RPA).....	19
Figura 11 - Gráfico de correlação entre o método tradicional com hipsômetro (T1) e RPA (T2).....	19

SUMÁRIO

1 Introdução	9
1.1 Contextualização.....	9
2 Objetivos	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivo Específico.....	10
3 Material e Métodos	10
3.1 Área de Estudo.....	10
3.2 Tratamentos.....	11
3.3 Equipamentos e Aplicativos Utilizados.....	12
3.3.1 Tratamento (T1).....	12
3.3.2 Tratamento (T2).....	12
3.4 Coleta e Processamento de Dados.....	13
3.4.1 Coleta de Dados com o RPA.....	13
3.4.2 Coleta das variáveis dendrométricas pelo método tradicional.....	15
4 Resultados	16
4.1 Identificação da posição individual das árvores.....	16
4.2 Extrações das alturas das árvores com RPA.....	16
4.3 Comparações métricas de altura (Tratamento 1 x Tratamento 2).....	17
4.4 Análises de correlação e teste estatístico.....	19
5 Conclusões	20
Referências Bibliográficas	21

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Conforme (VIBRANS 2012) um inventário florestal tem por finalidade obter dados qualitativos e quantitativos dos recursos florestais de uma determinada área, fornecendo aos gestores desta área informações básicas para o planejamento de atividades de manejo e conservação das florestas presentes na mesma. Realizado em escala regional ou nacional, o inventário subsidia a tomada de decisão num nível mais amplo; fundamenta o direcionamento de políticas públicas relativas ao uso e à conservação dos recursos florestais e a adoção de medidas concretas para sua implementação.

A crescente demanda de madeira de florestas plantadas, sem o correspondente aumento da área física, aliada a fatores de melhoria de qualidade e valorização do produto contribuem para o aumento da necessidade de ampliar os conhecimentos sobre a mensuração florestal, especificamente na área das distribuições diamétricas e dos métodos de amostragens. Tais conhecimentos advêm do inventário florestal, colhendo informações de ordem técnica que subsidiam a tomada de decisão nas empresas. Desta forma, a melhoria de processos e metodologias do inventário florestal traria benefícios econômicos às empresas florestais (RIBEIRO, 2011).

Também conhecidas como "geoprocessamento", as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software e peopleware que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia (ROSA, 2015).

As geotecnologias são imprescindíveis para apoiar avanços na identificação, na qualificação, na quantificação e no monitoramento de áreas agrícolas e recursos naturais, possibilitando a geração de mapas e análises de informações geoespaciais de forma mais efetiva, rápida e precisa. O sensoriamento remoto é usado na estimativa de áreas plantadas, na identificação das culturas plantadas e no monitoramento da expansão e da alteração de uso das áreas agrícolas. A previsão de safras em nível nacional pode ser feita com dados de deficiência hídrica. As áreas de lavouras com deficiência nutricional, ataques de pragas e doenças, baixa produtividade, baixo crescimento também são alvos das geotecnologias (EMBRAPA).

A utilização de imagens aéreas de alta resolução provenientes de RPAs na extração de informações métricas da superfície terrestre tem sido vastamente pesquisada nestes últimos anos. As facilidades existentes na realização do vôo autônomo, associado com o baixo custo do recobrimento e do sistema fotogramétrico com o RPA são os principais atrativos desta nova tecnologia em aplicações aerofotogramétricas (EVERAERTS, 2008).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho foi testar a aplicação de fotografias aéreas tomadas com uma aeronave remotamente pilotada (RPA), para a obtenção da variável altura total individual em um plantio florestal de *Eucalyptus benthamii*.

2.2 Objetivo Específico

Realizar a mensuração das alturas totais das árvores de um povoamento florestal de *Eucalyptus benthamii* com equipamento tradicional de medição de altura de inventário florestal comparando com técnicas de fotogrametria digital produzidas através das fotografias aéreas tomadas pelo RPA.

Realizar a comparação entre a medida obtida através das duas técnicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri (Fig. 1), pertencente à Universidade Federal do Paraná, a fazenda está localizada no município de Pinhais - PR. As coordenadas geográficas são: 25°23'30"S e 49°07'30" W (Figura 1). A área total da fazenda soma 427,97 hectares e é utilizada para diversas finalidades entre as quais: agricultura, pecuária e silvicultura.

O experimento foi realizado em duas linhas de um plantio dentro do projeto desenvolvido pelo Núcleo de Inovação Tecnológica em Agropecuária (NITA) da Fazenda. As árvores de *Eucalyptus benthamii* foram implantadas com espaçamento de 14 m entre linhas e de 2 m entre plantas, visando obter uma densidade inicial de aproximadamente 357 árvores por hectare. Esse espaçamento foi planejado objetivando o consórcio com o gado. Os eucaliptos foram implantados em linhas simples conforme demonstram as Fotos 2a e 2b.

