

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR**

**USO DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE REMOTAMENTE  
PILOTADA (ARP) PARA MENSURAÇÃO DO VOLUME DE TORAS DE  
MADEIRA EMPILHADAS EM PÁTIO INDUSTRIAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**LEONARDO HERAKI**

**IRATI – PR  
2020**

**LEONARDO HERAKI**

**USO DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP)  
PARA MENSURAÇÃO DO VOLUME DE TORAS DE MADEIRA EMPILHADAS EM  
PÁTIO INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, para a obtenção de título de Mestre.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Orientador

Prof. Dr. Henrique Soares Koehler  
Coorientador

Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho  
Coorientador

**IRATI – PR  
2020**

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da Unicentro

H531u

Heraki ,Leonardo.

Uso de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP) para mensuração do volume de toras de madeira empilhadas em pátio industrial / Leonardo Heraki. -- Irati, 2020.

xiii, 52 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2020.

Orientador: Eduardo da Silva Lopes

Coorientador: Henrique Soares Koehler

Coorientador: Paulo Costa de Oliveira Filho

Banca examinadora: Marcos Benedito Schimalski, Luciano Farinha Watzlawick, Vagner Alex Pesck, Eduardo da Silva Lopes

Bibliografia

ARP. 2. SfM-MVS. 3. Toras empilhadas. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

| CDD 634.9




## TERMO DE APROVAÇÃO


Defesa Nº 154


Leonardo Heraki


**“Uso de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP) para mensuração do volume de toras de madeira empilhadas em pátio industrial”**

Dissertação aprovada em 07/12/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

  
Dr. Marcos Benedito Schimalski  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
Primeiro Examinador

  
Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segundo Examinador

  
Dr. Vagner Alex Pesck  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segundo Examinador

  
Dr. Eduardo da Silva Lopes  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR  
2020

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Salvatore Renna – Padre Salvador, 875, Bairro Santa Cruz – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090  
CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR

**Campus Cedeteg:** Alameda Élio Antonio Dalla Vecchia, 838, Bairro Vila Carli – Fone: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-167 – GUARAPUAVA – PR

**Campus de Irati:** Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3000

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus, meu Senhor e Salvador.*

*A minha família pela força e incentivo em perseverar, especialmente aos meus pais, irmãos, tios, primos e a minha Vó. Amo muito todos vocês!*

*A minha esposa que me ajudou com muita dedicação e carinho!*

*Aos meus orientadores docentes que me guiaram nesta trajetória, compartilhando experiência e dedicação!*

*Aos meus colegas de trabalho e de pós-graduação que fizeram parte desta caminhada e contribuem para minha evolução!*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus! A Ele agradeço o ar que respiro e por estar ao meu lado me protegendo e proporcionando a realização dos meus objetivos.*

## EPÍGRAFE

*Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. (Ayrton Senna)*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJETIVOS .....	7
2.1 Objetivos Geral .....	7
2.2 Objetivos específicos .....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
3.1. Setor de Florestas Plantadas .....	8
3.2 Quantificação do Volume de Madeira .....	9
3.3 Geotecnologias.....	9
3.3.1 Sensores Remotos .....	10
3.3.1.1 Resolução Espacial .....	10
3.3.1.2 Resolução Espectral.....	10
3.3.1.3 Resolução Radiométrica .....	10
3.3.1.4 Resolução Temporal .....	11
3.3.2 Classificação dos Sistemas Sensores .....	11
3.4 Fotogrametria Digital.....	12
3.4.1 <i>Structure from Motion-Multiview Stereo (SfM-MVS)</i> .....	12
3.4.2 Calibração e posição relativa de câmeras .....	13
3.4.3 Modelo Digital de Superfície (MDS) .....	13
3.5 Aerofotogrametria.....	14
3.6 <i>Remotely Piloted Aircraft (RPA)</i> .....	14
3.7 Pontos de Controle GNSS.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4.1 Caracterização da Área de Estudo .....	17
4.2 Descrição do Pátio de Estocagem de Madeira.....	18
4.3. Coleta dos Dados .....	18
4.3.1 Obtenção das Imagens Aéreas .....	18
4.3.2 Pontos de Controle.....	20
Figura 5. Alvos para a obtenção dos pontos de controle. ....	21
4.3.3 Aferição manual do volume de madeira empilhada .....	21
4.3.4 Geração da nuvem de pontos e do Modelo Digital de Superfície (MDS) ...	22
4.4 Análise dos dados .....	25
4.5. Análise Estatística.....	25



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
6. CONCLUSÕES .....	32
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	34
ANEXOS .....	40

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANOVA	Analysys of Variance
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CAD	Computer Aided Design
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
GCP	Ground Control Point
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDE	Modelo Digital de elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
SFM-MVS	<i>Structure from Motion-Multi View Stereo</i>
PPP	Posicionamento por ponto preciso
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RTK	Real Time Kinematic
RTX	Real Time Extended
GIS	Geographic Information System
UAV	Unnamed Aerial Vehicle

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo.....	17
<b>Figura 2.</b> Imagem aérea da área do pátio de estocagem de toras.....	18
<b>Figura 3.</b> <i>DJI Phantom 4 Advanced</i> . Fonte: DJI (2019).....	19
<b>Figura 4.</b> Tela do aplicativo <i>Pix4d Capture</i> . ....	20
<b>Figura 5.</b> Alvos para a obtenção dos pontos de controle.....	21
<b>Figura 6.</b> Geomax Zenith 25 GNSS RTK.....	21
<b>Figura 7.</b> Aferição manual com fita métrica.....	22
<b>Figura 8.</b> Método de medição convencional.....	22
<b>Figura 9.</b> Etapas do Processamento Fotogramétrico.....	23
<b>Figura 10.</b> Seleção das unidades amostrais para quantificação volumétrica.....	24
<b>Figura 11.</b> Exemplo de “ <i>gap</i> ” e da função “ <i>close holes</i> ”.....	24
<b>Figura 12.</b> Quantificação volumétrica de madeira empilhada.....	25
<b>Figura 13.</b> <i>Tiled Model</i> no programa <i>Agisoft Metashape™ Professional</i> .....	27
<b>Figura 14.</b> Modelo Digital de Superfície (MDS).....	27
<b>Figura 15.</b> Resultados das aferições volumétricas.....	29

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b> Resumo dos erros planimétricos e altimétricos com utilização dos pontos de controle.....	28
<b>Tabela 02.</b> Análise de Variância (ANOVA).....	30
<b>Tabela 03.</b> Resultados do teste de Dunnett para a comparação das médias dos tratamentos contra a testemunha, ao nível de 5% de probabilidade.....	31

## RESUMO

Leonardo Heraki. **Uso de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP) para mensuração do volume de toras de madeira empilhadas em pátio industrial.** Para a obtenção de dados volumétricos de toras de madeira empilhadas, uma opção viável pode ser a utilização de ferramentas como ARP com câmera que permita capturar imagens com qualidade suficiente para gerar Modelos Digitais 3D em software de fotogrametria digital. Diante disso, este estudo teve como objetivo quantificar o volume de toras de madeira empilhadas em um pátio industrial, a partir de imagens aéreas com altíssima resolução espacial obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP). As aferições volumétricas foram testadas utilizando a técnica fotogramétrica *Structure from Motion-Multi View Stereo* (SfM-MVS) comparando com o método convencional de medição manual. O estudo foi realizado no pátio industrial da empresa Agrosepac Serrados Ltda, localizada no município de Mallet, Paraná, numa área de 0,55 hectares. Foram distribuídos 10 pontos de controle geodésicos, georreferenciados com uso de um receptor *GEOMAX RTK Zennith 25*, com rastreamento de constelação GPS L1/L2/L2C e GLONASS nas portadoras L1/L2. As imagens aéreas do pátio de estocagem de toras de madeira foram obtidas por uma aeronave remotamente pilotada (ARP) DJI PHANTOM 4 *Advanced* com câmera modelo FC6310, testando três alturas de voo diferentes (60, 80 e 100m). O levantamento de imagens aéreas com aeronave remotamente pilotada (ARP) combinados com programas de fotogrametria digital, para gerar modelos digitais de superfície (MDS), possibilita realizar aferições volumétricas de madeira empilhada. As aferições volumétricas utilizando a técnica fotogramétrica SfM-MVS, a partir de imagens obtidas a 60, 80 e 100m de altura, não apresentaram diferenças significativas em relação ao método convencional de medição manual. Em relação ao tratamento 4 (testemunha), representado pelo método convencional, as médias das estimativas volumétricas testadas nos tratamentos 1, 2 e 3, pela técnica SfM-MVS, utilizando imagens obtidas a 60, 80 e 100m de altura, apresentaram variações de 17,50%, 14,93% e 8,31%, respectivamente. Os modelos 3D gerados a partir de imagens coletadas com altura de voo de 100m, apresentaram uma variação de 8,31% em relação a sua respectiva verdade, sendo a única altura de voo testada que apresentou resultado dentro da tolerância de até 10% estabelecida pela indústria florestal. Portanto, foram considerados os melhores modelos para obtenção de estimativas volumétricas, aqueles gerados a partir de imagens obtidas com altura de voo de 100m.

**Palavras-chave:** ARP; SfM-MVS; Toras empilhadas.

## ABSTRACT

Leonardo Heraki. **The use of captured images by remotely piloted aircraft (RPA) to measure the volume of stacked logs in a storage yard.** The volumetric estimation of stacked logs can be made using RPA with cameras that capture high quality images to build 3D Models on photogrammetry software. This study aimed to quantify the volume of stacked logs in a storage yard through high spatial resolution aerial images obtained by remotely piloted aircraft (RPA). The volumetric estimation were tested using Structure from Motion-Multi View Stereo (SfM-MVS) in relation the convencional method of measurement. The scientific study was carried out in the storage yard of the company Agrosepac Serrados Ltda, located in the city of Mallet. The yard area is 0.55 hectares, where It was allocated ten ground points (GPC's) georeferenced by GEOMAX RTK Zennith 25 receiver, with GPS constellation L1 / L2 / L2C and GLONASS L1 / L2. The aerial images of the storage yard were captured by a remotely piloted aircraft (RPA) DJI PHANTOM 4 Advanced with camera FC6310. It was tested three different flight altitude (60, 80 and 100m). The survey of aerial images with remotely piloted aircraft (RPA) combined with photogrammetry softwares to build digital surface models (DSM), makes it possible to carry out volumetric measurements of stacked logs. The volumetric measurements using the SfM-MVS, from images obtained on 60, 80 and 100m flight altitude, but there is no significant difference in relation to conventional method of measurement. The treatment 4 (control), that is the conventional method, the averages of the volumetric estimates tested in treatments 1, 2 and 3, using the SfM-MVS technique, using images obtained at 60, 80 and 100m flight altitude, their showed variations of 17, 50%, 14.93% and 8.31%, respectively. It showed results within 10% tolerance by the forest industry, therefore the best models for obtaining volumetric estimates were considered, when it used aerial images by RPA flying 100m altitude.

Keywords: RPA; SfM-MVS; stacked logs.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo em florestas plantadas a partir de imagens de alta resolução espacial obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP), *Remotely Piloted Aircraft (RPA)*, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou *Unmanned Aircraft Systems (UAS)* pode assumir um papel fundamental para o avanço na obtenção de informações da floresta com agilidade e alta precisão. Aliada ao desenvolvimento de novas metodologias de coleta e de processamento de dados aerofotogramétricos, a utilização de imagens aéreas possibilita uma alternativa viável para obtenção de dados da produção de madeira.

A quantificação volumétrica de toras de madeira empilhadas a partir de imagens obtidas por ARP, apresenta potencial de fornecer dados para o controle do estoque no campo e nos pátios industriais das empresas florestais, podendo apresentar eficácia na obtenção de informações deste processo produtivo.

A produção florestal estabelece parâmetros para as relações comerciais, pois está diretamente relacionada ao pagamento dos serviços para a obtenção da matéria-prima. Por isso, muitas empresas florestais buscam estimar o volume de toras de madeira no campo e nos pátios industriais com maior acurácia, desta forma, possibilitando remunerar as atividades e os produtos florestais de forma mais assertiva.

Normalmente, a madeira é comercializada após a quantificação das toras empilhadas na margem do talhão, podendo utilizar diversos métodos de medição. Pelo método convencional, mediante cálculos, determina-se o volume aparente (estéreo), este procedimento considera os espaços vazios entre as toras, após o uso de um fator de conversão é possível a obtenção do volume sólido de madeira. Existe ainda a possibilidade da quantificação da madeira em unidade de massa (tonelada) usando balanças de pesagem, sendo neste método executadas duas pesagens, a primeira realizada com o veículo de transporte carregado de madeira (peso bruto total ou peso bruto total combinado), e posteriormente descontado pelo peso vazio do veículo de transporte.

Contudo, muitas vezes nas empresas, as estimativas de volume de madeira podem apresentar baixo nível de acurácia, principalmente nas aferições manuais, sendo utilizados fatores de conversão médio para a determinação dos dados volumétricos de madeira sólida, enquanto outras não possuem sistemas de pesagens instaladas nos pátios industriais.

A busca pela otimização no processo de recebimento e pagamento de madeira, possibilita a introdução de novos métodos de aferição com maior precisão em relação aos métodos tradicionais, maior rapidez e baixo custo operacional (SILVA et al., 2005).

