



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

ISABELA DA SILVA SANTOS

**Análise Comparativa entre os Métodos de Levantamento Planialtimétrico
(Topografia Convencional e Aerofotogramétrica). Estudo de Caso: Entorno da Ponte
Sergio Arruda**

Macapá – AP
2022



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

ISABELA DA SILVA SANTOS

**Análise Comparativa entre os Métodos de Levantamento Planialtimétrico
(Topografia Convencional e Aerofotogramétrica). Estudo de Caso: Entorno da Ponte
Sergio Arruda**

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: **Me. Adenilson Costa de Oliveira**

Macapá – AP
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Jamile da Conceição da Silva – CRB-2/1010

Santos, Isabela da Silva.

S237a Análise comparativa entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrica): estudo de caso: entorno da Ponte Sérgio Arruda / Isabela da Silva Santos. - 2022.
1 recurso eletrônico. 72 folhas : ilustradas (coloridas).

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Campus Marco Zero, Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Macapá, 2022.
Orientador: Professor Mestre Adenilson Costa de Oliveira

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

Inclui referências e anexos.

1. Engenharia civil. 2. Construção civil. 3. Ponte – projetos e construção. 4. Levantamento topográfico. 5. Aerofotogrametria. I. Oliveira, Adenilson Costa de, orientador. II. Título.

Classificação Decimal de Dewey. 22. Edição. 624.2

SANTOS, Isabela da Silva. **Análise comparativa entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrica)** : estudo de caso: entorno da ponte Sérgio Arruda. Orientador: Adenilson Costa de Oliveira. 2022. 72 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Campus Marco Zero, Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Macapá, 2022.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Agradeço e dedico este trabalho aos meus pais. Este trabalho é a prova “escrita” de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena. Vou formar!



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que me incentivaram e me apoiaram a nunca parar de estudar, tudo que tenho e tudo que fiz hoje é graças a vocês. Agradeço também a Universidade Federal do Amapá, espaço que estive presente por 6 anos e que sempre foi almejado por mim desde criança, a instituição e todo corpo docente me proveu os materiais necessários para a realização deste trabalho, em especial, os professores Dennis Pureza e meu orientador, Adenilson Oliveira, sem eles, eu não teria o nível profissional que tenho hoje; graças às suas ideias e incentivo, a TECDRON nasceu e por isso sou muito grata, e claro, não posso esquecer de agradecer a professora Cristina Baddini, que durante todos esses anos de curso, não mediu esforços para me ajudar no que fosse necessário, sempre muito solícita.

Aos lugares que estagiei e trabalhei durante esse tempo: SEINF, SETRAP e Line, com certeza esses lugares moldaram (e seguem moldando, alô Galerinha da Line), a profissional que sou e que pretendo ser.

Aos meus colegas de turma, Marcos Sanches, meu parceiro de dias e noites de final de semestre, de fofoca nos intervalos e de uma amizade que levarei da graduação para o resto da minha vida, à “Família Gurgel Reis”, Aline Beatriz, Beatriz Coroa, Leticia Amaral, Luíza Maciel, Tainar Cardoso, Ellen Gonçalves e Igor Reis, por sempre estarem presentes durante estes 6 anos de curso.

Aos meus amigos pessoais mais queridos e que sempre me apoiaram desde a publicação de um artigo a quando surgiu a “ideia doida” de empreender com drone: Fabio Dias, Larissa Leite, Anderson Almeida e Marcos Vinícius.

E claro, a minha sócia, Natália Lima! Minha parceira de pilotagem, marketing, financeiro, administrativo, jurídico e tudo que há, que com esse trabalho a TECDRON possa crescer ainda mais, e que continuemos pegando estrada por muitos anos para mapear esse estado inteiro.