De acordo com Maack (1981) o clima da região pode ser classificado segundo Koeppen como do tipo Cfb, ou seja, clima mesotérmico com temperatura média anual do mês mais frio abaixo de 18°C, e clima subtropical úmido sem estação seca com verões brandos. O clima pode ser ainda definido como pluvial quente - temperado, apresentando no mês mais quente médias inferiores a 22°C e onze meses do ano com temperaturas médias superiores a 10°C. Este clima está sujeito a precipitações regulares durante todos os meses do ano e a geadas severas (mais de cinco por ano).

A área é banhada pelos afluentes do Rio Canguiri, que faz parte da Bacia do Iraí, onde existe uma represa responsável pelo abastecimento de água de parte da

cidade de Curitiba e Região Metropolitana, sendo que esta represa também faz parte dos limites da Fazenda Experimental.

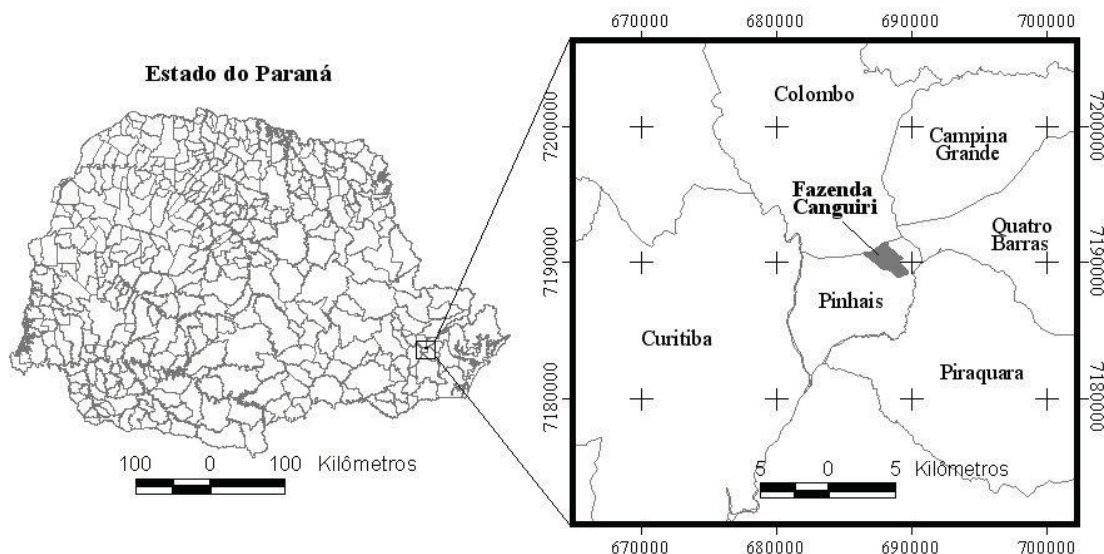


Figura 1: Localização da Fazenda Experimental do Canguiri.

Fonte: Sistema de projeção Cartográfica UTM Datum SAD-69 Fuso 22S

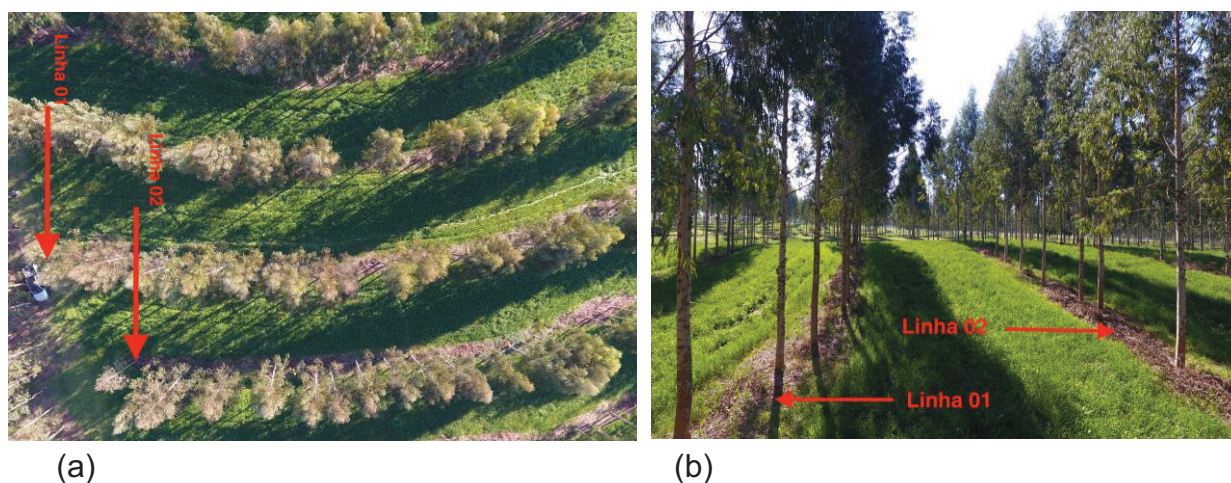


Figura 2 – Vista área das linhas de plantio utilizadas no trabalho (a). Vista lateral das linhas (b).