Segundo Acuna e Sosa, (2018), pelo elevado custo da madeira, torna-se necessária a implementação de novos procedimentos e tecnologias de medição que forneçam estimativas volumétricas de toras de madeira com maior acurácia, pois as imprecisões das aferições volumétricas podem afetar as receitas e os contratos comerciais entre prestadores de serviços e as empresas florestais.

Para Figueiredo et al. (2016), o uso de câmeras fotográficas instaladas em ARP, consiste em uma alternativa de baixo custo para modelagem 3D, visando à estimativa do volume de toras de madeira em pátios de estocagem de toras.

A utilização de softwares comerciais que usam algoritmos para restituição fotogramétrica digital e geração de modelos 3D estão progredindo rapidamente. Esta abordagem tem se mostrado tão precisa quanto a baseada em sistemas de digitalizações a laser, mas apresenta uma opção mais acessível devido ao menor custo de aquisição. (KOCI et al., 2017).

Portanto, as hipóteses estabelecidas neste trabalho foram que o uso de imagens aéreas obtidas por ARP com altíssima resolução espacial, processadas em *software* de fotogrametria digital, possibilitam a quantificação volumétrica de toras de madeira empilhadas; quanto maior a resolução espacial dos modelos digitais de superfície (MDS), mais acuradas serão as estimativas volumétricas pela técnica fotogramétrica *Structure From Motion-Multi View Stereo* (SfM-MVS) em comparação ao método convencional de medição manual.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Geral**

Quantificar o volume das toras de madeira empilhadas em um pátio industrial, a partir de imagens com altíssima resolução espacial obtidas por aeronave remotamente pilotada (ARP).

### **2.2 Objetivos específicos**

- Gerar modelos digitais de superfície (MDS) para obtenção de estimativas volumétricas de toras de madeira empilhadas com uso da técnica fotogramétrica *Structure from Motion-Multi-View-Stereo* (SfM-MVS); e
- Comparar os resultados das estimativas volumétricas utilizando a técnica SfM-MVS com o método convencional de medição manual.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Setor de Florestas Plantadas**

As áreas de plantios florestais com espécies do gênero *Pinus* tiveram um aumento significativo a partir dos anos 60, principalmente durante a vigência dos incentivos fiscais, no período entre 1966 e 1988 (KENGGEN, 1999). Entretanto, após o término dos incentivos fiscais, não houve uma iniciativa de reposição dos reflorestamentos, afetando diretamente a oferta de matéria-prima para os setores industriais. Diante disto, as florestas plantadas começaram a ser financiadas por recursos próprios das empresas de base florestal de modo a tornarem-se autossuficientes (CASTANHO FILHO et al., 2011).

Segundo Ribaski (2018), o setor florestal contribui significativamente para a economia brasileira em virtude da geração de impostos, fornecimento de produtos para o mercado interno e para a exportação, bem como atuando na conservação e na preservação dos recursos naturais. Para Moreira et al. (2017), inicialmente, a madeira proveniente de floresta plantada foi utilizada para suprir a demanda da indústria de celulose e papel e, posteriormente, de outros setores, tais como a produção de painéis, siderurgia e secagem de grãos.

O setor florestal apresentou crescimento na geração de empregos, com 3,8 milhões de pessoas contratadas em 2018, destes 513 mil foram empregos diretos, proporcionando uma renda de R\$10,2 bilhões (IBÁ, 2019).

O Relatório Anual da Indústria Brasileiras de Árvores (IBÁ, 2019), informa que a área total de florestas plantadas no Brasil em 2018 totalizou 7,83 milhões de hectares, sendo 1,6 milhão de hectares formados por plantios de pinus, a maior parte estão situadas nas regiões sul e sudeste do país.

Os dados de produção da extração vegetal e da silvicultura apontam que as florestas de pinus no Brasil produziram em torno de 6,8 mil toneladas de carvão vegetal, 3,4 milhões de metros cúbicos de lenha, 15,4 milhões de metros cúbicos de madeira em tora para produção de papel e celulose, além de 23,7 milhões de metros cúbicos de madeira em tora para outras finalidades como serrados, laminados e painéis (IBGE, 2018).

De acordo com Moreira et. al (2017), trata-se de um setor estratégico para o fornecimento de matéria-prima, promovendo a participação de pequenos e médios produtores rurais. Além disso, existe uma tendência mundial na criação de fundos de investimentos que aplicam recursos em projetos florestais, visando o retorno financeiro, ambiental e social.

### 3.2 Quantificação do Volume de Madeira

O volume sólido de madeira pode ser determinado por diferentes métodos, seja por meio de medição direta ou indireta. Normalmente, muitas empresas florestais adotam o volume estéreo (aparente) e o volume sólido (metro cúbico) para a quantificação volumétrica de pilhas de madeira, tanto no campo quanto no pátio das indústrias (SILVA, 2003).

Para a obtenção do volume com maior precisão de forma direta é necessário a cubagem rigorosa, que é considerado o método mais preciso para a determinação do volume de toras (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009). Segundo esses autores, a cubagem rigorosa requer elevada mão-de-obra, tempo de execução e custos.

Para a quantificação do volume de madeira empilhada de forma indireta, as estimativas de volume podem refletir resultados irrealistas quanto aos rendimentos de processos produtivos e quanto ao pagamento de serviços relacionados ao corte, transporte e a comercialização da madeira (SOARES et al., 2003).

De acordo com Oliveira Sobrinho et al. (2018), os resultados obtidos na quantificação da produção de madeira em campo, a partir de imagens obtidas remotamente por aeronave não tripulada apresentaram baixa variação em relação ao volume posto na indústria. Segundo os mesmos autores, os resultados obtidos do volume das pilhas de madeira, o fator de empilhamento, tanto quantitativos quanto de rendimento, foram superiores quando comparados ao método de medição manual com trena métrica.

### 3.3 Geotecnologias

Segundo Rosa (2005), as Geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. Apresentam soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que juntos proporcionam ferramentas úteis para a tomada de decisões.

Para Santos et al. (2012), o avanço das geotecnologias tem possibilitado a realização de atividades relacionadas à aquisição, processamento, interpretação e análise de dados georreferenciados, beneficiando diversas áreas, como o setor florestal. Dentre as geotecnologias destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR), *Global Positioning System* (GPS), Aerofotogrametria, dentre outros.

### **3.3.1 Sensores Remotos**

Os sensores remotos são dispositivos que apresentam capacidade para coletar a energia eletromagnética, em determinadas faixas do espectro eletromagnético, proveniente de um objeto, convertê-la em um sinal elétrico passível de ser registrado, de modo que possa ser armazenado ou transmitido, conforme à extração das informações (MORAES, 2002).

A qualidade de um sensor pode ser determinada pela sua capacidade de captar dados detalhados da energia eletromagnética, e estão relacionadas com a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. (GUEDES; SILVA, 2018).

#### **3.3.1.1 Resolução Espacial**

A resolução espacial ou geométrica, representa a capacidade do sensor em medir e distinguir objetos, dependendo principalmente do posicionamento do sensor em relação ao objeto (MORAES, 2002). O ângulo definido pela projeção é denominado de campo de visada instantânea ou IFOV (*Instantaneous Field of View*), que define a área do terreno imageada a uma dada altitude pelo instrumento sensor (FLORENZANO, 2011).

Para Moreira (2007), o IFOV está intimamente relacionado com o tamanho do pixel. Geralmente, somente os objetos maiores do que a área do píxel pode ser identificada na imagem, no entanto isso também depende da reflectância e contraste entre objetos.

#### **3.3.1.2 Resolução Espectral**

A resolução espectral refere-se à medida da largura e do número das faixas espectrais do sistema sensor, conseqüentemente, a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detector, ou seja, quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda, melhor será a resolução espectral da coleta (MORAES, 2002).

Portanto, pode-se afirmar que um sensor tem melhor resolução espectral se possuir maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com largura de banda estreita. (FLORENZANO, 2011).

#### **3.3.1.3 Resolução Radiométrica**

A resolução radiométrica está associada à sensibilidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças nas energias refletida e/ou emitida pelos elementos que compõem a cena (MORAES, 2002). Logo, maior será a resolução radiométrica quanto maior for a capacidade do detector em medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância (FLORENZANO, 2011).

O número de níveis normalmente é expresso em função do número de dígitos binários (bits) necessários para armazenar, na forma digital, a informação recebida. Este valor é sempre uma potência do número 2, podendo ser usado como exemplo o sistema sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5, que distingue até 256 tons de sinais, representando-os em 256 níveis de cinza.

#### **3.3.1.4 Resolução Temporal**

A resolução temporal está relacionada com a frequência de passagem do sensor num mesmo local num determinado intervalo de tempo. A repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto é de grande interesse, especialmente para acompanhar ou detectar fenômenos e a dinâmica do uso do solo na Terra, como o ciclo fenológico de culturas, desmatamentos, desastres ambientais, tendo forte impacto no monitoramento ambiental (MENESES, 2012).

#### **3.3.2 Classificação dos Sistemas Sensores**

Segundo Florenzano (2011), os sistemas sensores podem ser classificados de acordo com o produto gerado, (imageadores e não-imageadores) e quanto à fonte de energia eletromagnética (ativo e passivo)

De acordo com Florenzano (2011), os sensores imageadores, como por exemplo, as câmeras fotográficas, fornecem como produto uma imagem da cena de interesse. Os sistemas imageadores podem ser divididos em:

Sistema de quadro (*framing systems*) - A imagem da cena é adquirida em sua totalidade num mesmo instante.

Sistema de varredura (*scanning systems*) - Formada pela aquisição sequencial de “imagens elementares do terreno” ou “elemento de resolução”, também chamado de “pixel”.

Por outro lado, os sistemas não-imageadores, também conhecidos como radiômetros ou espectroradiômetros, apresentam o resultado de forma de dígitos ou gráficos (MORAES, 2002).

Os sensores passivos não possuem uma fonte própria de radiação, ou seja, dependem de uma fonte de radiação externa para operação, como por exemplo, a radiação solar (IBGE, 2001).

Quando os sensores não dependem da radiação de uma fonte externa, são denominados como sensores ativos, pois produzem sua própria radiação (IBGE, 2001). Eles possuem a função de emitir energia eletromagnética em determinada faixa espectral que interage com os

objetos a serem imageados e detectam parte desta energia que é refletida, então, captada pelo sensor. Como exemplo de sistema ativos, têm-se os radares e o laser (MORAES, 2002).

### 3.4 Fotogrametria Digital

De acordo com Jensen (2009), a fotogrametria digital é a arte, ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis utilizando fotografias digitais, cujo objetivo é a extração de informação quantitativa.

Técnicas fotogramétricas digitais, expandiram as possibilidades de uso para diversas aplicações em relação a fotogrametria analógica, o que proporcionou a obtenção de modelos tridimensionais fotorealísticos, ortofotos digitais, além de desenhos e medidas da Fotogrametria tradicional (AMORIM e GROETELAARS, 2004).

#### 3.4.1 Técnica fotogramétrica *Structure from Motion-Multiview Stereo* (SfM-MVS)

Segundo Paoli e Trindade (2015), a técnica conhecida como *Structure from Motion* (SfM) consiste em extrair dados tridimensionais utilizando imagens capturadas em 2D, ou seja, a partir de um conjunto de fotografias de uma determinada cena, processadas por um software de fotogrametria digital, gera-se uma estrutura 3D.

Segundo Graça (2019), O método SfM pode ser definido como um conjunto de etapas que incluem a identificação e correspondência automática de pontos notáveis (*tie points*) *Bundle Adjustment*” e a densificação de pontos.

Para Westoby et al., (2012), a vantagem fundamental do SfM é que ao utilizar um conjunto de algoritmos de visão computacional, permite a detecção e alinhamento automático de várias imagens bidimensionais sobrepostas, com diferentes orientações e posições, para triangular e gerar nuvens de pontos tridimensionais. Também pode ser denominada como fotogrametria de múltiplas visadas ou *multi-view photogrammetry*.

De acordo com Viana, 2015, a principal diferença do processo SfM em relação a fotogrametria clássica resume-se na utilização de algoritmos avançados para a correspondência de imagens, em que a geometria da cena, a orientação e a posição das câmeras podem ser resolvidas automaticamente, sendo desnecessário especificar, um conjunto de coordenadas 3D no espaço objeto, para a simples geração de modelos tridimensionais. A solução destes dados é obtida simultaneamente por meio de um ajustamento iterativo (“*Bundle Adjustment*”) altamente redundante, extraída de forma automática de um conjunto de fotografias sobrepostas.

A fotogrametria digital por SfM-MVS é uma técnica fotogramétrica, que como a fotogrametria convencional, objetiva gerar medidas 3D a partir de imagens sobrepostas,

utilizando computação visual para a reconstrução da geometria de uma cena (WESTOBY et al., 2012).

Segundo Baldivieso (2020), o processo de otimização da estrutura tridimensional adquiridas com o SfM, pode ser feita utilizando softwares de *ClusteringViews for Mult-viewStereo* (CMVS), desta forma é gerada a superfície do modelo tridimensional, sendo possível a realização de cálculo de volume. Para o mesmo autor, para extrair dados quantitativos do modelo partindo da técnica SfM, é primordial a definição de unidades de medidas, sendo necessário a utilização de pontos de controle com coordenadas conhecidas. Essa necessidade se dá pelo intuito de colocar o modelo que foi gerado em escala.