Muito obrigada.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

RESUMO

O presente estudo, tem por sua finalidade explorar os conceitos de Levantamento Topográfico no âmbito da Engenharia, além de apresentar as técnicas da Aerofotogrametria, uma tecnologia aperfeiçoada nas últimas décadas que tem muito a contribuir para o meio da construção civil. O objetivo deste estudo foi comparar metodologias de levantamentos topográficos diferentes, convencional com uso de uma Estação Total e Aerofotogramétrico com *Remote Pilote Air* (RPA) para a obtenção de um mesmo produto, a planta cadastral do entorno da Ponte Sergio Arruda, localizada nas proximidades do Canal do Jandiá, município de Macapá-AP. No levantamento foram utilizados uma Estação Total Topcon Signus com precisão de 3mm, GPS L1 e L2 Topcon Senior e o RPA DJI modelo Mavic 2 Pro, que sobrevoa a área captando imagens para o processamento, que vem a gerar a ortofoto, curvas de nível, MDT, MDS e o modelo 3D do ambiente. Foram comparadas para ambos os produtos os seguintes critérios: Precisão, Custo Benefício, Viabilidade Operacional e Tempo de Serviço. A comparação entre os métodos de levantamentos planialtimétricos evidencia uma proximidade entre os resultados provenientes da Estação Total e da Aerofotogrametria. Além disso, o RPA pode gerar o Ortomosaico da região mapeada, o que é um produto exclusivo para essa metodologia, que pode ser utilizado para diversos fins, como monitoramento e análise da região.

Palavras-Chave: RPA, GPS, Pontos de Controle, Processamento de Imagens, Aerolevantamento.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

ABSTRACT

This study aims to explore the concepts of Topographic Survey in the sphere of Civil Engineering, in addition to presenting the techniques of Aerophotogrammetry, a technology perfected in recent decades that has much to contribute to the field of construction. The study intended to compare different methodologies for topographic surveys: conventional – using a Total Station – and Aerophotogrammetric – with Remote Pilote Air (RPA) – with the purpose of obtaining the same product: the cadastral plan of the surroundings of Sergio Arruda Bridge, located near Canal of Jandiá, municipality of Macapá-AP. The survey was performed using a Topcon Signus Total Station with 3mm precision, GPS L1 and L2 Topcon Senior and the RPA DJI model Mavic 2 Pro, which flies over the area capturing images for processing, which generates the orthophoto, contour lines, MDT, MDS and the 3D Model of the environment. The following criteria were compared for both products: Precision, Cost-Effectiveness, Operational Feasibility and Service Time. The comparison between the methods of planialtimetric surveys shows a proximity between the results from the Total Station and the Aerophotogrammetry. In addition, RPA can generate the Orthomosaic of the mapped region, which is a unique product for this methodology and can be used for various purposes, such as monitoring and analyzing the region.

Keywords: RPA, GPS, Control Points, Image Processing, Aerial Survey.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Índice de figuras

Figura 1. Sobreposição de Imagens.....	23
Figura 2. Erros decorrentes da má sobreposição de imagens.	24
Figura 3. Organograma do Processamento de Imagens.....	25
Figura 4. Organograma do Fluxo do Mapeamento.....	26
Figura 5. Ortofoto x MDS x MDT.	28
Figura 6. Nuvem de Pontos. 61º Congresso Brasileiro do Concreto.....	29
Figura 7. Alvos Artificiais..	31
Figura 8. Área de Estudo.	33
Figura 9. GPS Geodésico Topcon.....	35
Figura 10. Estação Total Topcon Signus.	36
Figura 11. RPA DJI Mavic 2 Pro.....	36
Figura 12. Processamento de Dados GNSS.	38
Figura 13. Plataforma Mappa.	44
Figura 14. Configurações de Processamento – Tipo de Câmera.....	45
Figura 15. Configurações de Processamento – Tipo de Processamento.....	45
Figura 16. configurações de Processamento - Log de Voo.....	46
Figura 17. Configurações de Processamento - Pontos de Controle.....	46
Figura 18. Distribuição dos Pontos de Controle.	39
Figura 19. Ponto de controle.	40
Figura 20. Geo Zone Map.	42
Figura 21. Equipe TECDRON em encontro com a equipe do SBMQ.....	44
Figura 22. Diferença ET x Aerofotogrametria Ajustada – Norte e Leste.....	51
Figura 23. Diferença ET x Aerofotogrametria sem Ajuste – Norte e Leste.....	52
Figura 24. Distância em metros em relação aos Pontos de Controle.....	53
Figura 25. Detalhes Pontos de Controle – Ortofoto Ajustada.....	54
Figura 26. Detalhes Pontos de Controle – Ortofoto sem Ajuste.....	55
Figura 27. Produtos entregues para a Planta cadastral.	56
Figura 28. Planta Cadastral.....	57