3.2 Tratamentos

A abordagem no trabalho focou em dois tratamentos, sendo eles:

T1 – Medição das alturas das árvores individuais com técnica tradicional empregando equipamento Vertex IV da marca Haglöf;

T2 – Medição das alturas das árvores individuais com através da extração de métricas obtidas nas fotografias aéreas obtidas com aeronave remotamente pilotada (RPA).

3.3 Equipamentos e Aplicativos Utilizados

3.3.1 Tratamento (T1)

A medição das alturas das árvores das 2 linhas de plantio no T1 foi realizada utilizando o equipamento Vertex IV da marca Haglöf.

3.3.2 Tratamento (T2)

O levantamento nas mesmas linhas de plantio do T1 utilizou-se um RPA do tipo quadricóptero com câmera embarcada da marca e modelo Phantom 4 PRO (Fig. 3), o qual permite capturar fotos em 20 megapixels e com capacidade de rastreamento de satélites com modo bússola, tornando-o mais confiável e estável. Para controlar o RPA foi utilizado um smartphone com o aplicativo Map Pilot que permite a configuração manual da câmera.



Figura 3 - VANT Phantom 4 Pro utilizado para o voo (Fonte: <https://cenazero.com.br/itens/phantom-4>)

Para o planejamento de voo foi utilizado o aplicativo Map Pilot o qual permite automatizar o voo com o RPA para que ele pudesse realizar a cobertura de forma totalmente autônoma. Como a área de voo era pequena não foi necessário segmentá-la. Foi especificada uma sobreposição de 85% (lateral e longitudinal) suficiente para que as imagens após processadas tivessem informação para a detecção dos *key-points* visando a produção de um bom resultado.

3.4 Coleta e Processamento de Dados

3.4.1 Coleta de dados com o RPA

A metodologia utilizada para aquisição das imagens e processamento dos dados obtidos pelo RPA foi realizada em três etapas: (1) Planejamento de voo; (2) Execução do voo; e (3) Processamento para a geração das nuvens de pontos e extração das métricas.

Etapa 1: Planejamento de voo

Condições do tempo com poucas nuvens, posição do sol do horário entre 10:00 horas da manhã e 14:00 horas da tarde foram os principais fatores para determinação da realização do voo. Em campo foi planejado a melhor rota para execução do voo automático através do aplicativo Map Pilot, determinando a melhor posição para realização do “*grid*” de tomada de fotos (Fig. 4). O planejamento de alto recobrimento (lateral e longitudinal) visou garantir que um grande número de *key-points* pudesse ser identificado nas imagens.

Configurações especificadas para o voo:

- Altura do voo: 100m
- Área sobrevoada: 5,12 ha
- Número de linhas de voo: 11
- Número de fotografias: 104
- Recobrimento frontal e lateral: 85%

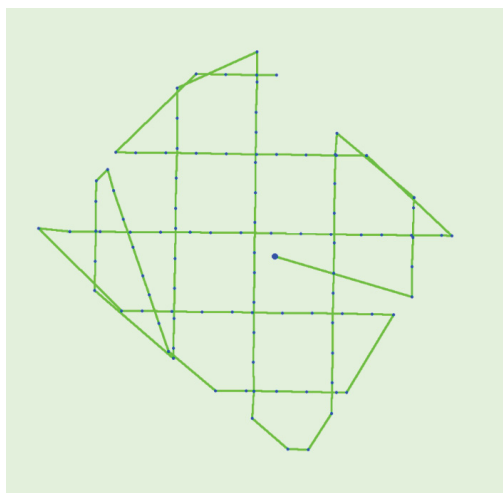


Figura 4 - Vista superior do planejamento de voo. A linha verde segue a posição da captura das imagens.

Etapa 2: Execução do voo

Nesta operação foi checada todas as condições do hardware (Fig. 5) (configurações e estado do RPA), desde os níveis de bateria para a conclusão do voo até as configurações realizadas na etapa anterior por medidas de segurança. Toda operação foi realizada do solo acompanhada visualmente pelo “*display*” do aparelho do celular. O retorno do RPA também foi realizado de forma autônoma.