### **3.4.2 Calibração e posição relativa de câmeras**

Segundo Salvi (2002), a calibração de câmeras é fundamental para determinar a posição e os aspectos dos objetos identificados nas imagens. Basicamente a calibração de câmeras consiste em estabelecer uma relação entre os pontos da imagem e as coordenadas espaciais em unidades métricas. Fernandez (2009), definiu que a calibração da câmera é o processo realizado para calcular o valor dos parâmetros intrínsecos, extrínsecos e os coeficientes de distorção da lente, sendo uma etapa importante para a estimação da posição relativa entre as câmeras.

De acordo com Rudek (2006), a posição relativa entre as câmeras é dada por uma matriz de rotação e um vetor de translação, que resulta numa expressão matricial conhecida como matriz essencial. Por sua vez, a estimação da matriz essencial é uma etapa anterior a geração do modelo 3D. Procedimentos para estimação da Matriz essencial são aplicadas na reconstrução 3D, onde a precisão de medidas se faz necessária.

### **3.4.3 Modelo Digital de Superfície (MDS)**

Segundo EL-SHEMY et al. (2005), quando o modelo é utilizado para representar a superfície topográfica, compreendendo pontos do terreno e dos objetos existentes acima, como árvores e feições antrópicas, o modelo é chamado de Modelo Digital de Superfície (MDS).

Para o mesmo autor, a geração do MDS, utilizando imagens ópticas, requer fundamentalmente o processo de correspondência entre imagens. Mesmo que os algoritmos e as estratégias de correspondência utilizadas, em geral, possam diferir, a acurácia e os problemas ocorridos são similares em muitas aplicações comerciais ou acadêmicas.

### **3.5 Aerofotogrametria**

Segundo Vettorazzi e Ferraz (2000), aerofotogrametria refere-se às operações fotogramétricas realizadas com fotografias da superfície terrestre obtidas por uma câmera de precisão com o eixo ótico do sistema de lentes, montada em uma aeronave preparada. Pode ser utilizada na Cartografia, Planejamento e Desenvolvimento Urbano, Engenharias Civil, Agrônômica, Florestal etc.

O planejamento de voo com RPA prevendo o processamento fotogramétrico, contempla as linhas de voo e a quantidade de fotografias por linha de voo e o ângulo do eixo ótico da câmera e com sobreposição longitudinal e lateral, de forma que permita a estereoscopia. (KRAUS, 2007).

Segundo Graça (2019), a sobreposição longitudinal mínima necessária para garantir estereoscopia é de 50%. Já para assegurar a conexão entre as linhas de voo e evitar falhas por não possuir informação, é necessário recobrimento lateral mínimo de 30%.

Para o mesmo autor, na fotogrametria clássica o recobrimento longitudinal é equivalente a 60% e a sobreposição lateral de 30%, no entanto, devido as influências atmosféricas é recomendável aumentar o recobrimento ao utilizar aeronaves de pequeno porte.

### **3.6 Remotely Piloted Aircraft (RPA)**

Os RPA's podem ser descritos como veículos aéreos motorizados, reutilizáveis e não tripulados, que podem ser operados realizando voos semiautônomos, autônomos ou uma combinação dessas capacidades (BLYENBURGH, 1999).

Com a evolução da engenharia espacial, surgiram alternativas à utilização de aeronaves com piloto e fotógrafo embarcado, tais como, os satélites e os sensores multiespectrais. O uso de RPA's (Aeronaves Remotamente Pilotadas) apresenta uma opção promissora, devido aos custos relativamente reduzidos, flexibilidade e a possibilidade de serem controlados remotamente, proporcionando maior segurança na operação (CASSEMIRO et al., 2014).

A utilização de RPA's tem aumentado em quantidade e variabilidade no Brasil, onde o espaço aéreo é regulamentado por três órgãos federais que normatizam o cadastro, homologação e autorizações de voo: DECEA (Departamento de Controle do espaço aéreo), ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), respectivamente.

As normas para operações civis de aeronaves não tripuladas no espaço aéreo brasileiro são estabelecidas pela portaria DECEA Nº 112/DGCEA, de 22 de maio de 2020, o qual aprova a reedição da Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40.



A regulamentação leva em consideração o nível de complexidade, do risco envolvido nas operações e nos tipos de equipamentos, sendo definidas três classes de RPA's:

Classe 1 - Peso acima de 150 kg, precisa obter registro junto à ANAC e portar um Certificado de Aeronavegabilidade padrão ou restrito. Além disso, é necessário executar uma Inspeção Anual de Manutenção (IAM) na aeronave e em seu sistema (RPAS) a cada 12 meses.

Classe 2 - Entre 25 e 150kg, deve ser registrada pela ANAC e possuir um Certificado de Aeronavegabilidade Especial (CAER).

Classe 3 - Entre 250g e 25kg. Essas aeronaves operam na linha de visada até 400 pés acima do nível do solo, neste caso não precisam ter um projeto autorizado, ou tipo de certificado pela ANAC, sendo assim, não é necessário obter certificado de aeronavegabilidade. Para esses equipamentos, basta fazer o cadastro no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT).

Os veículos aéreos não tripulados podem utilizar tecnologias para levantamentos de informações, tais como: navegação inercial, piloto automático, sensor anticolisão, gravação de dados de voo e sistemas de navegação GNSS *Waypoint* (SHABAZI et al., 2014).

Viana (2017), realizou um estudo sobre a análise da qualidade posicional do MDS e MDE a partir de imagens obtidas por VANT e refinados com uso de GNSS RTK. O autor concluiu que a integração dos dados coletados por VANT e os pontos de controle levantados por receptores GNSS RTK, melhorou a qualidade posicional dos modelos, indicando que este método apresenta potencial para gerar modelos com maior qualidade posicional.

### **3.7 Pontos de Controle GNSS**

Os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) coletam informações altimétricas elipsoidais e planimétricas com rapidez e acurácia na determinação da posição geográfica para calcular a posição adequada de um ponto na superfície terrestre, as coordenadas espaciais são calculadas baseando-se nas efemérides transmitidas pelos satélites conforme um algoritmo previamente definido (PRINA; TRENTIN, 2015). As efemérides definem a posição de um objeto no espaço. A partir dessa análise, os satélites executam a triangulação das suas respectivas localizações, o seu receptor de sinal e o centro da Terra, e desta forma, fornece as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altura) de qualquer ponto da superfície terrestre (MIRANDA, 2005).

Nasrullah (2016) realizou um estudo numa área em torno de seis hectares, sobre a qualidade posicional das imagens, a quantidade e a distribuição dos pontos de controle, diferentes altitudes de voo, inclinações de câmera, recobrimentos entre imagens e faixas de voo. O autor concluiu que os fatores que mais afetam a deformação do bloco fotogramétrico são: o

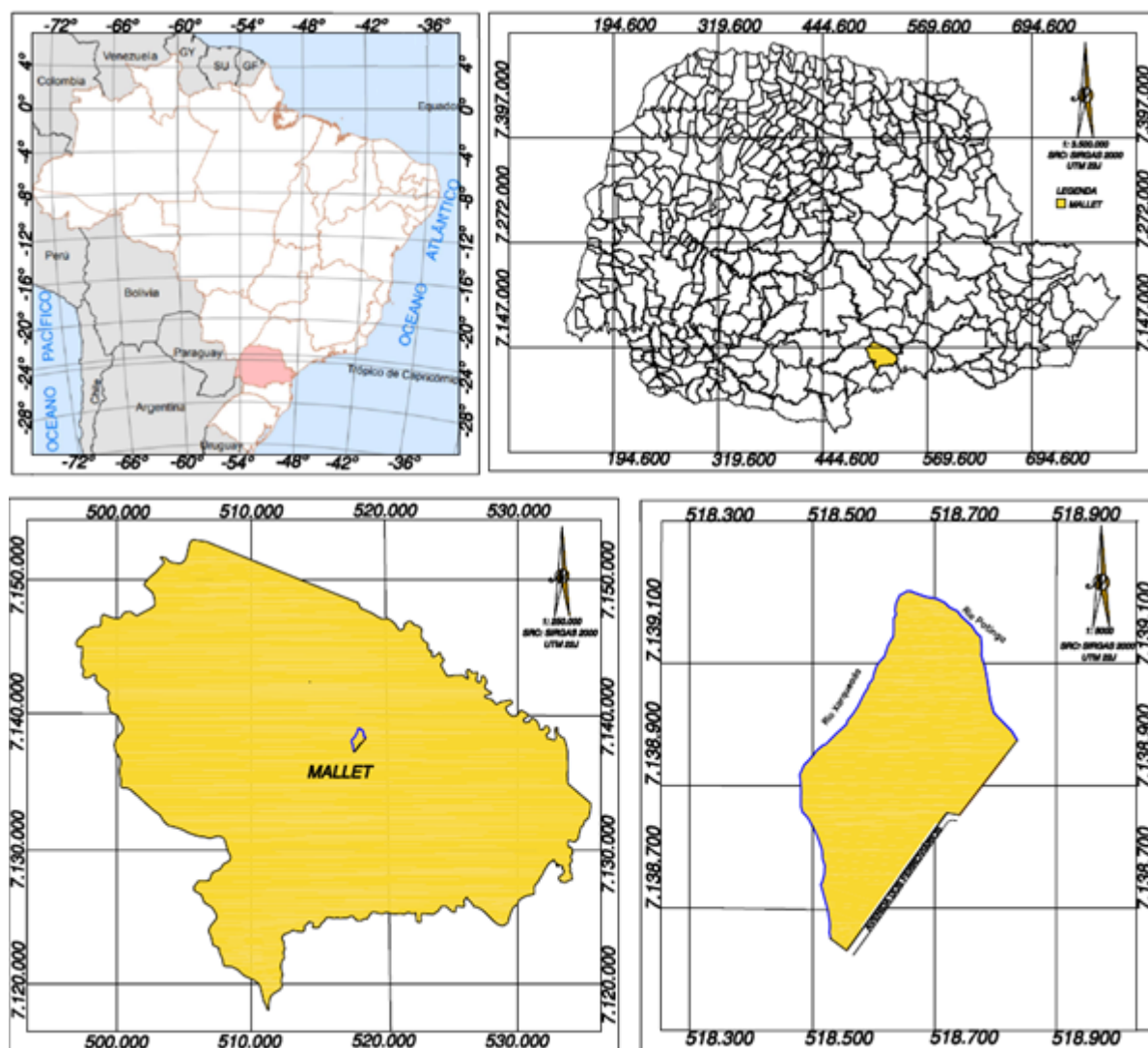
percentual de sobreposição de imagens e a quantidade de pontos de controle utilizados no processamento fotogramétrico.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na área industrial da empresa Agrosepac Serrados Ltda., situada no município de Mallet-PR, onde está inserido o pátio de estocagem de toras de madeira.

A indústria está localizada entre as coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) E= 518.300 m N= 7.139.200 m e E=518.900 m N = 7.138.600 m. O sistema de referência utilizado foi o SIRGAS 2000. A localização da área de estudo é apresentada na Figura 1.



**Figura 1.** Localização da área de estudo. Fonte Adaptado IBGE (2013).

## 4.2 Descrição do Pátio de Estocagem de Madeira

Na Figura 2 é mostrado o pátio de estocagem de toras de madeira, onde foi realizado o estudo, que possui uma área total de 5.500 m<sup>2</sup> ou 0,55 hectares. As toras de madeira empilhadas são provenientes de reflorestamentos do gênero *Pinus*.



**Figura 2.** Imagem aérea do pátio de estocagem de toras de madeira.

## 4.3. Coleta dos Dados

### 4.3.1 Obtenção das Imagens Aéreas

As imagens aéreas das pilhas de madeira localizadas no pátio industrial foram obtidas em três datas distintas: 23/11/2019, 14/02/2020 e 04/05/2020, entre os horários das 11h:30min e 12 horas, para reduzir a presença de áreas sombreadas na reconstrução dos modelos 3D. No intervalo entre as datas de coleta de dados, todo o estoque de madeira foi renovado, desta forma, possibilitou a obtenção de 10 amostras em cada período, totalizando 30 amostras. Nos dias que antecederam os voos, as previsões meteorológicas indicavam que as condições seriam de tempo ensolarado e ventos com velocidade inferior a 3km/h. Foram realizados três voos diários, totalizando nove voos autônomos, pilotados remotamente com uso de uma aeronave *DJI PHANTOM 4 Advanced*, utilizando uma câmera modelo FC6310, com distância focal fixa de 8.8 mm, sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) de 1 polegada, (13,2 mm x 8,8 mm) lente com abertura do diafragma f/2.8. As imagens foram registradas em 20

megapixels com três bandas espectrais (*Red+Green+Blue*). Na Figura 3 é apresentado o RPA *DJI Phantom 4 Advanced*.



**Figura 3.** *DJI Phantom 4 Advanced*. Fonte: DJI (2019).

O planejamento do voo foi executado pelo aplicativo *Pix4DCapture* instalado em um *Smartphone* com sistema operacional IOS, que foi usado para capturar imagens a 60, 80 e 100 m de altura. No estudo optou-se por realizar linhas de voo *double grid*, com inclinação da câmera em 65°, com sobreposições longitudinais e recobrimento lateral de 80% para ambas as situações. As imagens foram obtidas no formato JPG com 72DPI e 4864 x 3648 pixels de resolução horizontal e vertical respectivamente. A posição das câmeras e os pontos de sobreposição das imagens estão disponíveis dos Anexos XIII, XIV e XV.

O tamanho físico de um pixel foi expresso em unidade métrica, sendo este valor obtido pela relação do tamanho do sensor e da quantidade de pixels na imagem.