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
GPS	<i>Global Positioning System / Sistema de Posicionamento Global</i>
VANT	<i>Veículo Aéreo Não Tripulado</i>
NBR	<i>Norma Brasileira</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
RPAs	<i>Remotely Piloted Air System</i>
RGB	<i>Sensor Red, Green, Blue</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
MDT	<i>Modelo Digital de Terreno</i>
MDS	<i>Modelo Digital de Superfície</i>
GCP	<i>Ground Control Points</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
RTX	<i>Real Time eXtended</i>
SIG	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
BIM	<i>Modelagem de Informação da Construção</i>
PPK	<i>Post Processed Kinematic</i>
EPSG	<i>European Petroleum Survey Group</i>
SIRGAS2000	<i>Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas</i>
GNSS	<i>Sistema Global de Navegação por Satélite</i>
ET	<i>Estação Total</i>
NFZ	<i>No Fly Zone</i>
SBMQ	<i>Aeroporto Internacional de Macapá – Alberto Alcolumbre</i>
DECEA	<i>Departamento de Controle do Espaço Aéreo</i>
ZAD	<i>Zona de Pouso e Decolagem</i>
ARO	<i>Avaliação de Risco Operacional</i>
AISO	<i>Análise de Impacto sobre a Segurança Operacional</i>
AAL	<i>Administrador Aeroportuário Local</i>
CaOp	<i>Carta de Acordo Operacional</i>
SARPAS	<i>Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas</i>



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivos Específicos.....	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1 Topografia	16
4.1.1 Levantamento Topográfico.....	17
4.1.2 Levantamento com a Estação Total	18
4.2 Aerofotogrametria	18
4.2.1 Equipamentos: Multirrotor x Asa Fixa	19
4.2.2 Características das Câmeras	20
4.2.3 Softwares de Voo.....	22
4.2.4 Sobreposições	22
4.2.5 Softwares de Processamento de Imagens	24
4.2.6 Fluxo do Mapeamento.....	26
4.2.7 Modelos Digitais.....	26
4.2.7.1 Ortomosaico	27
4.2.7.2 Modelo Digital de Terreno (MDT)	27
4.2.7.3 Modelo Digital de Superfície (MDS)	27
4.2.7.4 Nuvem de Pontos	28
4.2.7.5 Modelo 3D de Alta Resolução.....	29
4.2.7.6 Curvas de Nível	29
4.2.8 Pontos de Controle.....	29
4.2.9 Janela de Voo	31
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
5.1 Área de Estudo.....	33
5.2 Descrição do ambiente.....	34
5.2.1 Meio Físico	34
5.2.1.1 Clima.....	34
5.2.1.2 Direção dos ventos	34
5.2.1.3 Solo.....	34
5.2.1.4 Hidrografia.....	34