Figura 5 – Demonstração da execução do plano de voo

Etapa 3: Processamento

Após a tomada das imagens, as mesmas foram gravadas e transferidas para o computador visando a realização de uma avaliação primária. Realizada esta conferência procedeu-se a orientação das fotografias através do software Pix4D seguindo as seguintes configurações:

a) Detalhes do processamento Inicial

Sistema de Coordenadas de imagem: WGS84 (egm96)

Sistema de Coordenadas de Saída_ WGS 84 / UTMzone 22S (egm96)

Modelo detectado: nenhum modelo disponível

Escala de imagens de pontos chave: cheio, Escalada de imagem:1

Extração avançada de Keypoints: Automático

b) Configuração do MSD do ortomosaicos

Resolução MSD: 1 x GSD (2,5cm/píxel)

Ortomosaico gerado: sim

Geo Tiff sem transparência: não

Google Maps Tiles e KML: sim

Resolução MTD: 5 x GSD (2,5cm/píxel)

c) Configuração da densificação da nuvem de pontos

Escala da imagem: multiescala $\frac{1}{2}$ (metade do tamanho da imagem, padrão)

Densidade de Pontos: alta (lenta)

Número mínimo de matches: 3

Geração de malha texturizada 3D: sim, com alta resolução

Foram então geradas as nuvens de pontos as quais foram utilizadas para a geração de Modelos Digitais de Superfície (MDS), seguidamente a confecção do Modelo Digital do Terreno (MDT). O número de imagens processadas foi de 104, sendo 103 calibradas. Para o processamento do ortomosaico e MSD a resolução foi de 1 x GSD 2,5 cm/píxel e para o MDT uma resolução de 5 x GSD 2,5 cm/píxel.

O processamento teve uma duração de 19m:51s para geração de MDS, 21m:55s para o ortomosaico e 03m:28s para p MDT. Ambos os produtos, foram exportados para o ArcGIS, onde as métricas das árvores foram extraídas.

3.4.2 Coleta das variáveis dendrométricas pelo método tradicional

Para a avaliação e comparação com as técnicas estimadas pelos RPAs, foi necessário realizar o inventário florestal em campo. Para tanto, todos os diâmetros a 1,30m de altura das árvores foram medidos com fita métrica. Adicionalmente, as respectivas alturas totais foram estimadas com o uso de um Vertex IV da marca Haglölf. Estas medidas serviram de base para a avaliação do desempenho das técnicas remotas.

Fez-se também um controle através de croqui de localização dos indivíduos levantados visando garantir a identificação e alocação exata da medida de cada árvore. A representação esquemática do sentido do caminhamento das medições está demonstrada na Figura 9.

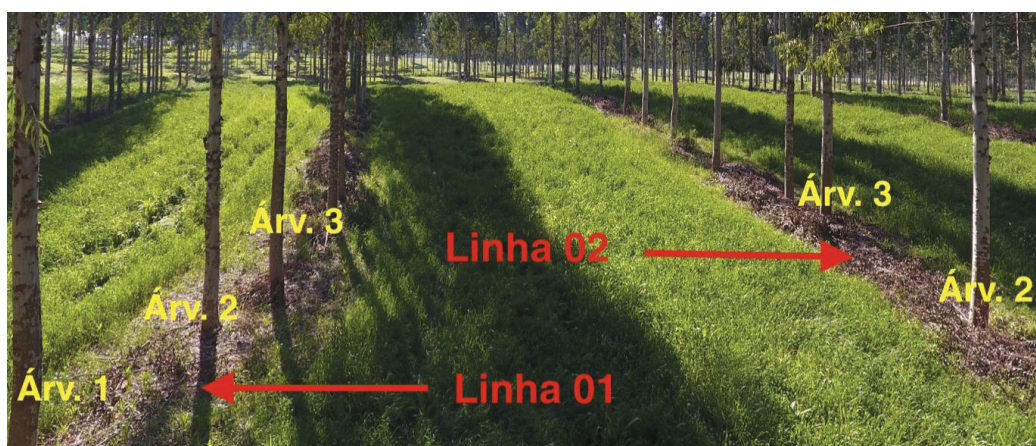


Figura 6 – Demonstração do caminhamento da mensuração das árvores

4 RESULTADOS

4.1 Identificação da posição individual das árvores

A Fig. 10.a mostra o modelo digital de superfície (MDS) (à esquerda) estabelecido a partir de imagens obtidas com RPA, e o resultado (à direita) da ortomagem RGB na área de estudo. Similarmente, Fig. 10(a) DSM (na esquerda) e o resultado da segmentação Fig. 10(b) (à direita) sobrepondo a ortomagem RGB na área de trabalho. As 50 árvores (marcadas com pontos vermelhos) foram claramente identificadas, como mostra a Fig. 10 (b). Em particular, as árvores que estavam em um adensamento maior no espaçamento e que tinham uma copa pequena foram as mais difíceis de serem reconhecidas. Em alguns casos duas árvores foram identificadas como sendo um único objeto, precisando com isto uma interpretação mais apurada caso isso ocorresse.