A escala de uma imagem está diretamente relacionada com a distância focal e a altura de voo, sendo assim a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H}$$

Em que:  $f$  = distância focal em milímetros;  $H$  = altura do voo em metros;  $E$  = Escala.

A partir do denominador da escala e do tamanho do pixel, foi possível obter o valor do GSD aplicando a seguinte equação:

$$den_{escala} = \frac{GSD}{tam_{pixel}}$$

Então obteve-se:

$$GSD = den_{escala} * tam_{pixel}$$

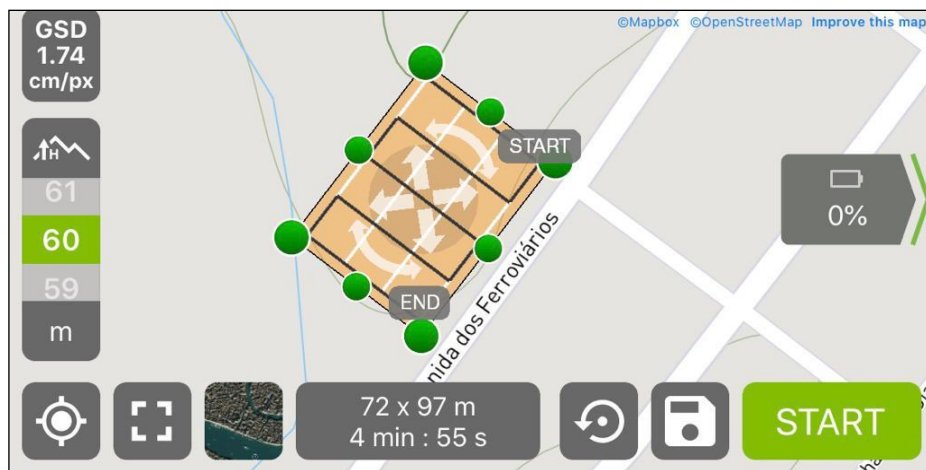
Em que:  $den_{escala}$  = denominador da escala;  $tam_{pixel}$  = tamanho do pixel.

A partir das equações citadas anteriormente, chega-se a equação à seguir, quando os valores da distância focal ( $f$ ) e o tamanho do pixel ( $tam\_pixel$ ) são fixos, o valor do GSD está diretamente proporcional à altura de voo, conforme a fórmula a seguir:

$$\frac{H}{f} = \frac{GSD}{tam\_pixel}$$

Em que:  $E$  = Escala;  $den\_escala$  = denominador da escala altura de voo em metros;  $f$  = distância focal em milímetros;  $tam\_pixel$  = tamanho do pixel em milímetros;

Na Figura 4 é apresentada a captura de tela do Aplicativo Pix4DCapture, utilizado para executar os nove voos autônomos.



**Figura 4.** Tela do aplicativo Pix4DCapture.

#### 4.3.2 Pontos de Controle

Os alvos utilizados para referenciar espacialmente os modelos digitais são apresentados na Figura 5. Foram instalados 10 pontos de controle e coletadas as suas respectivas coordenadas geodésicas, mantendo-os identificáveis para os voos subsequentes. Os alvos foram posicionados nas margens e no interior da área de estudo. As coordenadas geográficas dos pontos de controle estão disponíveis nos anexos I, II e III e a distribuição dos alvos estão ilustradas nos anexos X, XI e XII.



**Figura 5.** Alvos para a obtenção dos pontos de controle.

A coleta das coordenadas geodésicas dos pontos de controle foi feita com uso de receptores *GEOMAX RTK Zenith 25* (Figura 6). Os receptores rastreiam os satélites GPS L1/L2/L2C e GLONASS nas portadoras L1/L2 no modo RTK até a alcançar a solução fixa. A base foi instalada no interior do pátio de toras de modo em que os pontos de controle coletados pelo Rover, estavam numa distância máxima de 100 m.



**Figura 6.** Receptor GNSS GEOMAX RTK Zenith 25.

#### **4.3.3 Aferição manual do volume de madeira empilhada**

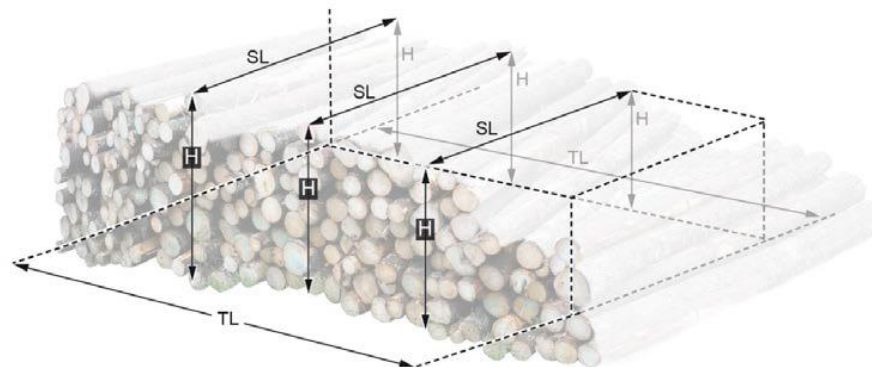
Para a obtenção da estimativa do volume da madeira empilhada pelo método convencional, inicialmente, foi realizada a medição do comprimento, largura e altura das pilhas de toras de madeira. A altura do empilhamento foi aferida em diferentes pontos, visto que nem

sempre o empilhamento era uniforme, sendo essas realizadas em três diferentes pontos de cada lado da pilha, ou a cada 2m, quando o comprimento da pilha fosse maior que 8,0 m, sendo então considerado o valor médio das alturas. Para essas medições foi utilizada uma fita métrica, conforme é apresentado na Figura 7.



**Figura 7.** Aferição manual com fita métrica.

Na Figura 8 é ilustrada uma pilha de toras de madeira e seus parâmetros dimensionais.



**Figura 8.** Pilha de toras de madeira. Em que: H= Altura da pilha de madeira; TL= Comprimento da pilha de madeira; SL= Comprimento da tora ou Profundidade da Pilha de madeira. Fonte: FORSMAN (2016).

Posteriormente, foi obtido o volume aparente  $V(st)$ , aplicando a fórmula:

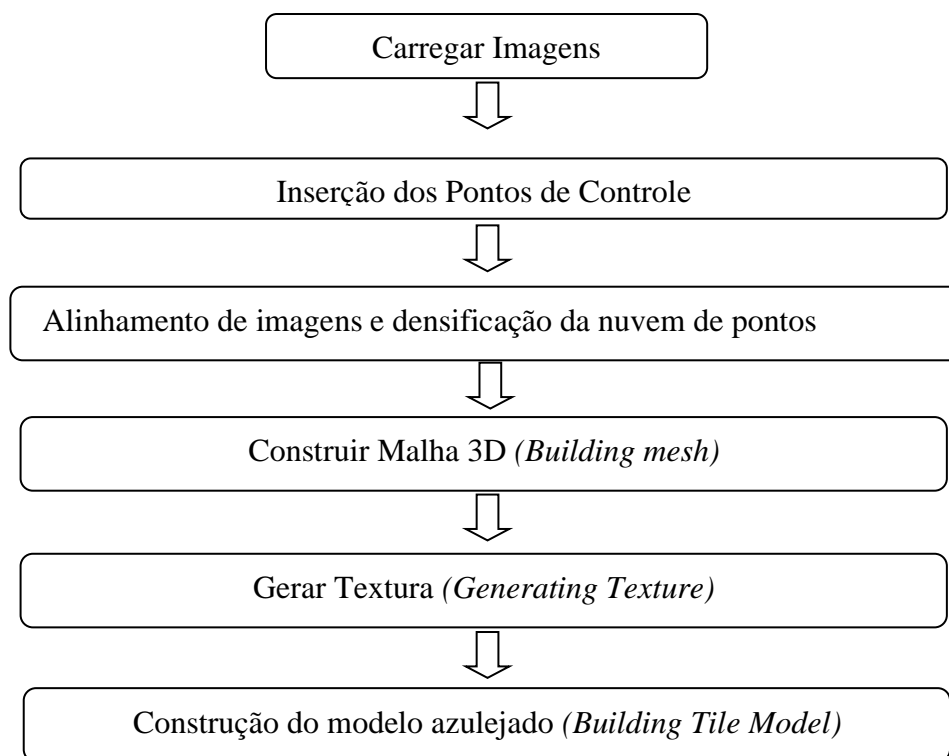
$$V(st) = H \times TL \times SL$$

#### 4.3.4 Geração da nuvem de pontos e do Modelo Digital de Superfície (MDS)

O software de processamento utilizado foi o Agisoft Metashape™ *Professional* versão 1.6.2. Foram executadas as etapas de aerotriangulação, geração da nuvem de pontos densa e o modelo digital de superfície (MDS). Inicialmente foi realizada a adição das fotografias aéreas,

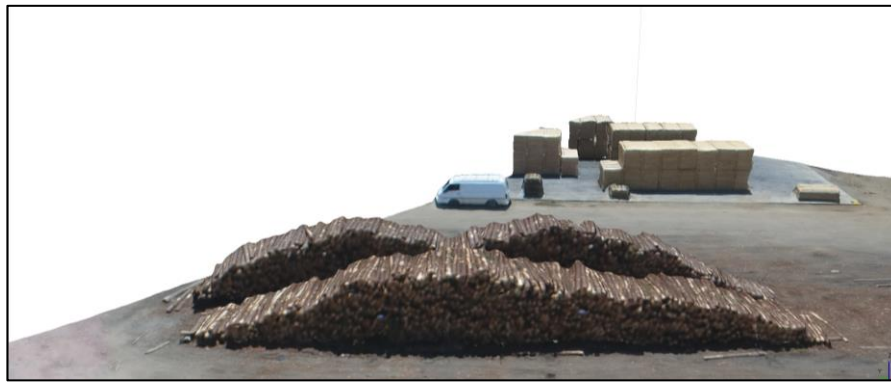


remoção das fotografias desfocadas e conversão do sistema de referência de coordenadas. Em seguida foi realizada a inserção dos pontos de controle, que consiste em identificar manualmente os alvos georreferenciados instalados no pátio de estocagem de madeira. Foi executado o alinhamento das imagens selecionando a opção *high accuracy*. Nesta fase os algoritmos do programa identificam a posição e a orientação para cada imagem e determinam os seus respectivos pontos homólogos (*tie points*) automaticamente. Em seguida foi realizada a densificação da nuvem de pontos selecionando a opção de qualidade *high*, a construção de uma malha tridimensional e a otimização da textura do modelo digital 3D. O fluxograma das etapas do processamento está disponível na Figura 9.



**Figura 9.** Etapas do processamento fotogramétrico

Após gerar o modelo 3D, foi realizada uma etapa manual, que consistiu em extrair todas as partes do modelo que não deveriam ter o volume estimado, conforme é possível observar na Figura 10.



(1)

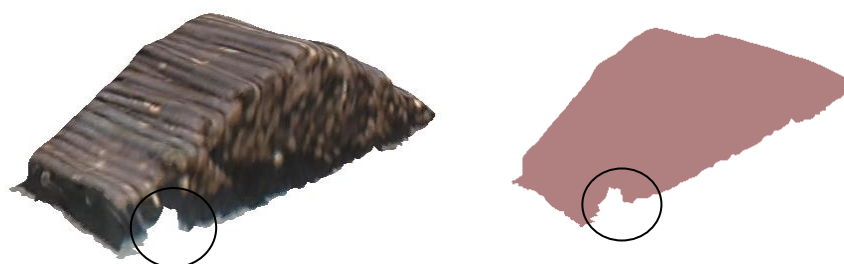


(2)

**Figura 10.** MDS da área de estudo no software Agisoft Metashape™ *Professional*. Etapa anterior a remoção dos objetos sem interesse em quantificar os dados volumétricos (1). Seleção das unidades amostrais com interesse em quantificar os dados volumétricos (2).

Após essa etapa, em algumas áreas do modelo digital pode ocorrer um “gap” na representação da pilha de madeira. Segundo Forsman (2016), o “gap” ocorre quando o algoritmo que realiza a triangulação falha, isso pode ocorrer pela falta de pontos suficientes para reconstrução da malha tridimensional do modelo.

Para o mesmo autor, antes de calcular o volume das pilhas de madeira, o “gap” do modelo digital deve ser preenchido, então foi necessário utilizar a função “close holes”, onde a superfície foi interpolada entre os pontos mais próximos, resultando em um modelo de malha 3D sólida, conforme ilustrado na Figura 11 .

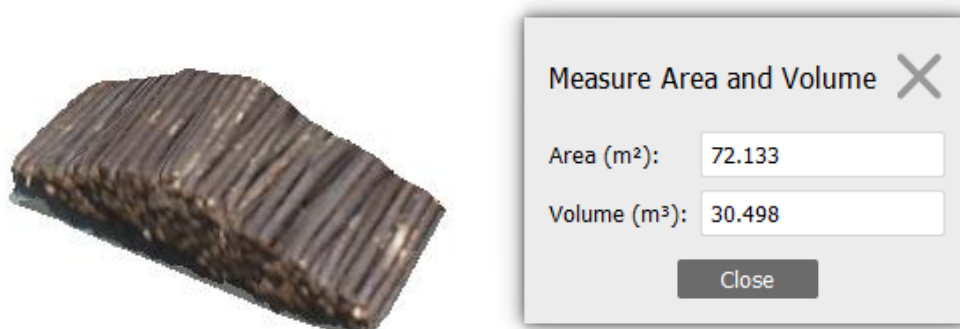


(1)



**Figura 11.** Exemplo de “gap” (1). Função “close holes” (2).

Após a interpolação da superfície do Modelo 3D, foi obtido os dados volumétricos das toras de madeira empilhadas aplicando a função *Measure Area and Volume* (Figura 12).