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

5.3	Descrição dos equipamentos Utilizados.....	34
5.4	Processamento dos dados	37
5.4.1	Topografia Convencional.....	37
5.4.2	Topografia com Aerofotogrametria	38
5.4.2.1	Software Mappa.....	38
5.4.2.2	Planejamento dos Pontos de Controle	38
5.4.2.3	Planejamento dos Parâmetros de Voo	40
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
6.1	Custo	48
6.2	Viabilidade Operacional	49
6.3	Tempo de Trabalho	50
6.4	Acurácia	51
6.4.1	Coordenadas Norte e Leste	51
6.4.2	Distâncias	53
6.5	Planta Cadastral	56
7.	CONCLUSÕES	59
8.	LITERATURA CITADA.....	60
9.	ANEXOS.....	62



1. INTRODUÇÃO

Mapear o local em que vive sempre foi um interesse do homem documentado desde a antiguidade. Exemplo disso são representações gráficas, diagramas e desenhos, em que é possível assimilar informações sobre o ambiente representado, analisando a sua forma, relevo e vegetação. Devido a esse anseio, a ABNT, em 1994, conseguiu definir o levantamento topográfico como: O conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas.

O levantamento topográfico é de extrema importância para a elaboração de projetos, com ele, é possível analisar as características planialtimétricas do terreno estudado, planejar a execução de atividades, otimizar as estratégias de tomada de decisão do projetista, determinando o primeiro passo de uma atividade mais elaborada, onde o grau de precisão e detalhamento é requerido (DOUBEK, 1989).

Até os últimos anos, os principais equipamentos utilizados na topografia são as Estações Totais e os GPSs de Precisão, que possuem uma considerável diferença no seu funcionamento. No primeiro, para a realização das medições, é necessária uma visualização entre os pontos ou criar uma amarração entre eles, enquanto o segundo não necessita desse atributo, ele se orienta por satélites. Entretanto, novas técnicas mais aprimoradas surgiram, ferramentas que possibilitam diferentes estudos a respeito do relevo de forma mais simples e com nível de precisão aceitável, exemplo disso é o Método Fotogramétrico.

A fotogrametria, aliada a aerofotogrametria é uma ferramenta que vem crescendo em meio às técnicas de levantamento topográfico. Conforme relatado por Tommaselli (2009), este processo gera um banco de dados topográficos de um determinado terreno que é capaz de fornecer informações como: distâncias, áreas, volume, coordenadas geográficas e curvas de nível. O principal aliado dessa técnica é o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que foi ampliado na última década.

Os VANTs, popularmente conhecidos como drones, são instrumentos capazes de fornecer dados de alta qualidade devido a estabilidade em relação aos ventos, câmera



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

estabilizada horizontal e verticalmente e a possibilidade de captura de fotos e vídeos em alta resolução (HALLERMAN, 2014), tais características o tornaram relevante a uma gama de aplicações, como o mapeamento aéreo e o levantamento topográfico através da fotogrametria.

Apesar das novas tecnologias, ainda existe a necessidade de realizar estudos sobre a acurácia dos elementos que são fornecidos a partir destes produtos, a qualidade cartográfica das informações fornecidas, visto que são exigidos determinados níveis de precisão nos levantamentos topográficos.

Diante disto e da gama de produtos obtidos por diferentes tipos de levantamentos topográficos, neste caso o convencional com estação total e o aerofotogramétrico com RPA, a pergunta que norteia esta pesquisa consiste em saber qual dos levantamentos fornecem maiores informações sobre o objeto de análise? Como hipótese defendida, temos que um levantamento com RPA possa vir a fornecer maior detalhamento dos produtos obtidos de acordo com a sua acurácia.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi comparar metodologias de levantamentos topográficos diferentes, convencional com uso de uma Estação Total e aerofotogramétrico com *Remote Pilote Air* para a obtenção de um mesmo produto, a planta cadastral do entorno da Ponte Sergio Arruda, localizada nas proximidades do Canal do Jandiá, município de Macapá-AP.