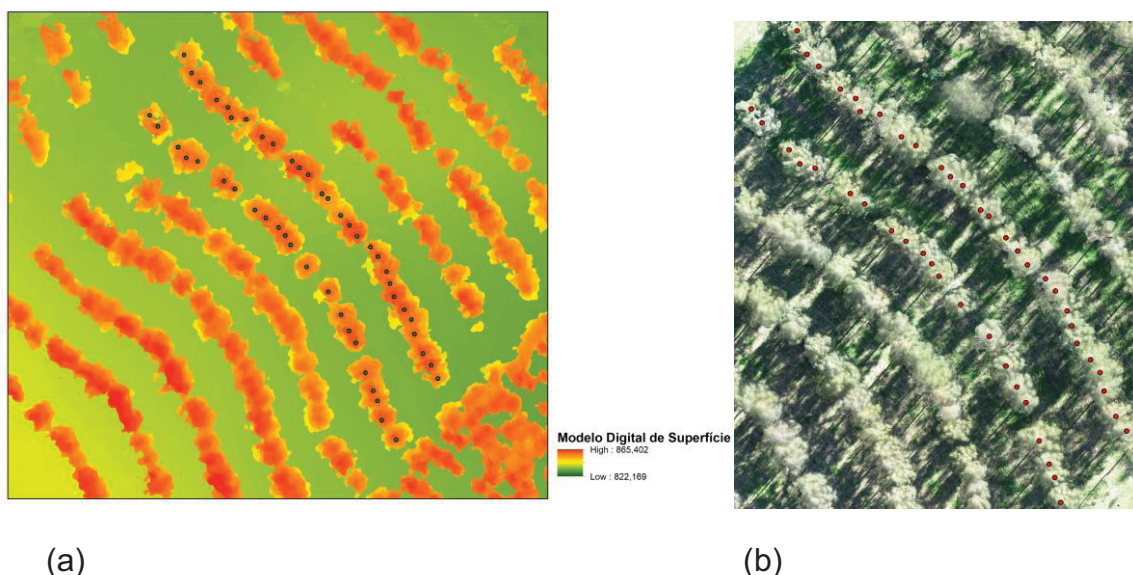


Figura 7 – a. Modelo Digital da Superfície e b. Ortoimagem

4.2 Extrações das alturas das árvores com RPA

Após o processamento das imagens, as mesmas foram convertidas em arquivos vetoriais. A posição do centróide e da área do polígono calculadas através do ArcGIS determinando a altura da árvore pelo ponto mais elevado na escala de cores utilizada (Figura 11), repetindo o procedimento individualmente para cada árvore. Esta informação foi usada para estimar os parâmetros individuais de altura. Conforme explicado, a altura individual da árvore foi determinada a partir do maior valor do MDS, ou nesse caso maior valor do modelo de altura da copa dentro do polígono segmentado assim como realizado nos estudos de (Hyyppä et al., 2001; La et al., 2015).

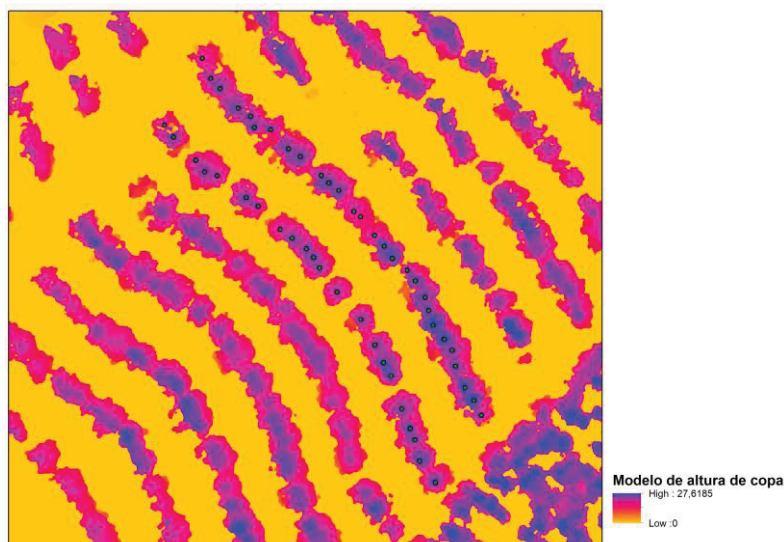


Figura 8 – Resultado do modelo de altura de copa

Nesse trabalho, as detecções de topos de árvores com copas mais amplas foram identificadas com maior facilidade em comparação as árvores com copas menores, ocorre que as copas maiores em alguns casos acabam sobrepondo as copas menores dificultando a identificação das mesmas. Essa abordagem poderia ser prejudicada em áreas onde as copas das árvores não poderiam ser identificadas devido à sobreposição de árvores, que geralmente ocorre em áreas de florestas naturais ou em plantios heterogêneos.