**Figura 12.** Quantificação volumétrica de madeira empilhada.

#### 4.4 Análise dos dados

Para avaliar os resultados das aferições volumétricas, foram testados 4 tratamentos, descritos a seguir:

-Tratamento 1: aferição das pilhas de toras de madeira pela técnica SfM-MVS, com uso de Modelos Digitais 3D gerados por imagens aéreas capturadas a 60 m de altura;

-Tratamento 2: aferição das pilhas de toras de madeira pela técnica SfM-MVS, com uso de Modelos Digitais 3D gerados por imagens aéreas capturadas a 80 m de altura;

-Tratamento 3: aferição das pilhas de toras de madeira pela técnica SfM-MVS, com uso de Modelos Digitais 3D gerados por imagens aéreas capturadas a 100 m de altura;

-Tratamento 4: aferição manual das pilhas de madeira com uso de fita métrica (testemunha);

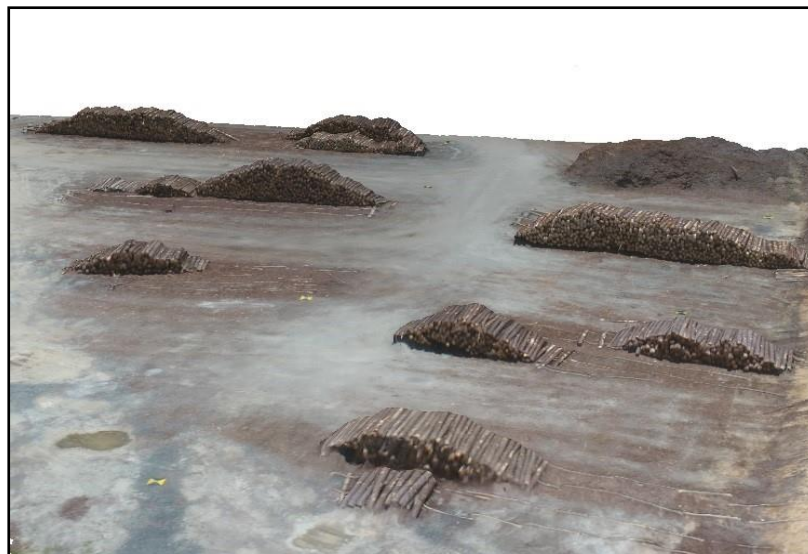
#### 4.5. Análise Estatística

Os dados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (60, 80 e 100m de altura) e uma testemunha, com 30 repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. A homogeneidade

das variâncias foi verificada pelo teste de Bartlett, e a normalidade dos dados pelo teste de Kolgomorov-Smirnov e Liliefors. Foi utilizado o programa ASSISTAT 7.7 para realizar a análise estatística.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

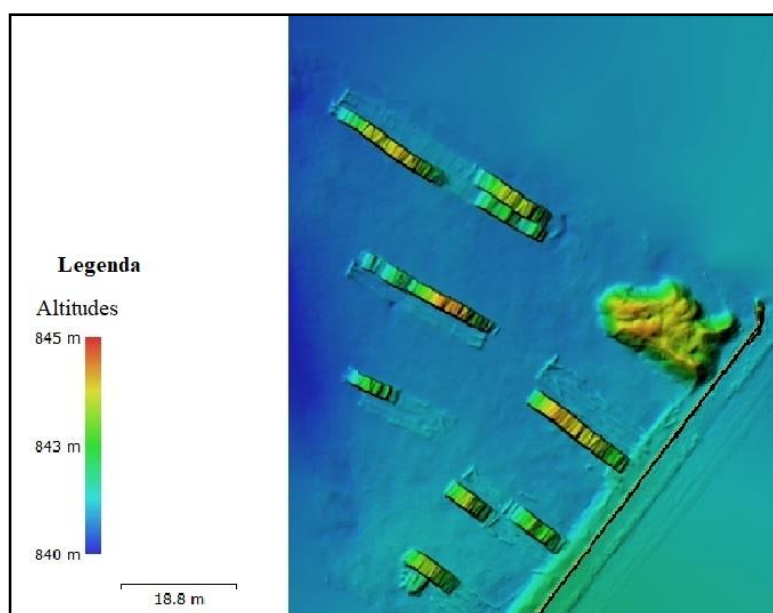
O modelo digital 3D gerado a partir de imagens aéreas 2D, processados em *software* de fotogrametria digital é apresentado na Figura 13.



**Figura 13.** *Tile Model* no *software* Agisoft Metashape™ Professional

O resultado da reconstrução tridimensional das unidades amostrais, possui faces complexas com superfícies em grande parte irregulares, não apresentou deformações exageradas. Desta forma permitiu a identificação e a realização de estimativas volumétricas das toras de madeira empilhadas.

O Modelo Digital de Superfície (MDS) com informações altimétricas em escala de cores está apresentado na Figura 14.



**Figura 14.** Modelo Digital de Superfície (MDS).

O MDS gerado a partir da densificação da nuvem de pontos, apresenta dados altimétricos representados por uma escala de cores, variando pixel a pixel, sendo as cores mais quentes aquelas que representam as maiores altitudes e as cores mais frias, aquelas que representam as áreas com menores altitudes.

Na Tabela 1, estão apresentadas as informações contendo as datas e as alturas dos voos, o número de imagens, a resolução espacial e os erros planimétricos e altimétricos, relacionados aos Pontos de Controle.

**Tabela 1.** Resumo dos erros planimétricos e altimétricos com utilização de Pontos de controle.

Data do voo	Altura do voo (m)	Número de imagens	GSD (cm/ pixel)	Erro	Erro	Erro	Erro Total (cm)
				planimétrico X (cm)	planimétrico Y (cm)	altimétrico Z (cm)	
23/11/2019	100	73	3,2	1.32	2.44	0.80	2.89
23/11/2019	80	110	2,59	1.33	2.53	0.51	2,91
23/11/2019	60	137	1,97	1.28	2.48	0.52	2.84
14/02/2020	100	70	3,09	1.14	1.30	1.34	2.19
14/02/2020	80	92	2,48	1.07	1.22	0.97	1.89
14/02/2020	60	110	1,85	0.90	1.21	1.18	1,92
04/05/2020	100	59	3,07	5.14	4.29	2.20	7,05
04/05/2020	80	70	2,24	5.30	3.79	3.25	7,34
04/05/2020	60	100	1,84	5.26	4.11	2.98	7,31

Em que: GSD = *Ground Sample Distance*

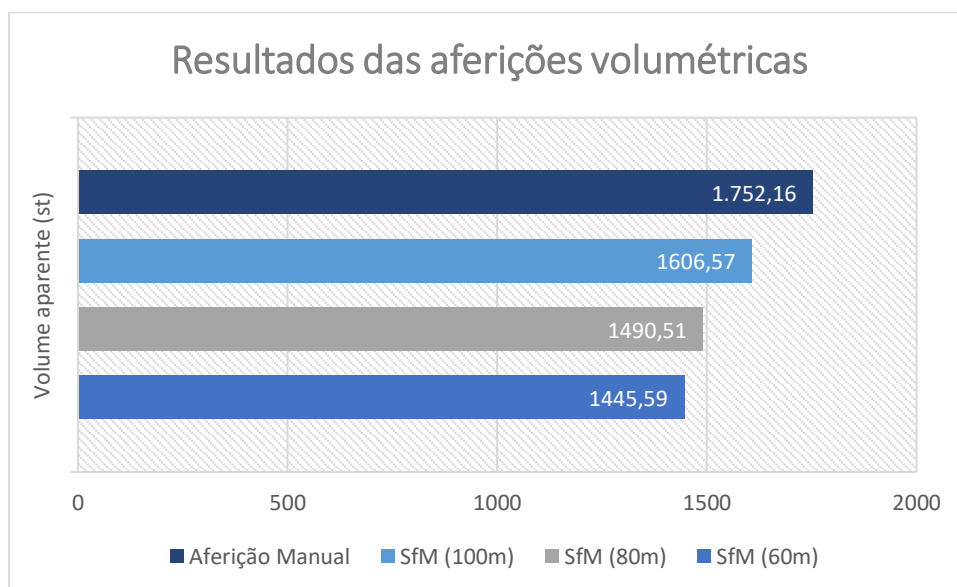
Os modelos gerados apresentaram resolução espacial de 1,84 cm, 1,85 cm e 1,97 cm para os voos realizados a 60m de altura. Para os voos realizados a 80m de altura a resolução espacial foi de 2,24 cm, 2,48 cm e 2,59 cm, enquanto os voos realizados a 100m de altura a resolução espacial foi de 3,07 cm, 3,09 cm e 3,2 cm. A resolução espacial obtida nos modelos 3D, permitiu representar em detalhes a superfície das unidades amostrais e realizar cálculos volumétricos das pilhas de madeira.

No estudo realizado por Oliveira Sobrinho et al (2018), para quantificação dos estoques de madeira empilhada em campo, foram utilizados modelos digitais com resolução espacial que variaram de 3,0 a 5,0 cm, o que possibilitou identificar e quantificar o volume das pilhas de madeira.

Figueiredo et al (2016) testando modelos digitais com GSD que variaram de 1,3 a 2,16 cm/pixel para obtenção de estimativas de volume de madeira em pátio de estocagem de toras, obteve os melhores resultados quando o modelo apresentou os menores valores de GSD. Tais resultados indicaram que a resolução espacial está diretamente relacionada com a acurácia das estimativas volumétricas.

O uso de pontos de controle GNSS, obtidos pelo receptor *GEOMAX Zennith 25 RTK*, com rastreamento de constelação GPS L1/L2/L2C e GLONASS nas portadoras L1/L2, para referenciar posicionalmente os Modelos Digitais 3D para o processamento fotogramétrico, apresentou erro total (X, Y e Z) que variaram de 1,89 cm a 7,34 cm. Tais erros podem influenciar no resultado das estimativas volumétricas, devido a variação das medidas planimétricas e altimétricas. A distribuição dos Pontos de Controle pode ser observada no Anexo (X).

Os resultados das aferições volumétricas por SfM-MVS utilizando modelos digitais 3D gerados com imagens capturadas em três diferentes alturas de voo (60, 80 e 100 metros) e manualmente pelo método convencional, de 30 (trinta) amostras de pilhas de madeira, estão apresentados na Figura 15.



**Figura 15.** Resultados das aferições volumétricas.

Como pode ser observado, os volumes das pilhas de madeira aferidos, quando utilizado o método de aferição convencional, apresentou resultados com valores superestimados em relação à técnica SfM-MVS, assim como os resultados obtidos por Forsman (2016), que na média resultou em uma variação de 2,5% em relação a sua respectiva verdade. No entanto, o

mesmo autor constatou em sua pesquisa, que todas as estimativas utilizando SfM ficaram dentro da tolerância exigida pela indústria florestal de até 10% de suas respectivas verdades.

Figueiredo et al. (2016), estimaram o volume de toras de madeira utilizando VANT, onde foi testada a acurácia das estimativas de volume das pilhas de madeira, produzidas pelo processamento da nuvem de pontos de imagens obtidas em três diferentes altitudes (30, 40 e 50m). Os erros de estimativa volumétrica dos três planos de voo variaram de 0,58% a 19,63%, conforme o plano de voo testado. Para o autor, os resultados foram considerados melhores, quando se utilizou imagens obtidas com voos realizados a 30m de altura.

Em relação a aferição convencional, as estimativas volumétricas referente aos modelos gerados com imagens obtidas a 100, 80 e 60m de altura, teve uma variação de 8,31%, 14,93% e 17,50%, respectivamente. Tais resultados indicam que apenas a altura de voo testada a 100m ficou dentro dos parâmetros exigidos pela indústria florestal. Entretanto, os resultados obtidos referem-se ao volume aparente, ao aplicar um fator de conversão para volume sólido, os modelos gerados a partir de imagens coletadas com menores alturas de voo, podem apresentar resultados dentro dos limites aceitáveis pela indústria florestal.

Os resultados alcançados por Oliveira Sobrinho et. al. (2018), para a determinação do volume das pilhas de madeira utilizando imagens obtidas por VANT (veículo aéreo não tripulado), foram consideradas melhores quando comparadas ao método convencional de medição.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) e do teste de Dunnett são apresentados nas Tabelas 2 e 3 e no Anexo VII, o teste de Bartlett é apresentado no anexo VIII e o teste de normalidade no anexo IX.

**Tabela 2.** Análise de variância (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1875.37188	625.12396	0.3668 <sup>ns</sup>
Resíduos	116	197718.97268	1704.47390	
TOTAL	119	199594.34456		
Teste de Bartlett			2,18 <sup>ns</sup>	
Test de Kolmogorov-Smirnov			0.06389 <sup>ns</sup>	
Teste de Lilliefors			0.05556 <sup>ns</sup>	

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )



**Tabela 3.** Resultados do Teste de Dunnett para a comparação das médias dos tratamentos contra a testemunha, ao nível de 5% de probabilidade.

Altura de voo	Médias do volume aparente (st)
60m	48.18633 A
80m	49.68367 A
100m	53.55233 A
Testemunha	58.40533 A

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade

As variâncias dos tratamentos foram homogêneas (Teste de Bartlett) e os dados mostraram possuir distribuição normal pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors (Tabela 02).