Quando se pensa em precisão na métrica extraída, a modelagem do solo para realizar a normalização é muito importante. Diante desse aspecto, as clareiras entre as árvores são muito úteis subsidiando a melhor modelagem do terreno e assim, garantindo melhores métricas nas estruturas da floresta. Segundo Zarco-Tejada et al. (2014) as estruturas de copa mais abertas pode produzir resultados mais precisos, uma que vez possibilita ajustar melhor o processo de interpolação com base nos parâmetros locais e obter mais pontos de terreno sob a folhagem podendo assim aumentar a precisão.

4.3 Comparações Métricas de Altura (Tratamento 1 x Tratamento 2)

A média das medidas de altura total, obtidas pelo método tradicional (Tratamento 1), foi de 22,9 m. Pelo tratamento 2 (com RPA), a altura total média foi de 21,7 (Tabela 1). Com base no desvio padrão e coeficiente de variação, a maior variação foi observada nos dados obtidos pelo (T1), enquanto a menor ocorreu com o uso do estimado com RPA (T2). Conformes os dados apresentados na Tabela 1 ambos os resultados do CV (Coeficiente de Variação) foram abaixo de <10% demonstrando a homogeneidade das amostras.

Tabela 1 - Estatística descritiva das alturas mensuradas nas parcelas amostradas

Tratamentos	Altura Total (m)				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	CV %
Método convencional (T1)	22,9	17,4	26,7	1,80	7,86
Estimado com RPA (T2)	21,7	15,9	24,9	1,73	7,97
Diferença (T1-T2)	1,2	1,5	1,8	0,07	

A Figura 12 mostra a diferença entre a altura das árvores na linha 1 medidas pelo T1 e as medidas com o T2 (RPA). Percebe-se que as alturas totais de todas as árvores foram subestimadas com a medição realizada pelo RPA. Outro ponto a ser analisado que algumas medidas pontuais tiveram maior interferência na média geral, as quais apresentaram grandes diferenças como foi o caso da árvore 4, 6, 7, 17 e 21 da linha 1. Lim et al. (2015) observaram resultados semelhantes em relação a subestimação de valores com a medição com RPA.

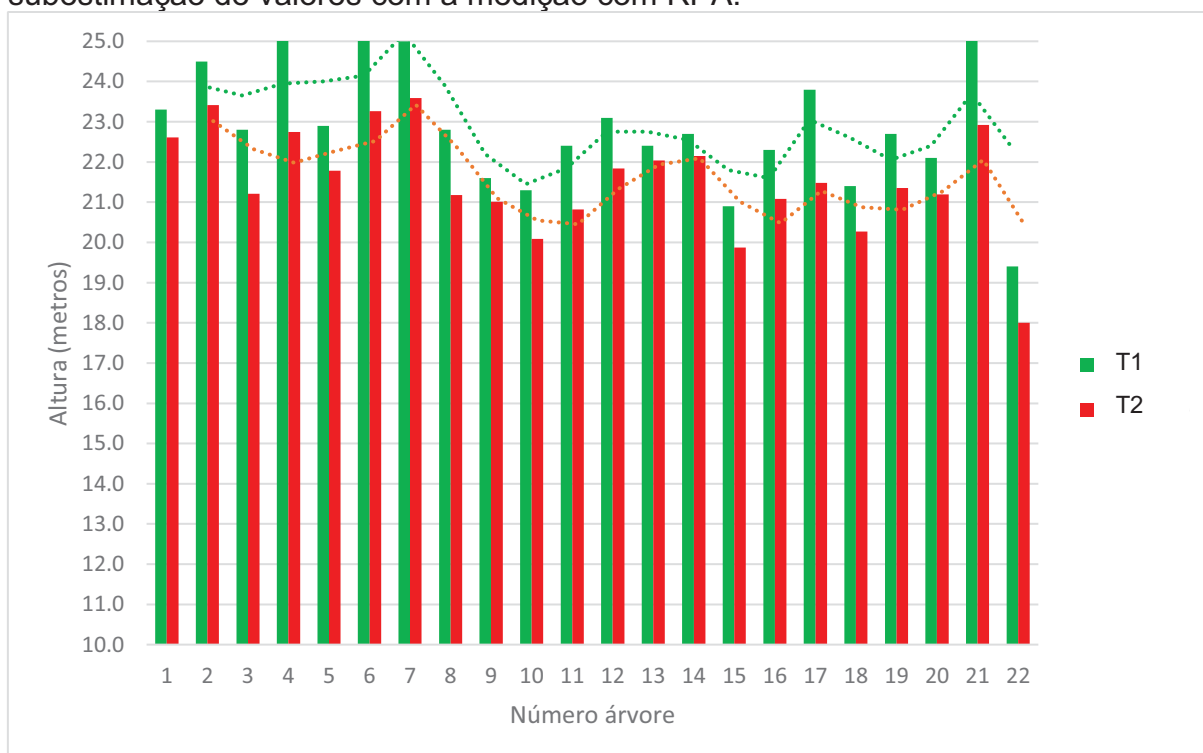


Figura 9 – Linha 1 do teste mostrando a diferença entre altura da árvore medida com T1 (hipsômetro Vertex) e pelo T2 (RPA).

Na Figura 13 o gráfico mostra a diferença entre a altura das árvores medidas na linha 2 pelo T1 e as medidas com T2 (RPA), novamente as árvores foram subestimadas com a medição realizada pelo RPA com exceção de 1 árvore de (número 22) superestimada. Algumas árvores apresentaram diferenças bem significativas como a árvore número 7 e 11 o que pode interferir na média geral dos resultados.

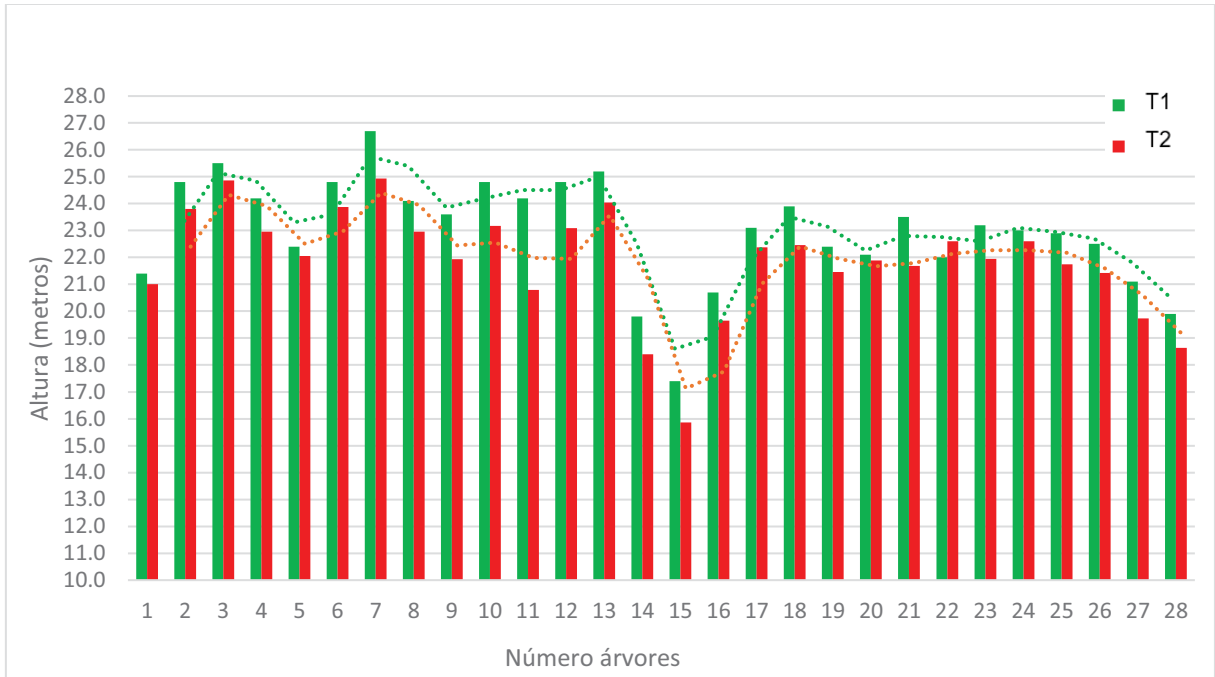


Figura 10 – Linha 2 do teste mostrando a diferença entre altura da árvore medida com T1 (hipsômetro Vertex) e pelo T2 (RPA).

4.4 Análises de correlação e teste estatístico

Na análise de correlação entre método tradicional (T1) e estimado com RPA (T2) observou-se correlação de Pearson de 0,932 mostrando que a técnica aplicada com RPA tem alta correlação (Figura 14) comparado com o método tradicional.