As médias dos volumes de toras de madeira empilhadas não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 03).

Os resultados obtidos nos tratamentos 1, 2 e 3, que representam as aferições volumétricas utilizando a técnica SfM-MVS, utilizando Modelos Digitais 3D gerados a partir de imagens capturadas a 60m, 80m e 100m de altura, respectivamente, não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento 4, referente ao método convencional (testemunha). No entanto a altura de voo de 100m, apresentou uma variação menor que 10% em relação a sua respectiva verdade. De acordo com Forsman (2016), esse resultado está dentro dos limites exigidos pela indústria florestal.

Diferentemente dos resultados alcançados por Figueiredo et al (2016), o presente estudo indicou que não houve diferenças significativas nas estimativas volumétricas conforme varia o GSD. Uma possível explicação para esta constatação é o fato de que o referido autor testou modelos com maior resolução espacial.

## 6. CONCLUSÕES

O levantamento das imagens aéreas com aeronave remotamente pilotada (ARP) combinados com programas de fotogrametria digital, para a geração de modelos 3D, possibilitou a realização de aferições volumétricas de toras de madeira empilhadas no pátio industrial.

As aferições volumétricas realizadas com uso da técnica fotogramétrica SfM-MVS, a partir de imagens obtidas nas diferentes alturas de voo, não apresentaram diferenças significativas em relação ao método convencional de medição manual, indicando que os modelos 3D com resoluções espaciais variando de 1,84 cm a 3,2 cm, não diferiram estatisticamente na acurácia das estimativas volumétricas.

Os modelos 3D gerados a partir de imagens coletadas com altura de voo de 100m, apresentaram uma variação de 8,31% em relação a sua respectiva verdade, sendo a única altura de voo testada que apresentou resultado dentro da tolerância de até 10% estabelecida pela indústria florestal. Portanto, foram considerados os melhores modelos para obtenção de estimativas volumétricas, aqueles gerados a partir de imagens obtidas com altura de voo de 100m.

Pretende-se realizar estudos futuros para definir melhor a acurácia das estimativas volumétricas com uso da técnica fotogramétrica SfM-MVS, comparando os resultados obtidos pelos modelos 3D com dados de volume sólido de madeira. Outros estudos deverão incluir menores alturas de voos em locais de extração de toras de madeira no interior das fazendas.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de modelos digitais tridimensionais para determinação do volume de toras de madeira empilhada, torna-se adequado quando são considerados os conceitos de volume aparente e volume sólido, desta forma, pode ser utilizado um fator de empilhamento para a conversão dessas medidas.

A evolução na tecnologia das aeronaves remotamente pilotadas permite adaptações de receptores com precisão geodésica, câmeras e sensores multiespectrais com o *LIDAR (Light Detection and Ranging)*, para que em um único voo seja possível extrair dados mais acurados em tempo real, ainda que com um custo maior em relação ao praticado neste experimento.

O desenvolvimento de *softwares* de fotogrametria digital está em constante processo de otimização, com o aperfeiçoamento de algoritmos de visão computacional, visando melhorar o processo de triangulação de pontos homólogos, desta forma, possibilitará extrair informações quantitativas cada vez mais acuradas de modelos 3D a partir de imagens 2D.

A elaboração de novos trabalhos com objetivo de extrair dados quantitativos da produção florestal com uso de modelos 3D, integrando aeronaves remotamente pilotadas, câmeras com sensores ópticos de alta resolução, softwares de processamento fotogramétrico digital e receptores GNSS, poderão contribuir ainda mais com a indústria florestal. As pesquisas não limitadas à área do pátio industrial, como no interior das fazendas, para obtenção de dados volumétricos de toras de madeira empilhadas nas margens das estradas, carregadas nos veículos de transporte de madeira e dos resíduos em campo, poderão ser valiosas para o planejamento da produção florestal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUNA, M.; SOSA, A. Automated Volumetric Measurements of Truckloads through Multi-View Photogrammetry and 3D Reconstruction Software. **Croatian Journal Of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**. Zagreb, p. 151-162. 23 ago. 2018. Disponível em: <<https://hrcak.srce.hr/217404>>. Acesso em: 25 out. 2020.

AGISOFT LLC. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6**. 2020, 167 p. Disponível em: <[https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_6\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf)>. Acesso em 11 ago. 2020.

AMORIM, A.L.; GROETELAARS, N.J.; **Técnicas de restituição fotogramétricas digitais aplicadas à Arquitetura: um estudo de caso**, COBRAC, Florianópolis, 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/295908832\\_Tecnicas\\_de\\_restituicao\\_fotogrametricas\\_digitais\\_aplicadas\\_a\\_Arquitetura\\_um\\_estudo\\_de\\_caso/link/56d0330508ae85c82347a3b4/download](https://www.researchgate.net/publication/295908832_Tecnicas_de_restituicao_fotogrametricas_digitais_aplicadas_a_Arquitetura_um_estudo_de_caso/link/56d0330508ae85c82347a3b4/download)> Acesso em 03/11/2020.

BALDIVIESO, T. J. M. **Um estudo do uso de VANTS para reconstrução de cenas 3D**. 2020. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas e Computação, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <[https://www.visgraf.impa.br/Data/RefBib/PS\\_PDF/student-msc-2020-08-thiago-baldivieso/TESE\\_MESTRADO\\_ThiagoBaldivieso.pdf](https://www.visgraf.impa.br/Data/RefBib/PS_PDF/student-msc-2020-08-thiago-baldivieso/TESE_MESTRADO_ThiagoBaldivieso.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2020.

BLYENBURGH, V. P. UAVs: an overview. *Air & space Europe*, Amsterdã, v. 1, n. 5-6, p. 43-47, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1290095800888693>> Acesso em : 10 de jul. 2020.

BRASIL. **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. ICA 100-40. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), 2015. Disponível em: <<https://www.decea.gov.br/static/uploads/2015/12/Instrucao-do-Comando-da-Aeronautica-ICA-100-40.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; FILHO, R. A.; BÔNISH, S. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V (Eds). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: DPI/INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

CASSEMIRO, G, H, M.; PINTO, H, B. **Composição e processamento de imagens aéreas de alta-resolução obtidas com Drone**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <[https://fga.unb.br/articles/0000/7686/TCC2\\_GuilhermeCassemiro\\_090115465\\_e\\_HugoBorges\\_090116461\\_v2.pdf](https://fga.unb.br/articles/0000/7686/TCC2_GuilhermeCassemiro_090115465_e_HugoBorges_090116461_v2.pdf)> Acesso em: 25 out. 2020.

CHIANUCCI, F.; DISPERATI, L.; GUZZI, D.; BIANCHINI, D.; NARDINO, V.; LASTRI, C.; RINDINELLA, A.; CORONA, P. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.47, p.60-68, mai. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243415300702?via%3Dihub>>. Acesso em 02 fev. 2020.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and applications**. Artech House, 2005. 257p.  
FERNANDEZ, M. E. L.; **Calibração de Múltiplas Câmeras baseado em um Padrão Invariante**. 2009. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://document.onl/documents/manuel-eduardo-loaiza-fernandez-calibracao-de-multiplas-mgattassteses2009tesemanuel.html>. Acesso em: 27 out. 2020.

FILHO, C. E. P.; OLIVETTE, M. P. A.; ÂNGELO, J. A.; MARTINS, V. A. Elaboração de índice de preços de resinas e aspectos da cadeia produtiva de pinus para o estado de São Paulo, e seu comportamento de janeiro de 2005 a abril de 2011. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 6, p. 47-58, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/ie/2011/tec4-0611.pdf>>. Acesso em: 02 de ago. 2020.

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, M. V. N.; LOCKS, C. J.; PAPA, D. A. **Estimativa do volume de madeira em pátios de estocagem de toras por meio de câmeras de RGB instaladas em aeronaves remotamente pilotadas**. Rio Branco: Embrapa, 2016. 39 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157013/1/26266.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123 p

FORSMAN, K. **Using structure from motion for stockpile inventory in the forest industry**. 2016. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Forest Management, Dept. Of Forest Resource Management, Slu\_Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå, 2016. Disponível em: <[https://stud.epsilon.slu.se/9972/1/forsman\\_k\\_170207.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/9972/1/forsman_k_170207.pdf)> Acesso em: 25 out. 2020.

GRAÇA, N.L.S.D.S.; **Estudo da influência da geometria de voo na obtenção de produtos cartográficos empregando recobrimento aéreo com VANT e técnica fotogramétrica SFM**. 2019. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/64082/R%20-%20T%20-%20NIARKIOS%20LUIZ%20SANTOS%20DE%20SALLES%20GRACA.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 out. 2020.

GRAÇA, N. L. S. D. S.; MITISHITA, E. A.; GONÇALVES, J. E. Use of UAV platform as an autonomous tool for estimating expansion on invaded agricultural land. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 3, p. 509-519, set. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702017000300034>>. Acesso em: 08 de mar. 2019.

GUEDES, J. C. F.; SILVA, S. M. P. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 12, n. 29, p. 127-144, ago. 2018. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/actageo/article/view/4001>>. Acesso em 10 jul. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Ibá 2019**. Brasília: IBÁ; 2019. 80 p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 2001. 91 p. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 9). Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv780.pdf>> Acesso em: 10 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Bases Cartográficas**. 2013. Disponível em: <[http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2013/PR/](http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2013/PR/)>. Acesso em: 16 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção da Extração vegetal e silvicultura 2018**. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2018\\_v33\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2018_v33_informativo.pdf)> . Acesso em: 02 ago. 2020.

JENSEN, A. M.; CHEN, Y.Q.; BAUMANN, M (2008). Low-cost multispectral aerial imaging using autonomous runway-free small flying wing vehicles. In: **IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM**, 2009, Boston, Massachusetts, USA, pp. 506-509. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4780140>> . Acesso em: 25 out. 2020.

KENGEN, S.; GRAÇA, L. R. **Forest policies in Brazil**. In: PALO, M.; UUSIVUORI, J. (Ed.). *World Forests, Society and Environment*. Springer Netherlands, 1999. p. 256-265.

KOCI, J., JARIHANI, B., LEON, J.X., SIDLE, R.C., WILKINSON, S.N., BARTLEY, R., 2017: Assessment of UAV and ground-based structure from motion with multi-view stereo photogrammetry in a gullied savanna catchment. **International Journal of Geo-Information** 6(11): 328. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2220-9964/6/11/328>> Acesso em: 25 out. 2020.

KRAUS, K. *Photogrammetry Geometry from Images and Laser Scans*. 2nd. ed. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 2007. 477 p. ISBN 978-3-11-019007-6

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2009. 316 p.

MENESES, P. R (Org).; ALMEIDA, T (Org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 276 p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

MIRANDA, J.I. **Fundamentos e Sistemas de Informações Geográficas**. 2 ed. Distrito Federal: Embrapa, 2005. 425 p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em <[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1\\_ECMoraes.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf)>. Acesso em 08 ago. 2020.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2007. 320p.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. Importância e Desempenho das Florestas Plantadas no Contexto do Agronegócio Brasileiro. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 85-94, mar. 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/47687/31915>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

NASRULLAH, A. R. **Systematic Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Product Quality**. University of Twente. Enschede (Netherlands). 2016. Disponível em: <[https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers\\_2016/msc/gfm/nasrullah.pdf](https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2016/msc/gfm/nasrullah.pdf)> Acesso em : 27 out 2020

OLIVEIRA SOBRINHO, M.F.; CORTE, A.P.D.; VASCONCELLOS, B.N.; SANQUETTA, C.R.; REX, F.E. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) para mensuração de processos florestais**. Centro BIOFIX de Pesquisa em Biomassa e Sequestro de Carbono Universidade Federal do Paraná – UFPR. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p.117, 126, jun. 2018.

PAOLI, Bruna Lopes de; TRINDADE, Carlos Alberto. Boas práticas do uso da técnica de Structure from Motion. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 6566-6571. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.43.54/doc/p1423.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Geotechnologies: discussion and analyses about evolution of global navigation satellite system- gnss. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1258-1270, ago. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16044/pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

RIBASKI, N. G. Conhecendo o setor florestal e perspectivas para o futuro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 44-58, set. 2018. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/329/285>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, Uberlândia, v. 16, p. 81-90, set. 2005. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 01 out. 2020.

RUDEK, Marcelo. **Método de Posicionamento e Dimensionamento 3D Baseado em Imagens Digitais**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264972/1/Rudek\\_Marcelo\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264972/1/Rudek_Marcelo_D.pdf). Acesso em: 27 out. 2020.

SANTOS, A.R.; PELUZIO, J. B. E.; PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, G. M. A. D. A. S. org. Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais- Alegre, ES: CAUFES, 249 p.2012 Disponível em: < <https://biblioteca.isced.ac.mz/handle/123456789/565>> Acesso em: 02 out. 2020.

SILVA, J. M. F.; OKA-FIORI, C.; SILVEIRA, C. T. Geomorfometria: uma Análise de Conceitos, Métodos e Aplicações em Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 558–583, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234008/27453>>. Acesso em 11 ago. 2020.

Salvi, J.; Armangué, X.; Battle, J. A **Comparative Review of Camera Calibrating Methods With Accuracy Evaluation**. **Pattern Recognition**, 35, 1617-1635, 2002.