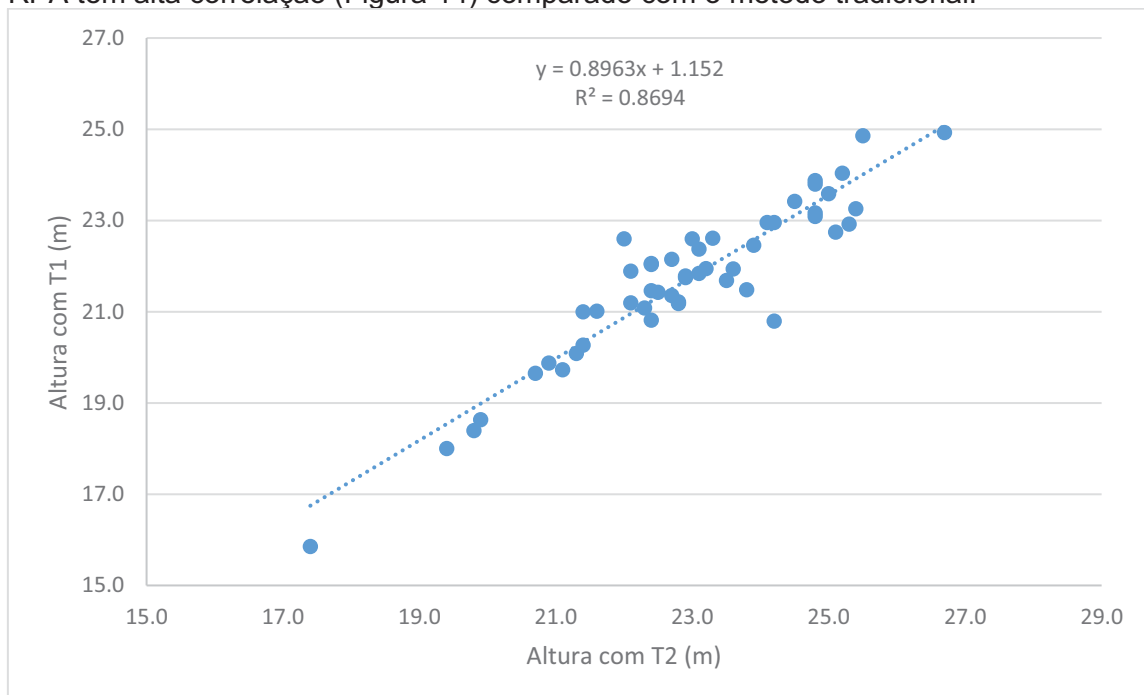


Figura 11 – Gráfico de correlação entre o método tradicional com hipsômetro (T1) e RPA (T2).

Porém, a análise de teste das médias (Test T) entre tratamentos foi realizada utilizando as 2 (duas) linhas unificadas através do teste Qui-quadrado, obedecendo aos valores das alturas totais de ambos os tratamentos (Tabela 2) e indicou que pelo teste de Qui-quadrado que foi observada diferença significativa, ao nível de significância de 1% para os 2 tratamentos.

5 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que apesar da alta correlação entre a altura total medida com o tratamento tradicional (T1) e estimado com tratamento RPA (T2), houve diferença significativa entre as médias das alturas tendendo o T2 em subestimar as alturas das árvores.

O tratamento 2 (RPA) apresentou valores de coeficiente de variação menores do que T1, tendo portanto, tendência de gerar estimativas mais próximas o que não necessariamente é realidade.

Novos testes, principalmente no que se diz respeito às alturas de voos, recobrimentos e pontos de controle deverão ser realizados, em diferentes horários, tentando aprimorar a qualidade das imagens e assim, observar sua influência nas estimativas geradas.

Ajustar o processo de interpolação com base nos parâmetros locais e obter mais pontos de terreno sob a folhagem podem aumentar a precisão do MDT e interferir positivamente na melhoria das métricas.

Concluimos que o T1 ainda é a forma mais rápida e conseqüentemente com um menor custo para o levantamento de pequenas amostragens.

Quanto ao comparativo da precisão entre os tratamentos T1 e T2 não foi possível a realização do mesmo, sugiro acrescentar um novo tratamento como testemunha (T0) com informações precisas para comparação dos métodos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA <https://www.embrapa.br/tema-geotecnologias/perguntas-e-respostas>

EVERAERTS, J. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for remote sensing and mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XXXVII, p.1187–1192. 2008.

HYYPPÄ, J., KELLE, O., LEHIKONEN, M. AND INKINEN, M. **A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-dimensional tree height models produced by laser scanner.** *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* 39, pp. 969-975. 2001.

LA, H.P.; EO, Y.D.; CHANG, A.J.; KIM, C.J. Extraction of individual tree crown using hyperspectral image and LiDAR data, *KSCE Journal of Civil Engineering*. V.19, n.4, p. 1078-1087. 2015.

LIM, H.; PARK, J.; LEE, D.; KIM, H. Your Own Quadrotor: Open-Source Projects on Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Robotics Automation Magazine*, n.19, v.3. p.33-45. 2012.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1981. 442p.

ROSA, ROBERTO **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 81-90.

RIBEIRO, G. S. **Inventários florestais por linhas de amostragem em reflorestamentos comerciais.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM –Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 47p. (2011).

SEUL LIM, Y.; LA, H.; SOO PARK, J.; HEE LEE, M.; WOOK PYEON, M.; KIM, J. **Calculation of Tree Height and Canopy Crown from Drone Images Using Segmentation.** *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*. n. 33, v. 6, p.605-613. 2015.

VERHOEVEN, G. Taking computer vision aloft—archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection* n.18, p.67-73. 2011.

VIBRANS, ALEXANDER C. REA – **Revista de estudos ambientais** (Online) v.14, n.1esp, p. 6-13, 2012

ZARCO-TEJADAA, P.J.; DIAZ-VARELAA, R.; ANGILERI, V.; LOUDJANI, P. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*. n. 55, p.89–99. 2014.