SHAHBAZI, M.; THEAU, J.; MENARD, P. Recent Applications of Unmanned Aerial Imagery in Natural Resource Management. **GIScience and Remote Sensing**, v. 51, n. 4, p. 339-365, jun. 2014. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15481603.2014.926650?needAccess=true>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

SILVA, M. C. **Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais**. 2003. 38p. Dissertação (Mestrado) - Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9204>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE, A. B. Avaliação econômica de um povoamento de Eucalyptus grandis destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 5, p. 689-694, out. 2003. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622003000500011&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000500011&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em 12 jun. 2020.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. **Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais**. In: Borém A, Giúdice MP, Queiroz DM. Agricultura de precisão. Viçosa: Editora UFV, 2000, p. 65-75. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/63227781-Silvicultura-de-precisao-uma-nova-perspectiva-para-o-gerenciamento-de-atividades-florestais.html>>. Acesso em: 11 jul. 2020.



VIANA, C. D. **Análise estrutural de discontinuidades baseadas em técnicas de structure from motion: Aplicação em mina a céu aberto.** 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica - Instituto de Geociências): Universidade de São Paulo, São Paulo SP, 2015. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-08072015-150656/publico/dissertacao\\_camila\\_completa.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-08072015-150656/publico/dissertacao_camila_completa.pdf)> Acesso em: 27 out. 2020

VIANA, D.C. **Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK.** 48 p. Dissertação (PósGraduação em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG 2017. Disponível em: < <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/19991>> Acesso em: 01/11/2020.

WESTOBY, M.J. “Structure from Motion photogrammetry: a low cost, effective tool for geoscience applications”, **Geomorphology**, v.179, pp.179-300, 2012. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12004217>> Acesso e 11 de jul. 2020.

## ANEXOS

### ANEXO I – Pontos de Controle Geodésicos instalados em 23/11/2019.

GPC	UTM (E)	UTM (N)	H(m)
p1	518557.9333	7138772.5113	840.6551
p2	518551.0023	7138744.8898	840.5721
p3	518555.4552	7138708.3802	840.6768
p4	518563.9157	7138690.8177	841.2768
p5	518574.6260	7138710.3036	841.1748
p6	518589.8100	7138733.0907	841.0071
p7	518596.8924	7138748.1247	841.0028
p8	518610.8491	7138716.9217	841.2284
p9	518594.5883	7138701.4802	841.2454
p10	518580.1392	7138677.6087	841.1508

### ANEXO II – Pontos de Controle Geodésicos instalados em 14/02/2020.

GPC	UTM E	UTM N	H (m)
p1	518558.6292	7138772.5307	839.6754
p2	518560.3347	7138743.5453	839.7994
p3	518553.3666	7138723.9841	839.2708
p4	518558.4920	7138694.9341	840.0038
p5	518590.4209	7138681.2009	841.0598
p6	518602.5257	7138696.3821	840.8024
p7	518612.4831	7138709.8459	840.6461
p8	518597.6126	7138748.0221	840.0778
p9	518586.3431	7138726.4436	840.0744
p10	518601.3699	7138760.7461	840.3974

**ANEXO III** – Pontos de Controle Geodésicos instalados em 04/05/2020.

Ponto de controle	UTM E	UTM N	H (m)
p1	518584.1972	7138672.0680	841.1274
p2	518597.7594	7138690.2244	841.0568
p3	518608.5530	7138704.2321	840.6784
p4	518597.5779	7138748.0519	840.0308
p5	518574.0905	7138774.7390	840.2781
p6	518558.7172	7138772.5132	839.7264
p7	518549.7348	7138746.4078	839.4248
p8	518552.5734	7138723.2325	839.0934
p9	518554.0073	7138701.7222	839.8951
p10	518558.3204	7138686.8642	840.0281

**ANEXO IV.** Resultado das aferições volumétricas das amostras em 23/11/2019.

Pilha de madeira	SfM-MVS (volume aparente)			Aferição Manual (volume aparente)
	60m	80m	100m	
P1	132,13	137,7	153,65	180,5
P2	122,32	127,1	139,43	155,5
P3	34,74	35,52	38,61	41,25
P4	48,78	49,42	54,31	59,5
P5	149,97	152,88	168,51	191
P6	30,76	32,38	35,12	36
P7	34,2	35,01	38,53	41,5
P8	57,71	59,75	65,57	66
P9	10,4	11,27	11,99	12,75
P10	45,03	46,92	52,14	54,25

**ANEXO V.** Resultado das aferições volumétricas das amostras em 14/02/2020.

Pilha de madeira	SfM-MVS (volume aparente)			Aferição Manual (volume aparente)
	60m	80m	100m	
P11	101,2	100,7	107,11	114
P12	25,70	26,15	29,23	32,5
P13	26,76	27,14	28,50	34,0
P14	30,5	31,10	33,27	36,2
P15	4,01	3,91	4,22	4,50
P16	18,15	19,20	20,40	22,8
P17	55,65	57,8	62,2	65,0
P18	12,96	14,87	15,24	17,25
P19	42,78	44,95	49,10	52,5
P20	84,24	86,18	90,34	93,4

**ANEXO VI.** Resultado das aferições volumétricas em 04/05/2020.

Pilha de madeira	SfM-MVS (volume aparente)			Aferição Manual (volume aparente)
	60m	80m	100m	
P21	42,18	43,78	47,67	52,2
P22	55,15	56,95	61,23	65
P23	32,76	33,12	35,96	37,8
P24	12,8	13,7	14,32	14,67
P25	19,22	19,78	20,15	21,87
P26	36,21	37,2	37,94	40,32
P27	78,14	81,14	84,56	96,15
P28	20,26	21,54	22,65	24,5
P29	61,78	63,65	64,12	66,75
P30	19,1	19,7	20,5	22,5

## ANEXO VII - Processamento estatístico pelo programa ASSISTAT 7.7

=====

ASSISTAT Versão 7.7 pt (2017) - Homepage <http://www.assistat.com>  
Por Francisco de A. S. e Silva - UFCG-Brasil - Atualiz. 01/03/2017

=====

### EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

#### QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1875.37188	625.12396	0.3668 ns
Resíduo	116	197718.97268	1704.47390	
Total	119	199594.34456		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

GL	GLR	F-crit	F	p
3	116	0.072	0.3668	0.7771

#### MÉDIAS E MEDIDAS

##### Médias de tratamento

1	48.18633 A
2	49.68367 A
3	53.55233 A
4	58.40533 A

dms = 25.38101

Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade (bilateral)

## ANEXO VIII - Processamento estatístico pelo programa ASSISTAT 7.7

=====

ASSISTAT - TESTE DE BARTLETT  
<http://www.assistat.com>

=====

Data: 13/05/2017 Hora: 10:03:54

-----

Tratamento	Média	Variância
1	48.18633	1377.36890
2	49.68367	1446.17224
3	53.55233	1746.29846
4	58.40533	2248.05601

-----

H0: As variâncias são homogêneas

Estatística do teste ( $X^2$ ): 2.18326  
Valor crítico (alfa = 5%): 7.81473  
Valor crítico (alfa = 1%): 11.34488

$X^2 < X^2(5\%)$  **H0 não foi rejeitada** **p > 0.05**

VarMax = 2248.06 VarMin = 1377.37 Rvar = 1.63

## ANEXO IX - Processamento estatístico pelo programa ASSISTAT 7.7

=====

ASSISTAT - NORMALIDADE E ESTATÍSTICA DESCRITIVA  
<http://www.assistat.com>

=====

Data: 13/05/2017 Hora: 21:06:33

NORMALIDADE (alfa = 5%)

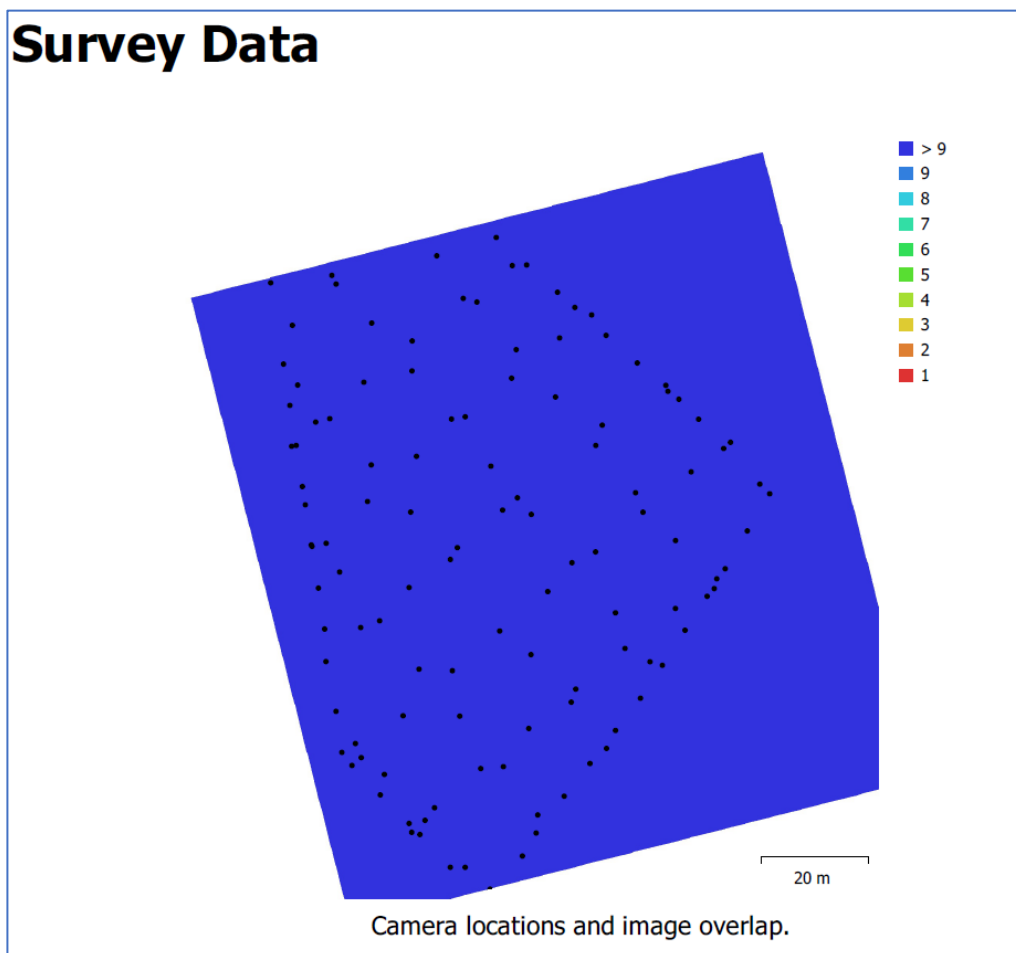
Teste (Estatística)	Valor	Vcrit	p-valor	Normal
Kolmogorov-Smirnov (D)	0.06389	0.08120	p > .15	Sim
Cramér-von Mises (W2)	0.05829	0.12548	p > .15	Sim
Anderson-Darling (A2)	0.49908	0.76289	p > .15	Sim
Kuiper (V)	0.11846	0.13439	p > .15	Sim
Watson (U2)	0.05143	0.11552	p > .15	Sim
Lilliefors (D)	0.05556	0.08088	p > .15	Sim
Shapiro-Wilk (W)	0.97466	-	0.02291	Não

### ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Número de dados = 120  
Soma dos dados = 191.253665907251467  
Menor valor (min) = .592176757395867  
Maior valor (max) = 2.28103336724773  
Aplitude (max - min) = 1.688856609851863  
Ponto médio = 1.43661  
Média aritmética (M) = 1.59378  
Lim.conf.inf.da M(95%) = 1.53126  
Lim.conf.sup.da M(95%) = 1.65630  
Mediana = 1.58625  
Moda = 1.81291  
Desvio médio = 0.26892  
Desvio padrão(para N-1) = 0.34942  
Desvio padrão(para N) = 0.34796  
Variância(para N-1) = 0.12209  
Variância(para N) = 0.12108  
Coef.Variação(para N-1) = 21.92387  
Coef.Variação(para N) = 21.83233  
Coef.de assimetria = -.43351  
Coef.de curtose = .53719

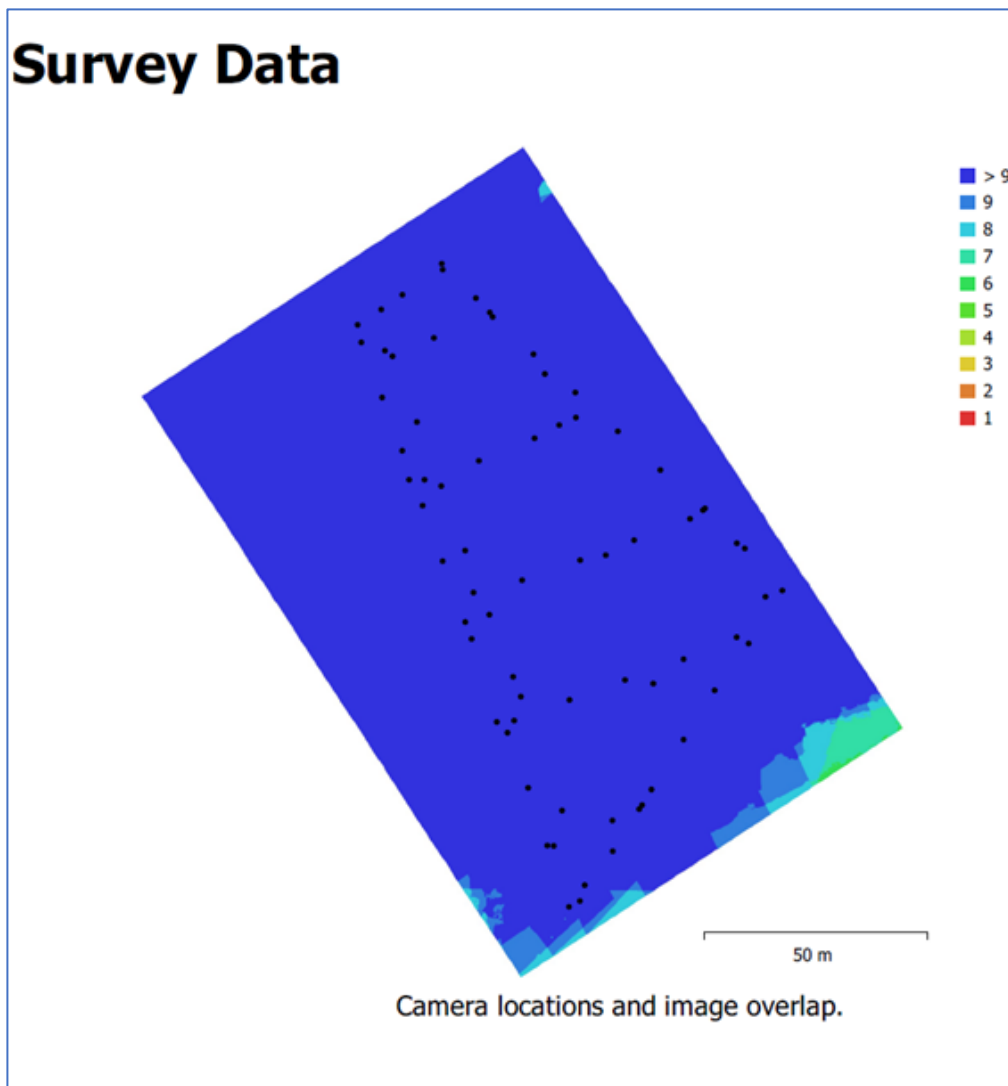
(para N-1)=Amostra (para N)=População

ANEXO X - Posição das câmeras e sobreposição de imagens para o voo a 60m de altura.

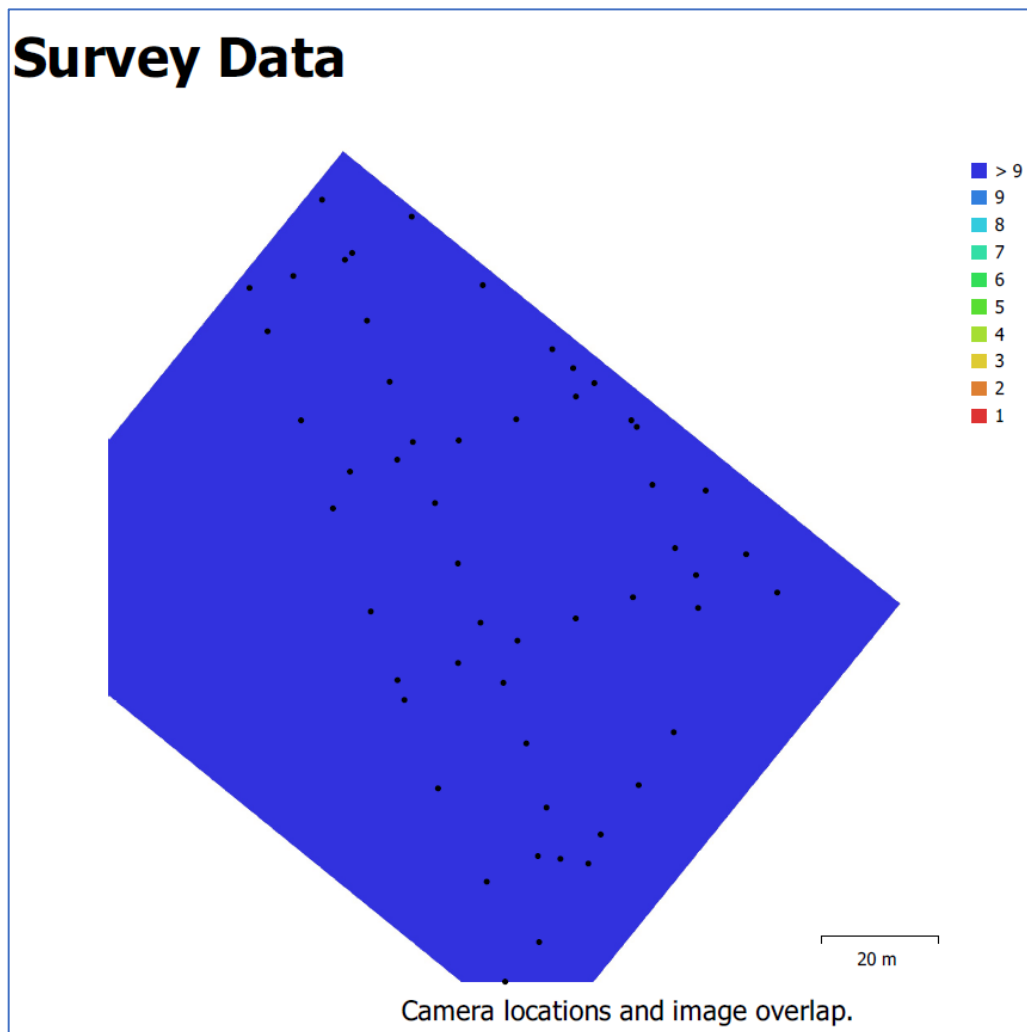




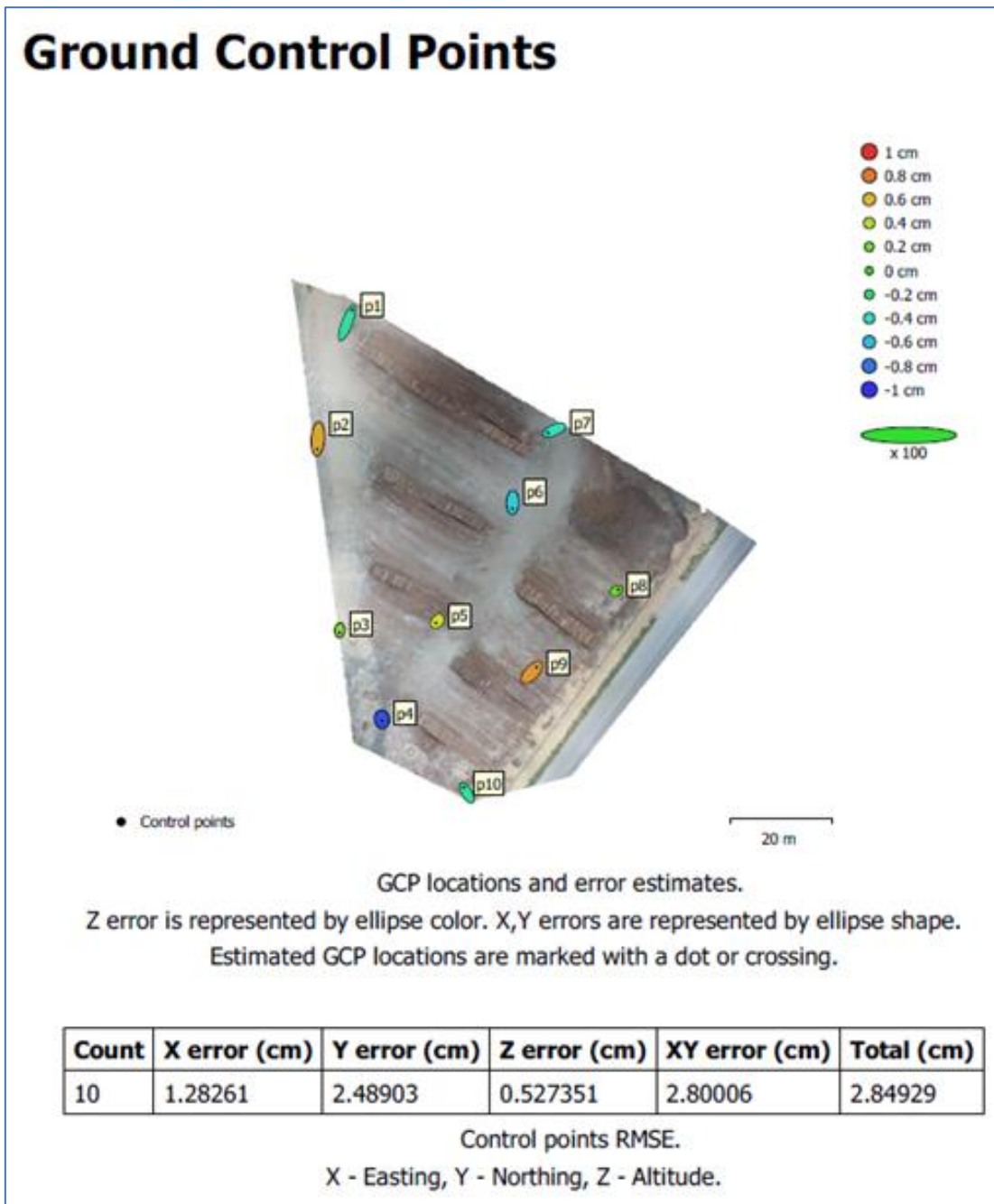
ANEXO XI - Posição das câmeras e sobreposição de imagens para o voo a 80m de altura.



**ANEXO XII** - Posição das câmeras e sobreposição de imagens para o voo a 100m de altura.



ANEXO XIII -Distribuição dos Pontos de controle instalados em 23/11/2019.



Pontos de controle instalados durante a coleta de dados em 23/11/2019.

ANEXO XIV -Distribuição dos Pontos de controle instalados em 14/02/2020.

## Ground Control Points



GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

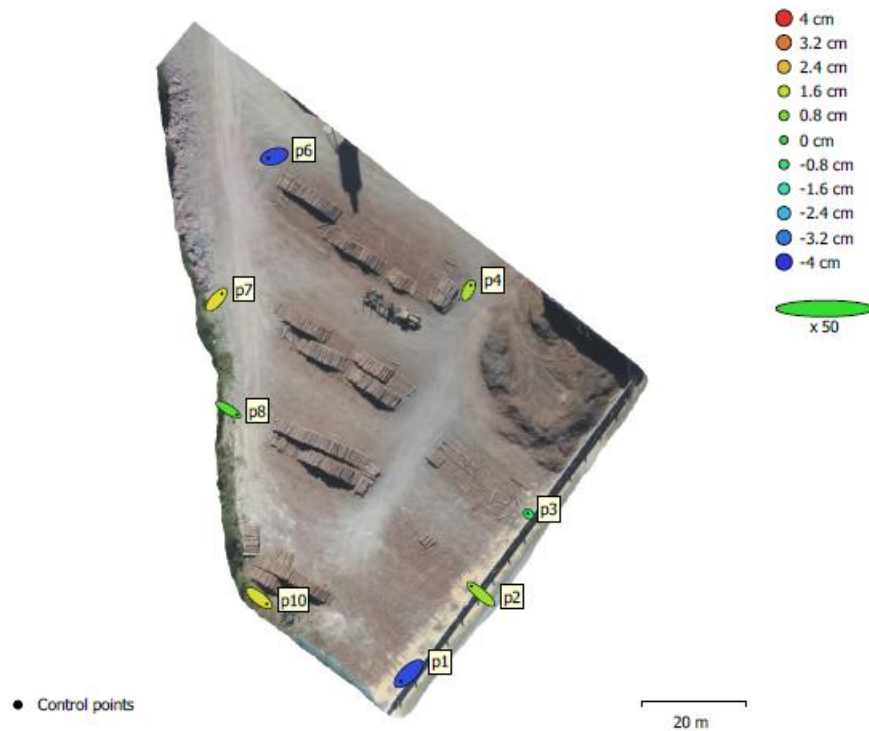
Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
10	1.0735	1.22345	0.972598	1.62765	1.8961

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

ANEXO XV -Distribuição dos Pontos de controle instalados em 04/05/2020.

## Ground Control Points



GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
8	5.14378	4.29336	2.20988	6.7001	7.05514

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## BIOGRAFIA

Leonardo Heraki, filho de Omar Gonçalves Heraki e Marcia Regina Gryczynski Heraki, nasceu em São Luis, estado do Maranhão, em 24 de julho de 1985. Iniciou seus estudos no Colégio Estadual Nossa Senhora das Graças em Irati, estado do Paraná, onde concluiu o ensino fundamental. Iniciou e concluiu o ensino médio no Colégio São Pedro Canísio em Irati-PR. Iniciou o ensino superior em 2004 no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste em Irati-PR, concluindo, em dezembro de 2009. Sua carreira profissional teve início em maio de 2010 quando foi contratado pela empresa STCP- Engenharia de Projetos LTDA, atuando na unidade de negócios. Participou de diversos projetos de aquisição de ativos florestais, onde permaneceu até dezembro de 2014. Iniciou em junho de 2015 um período de experiência internacional, na região de Vancouver-BC-CANADÁ, trabalhando na empresa True North Labour e conciliando os estudos em *Business English* na Tamwood Language Center, retornando ao Brasil em agosto de 2016. Pós-graduado em Gestão Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba-PR, em 2018, iniciou como aluno regular no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais na Universidade Estadual do Centro-Oeste em Irati-PR. Atualmente trabalha como Engenheiro Florestal na empresa Agroflorestal Sepac em Mallet-PR, desde novembro de 2017.