2.1 Objetivos Específicos

Quantificar a acurácia dos dados fornecidos pelos diferentes métodos;

Analisar a viabilidade operacional dos levantamentos;

Estimar os custos envolvidos nos diferentes processos;

Verificar o tempo nas coletas e processamentos dos dados;

Comparar os produtos fornecidos pelos diferentes procedimentos.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

3. JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se faz necessária como forma de orientar na seleção de diferentes métodos de levantamento topográfico de acordo com cada finalidade de projetos que venham a ser desenvolvidos na região, haja vista que cada método possui características únicas que devem ser levados em conta no processo de seleção.

Com isso, surgiu a necessidade de avaliar a qualidade dos produtos dessa tecnologia, no caso, os produtos planialtimétricos elaborados a partir das imagens capturadas pelo VANT *in situ*, com o objetivo de garantir que os produtos entregues atendam as solicitações do cliente, a nível de precisão e detalhamento.

Deve-se destacar que o Levantamento Topográfico é um estudo preliminar de extrema importância para qualquer projeto de engenharia, já que ele norteará os projetos, oferecendo segurança e confiabilidade quanto as informações geométricas do local de estudo. Sem ele, problemas podem vir a ocorrer, dado que a execução de projeto é feita em um plano de fundo que não foi estudado previamente.



4. REVISÃO DE LITERATURA

Oliveira (2020) considera que a realização de um novo método para levantamentos planialtimétricos contribui para atividades de diversos setores, principalmente na área ambiental, oferecendo uma alternativa prática e eficiente. Sendo que a utilização de novas tecnologias para obtenção de dados de forma remota tem se mostrado essencial para o planejamento e gestão de ações e interações entre o homem e o ambiente.

Lima (2018) afirma que no levantamento topográfico planialtimétrico tradicional ou terrestre, os meios mais difundidos de aquisição de dados são através da Estação Total e do GNSS de precisão, sendo uma técnica já consagrada; agora, é perceptível a quebra de paradigma na topografia, que é o advento do RPA ou Veículos Aéreo Não Tripulados (VANTs) ou Drones. A aplicação do método de levantamento poderá ser de forma independente ou mista, dependendo da produtividade e precisão requerida pelo projeto.

Figueredo (2021) observa a necessidade de observar o custo benefício associado às precisões requeridas no levantamento topográfico, sendo este o principal diferencial na eficiência do investimento da obra. Dessa forma, seu trabalho objetivou avaliar e comparar o desempenho de levantamentos topográfico planimétricos realizados com o uso de RPA e Estação Total.

Honorato (2019), para comprovar a metodologia da Aerofotogrametria, comparou os métodos de levantamento topográfico: Estação Total, GNSS e a Aerofotogrametria com RPA. Tomou-se como área de estudo uma porção de terra na cidade de Palmas no estado do Tocantins utilizando as três metodologias, e com os resultados foi possível constatar a eficiência do uso de RPA com a finalidade de criar modelos topográficos.

Esta revisão de literatura tem como objetivo apresentar informações reunidas sobre os conceitos mais importantes acerca de levantamento topográfico e mapeamento aéreo, para conduzir as ideias tomadas durante a condução deste trabalho.

4.1 Topografia

De acordo com a NBR 13.133 (ABNT, 1994) de Levantamento Topográfico, a topografia é o conjunto de métodos e processos, através de ângulos e distâncias horizontais, verticais e inclinadas, onde são necessários para realizar um levantamento a colocação de pontos



materializados no terreno, com o objetivo de determinar suas coordenadas topográficas.

Brandalize (2016) salienta que a finalidade da topografia está na averiguação dos parâmetros, na viabilidade dos projetos, e principalmente na contribuição de hidrografias, edifícios, água e esgoto, fornecendo dados que possam garantir maior segurança no estudo do projeto a ser realizado. Ela faz um mapeamento em pequenas proporções, apenas no local solicitado, sendo de extrema importância para a Engenharia Civil.

O princípio da Topografia é baseado na geometria e na trigonometria. Deste modo são necessárias observações lineares e angulares realizadas sobre a superfície da Terra. Com base nestas medidas, calculam-se coordenadas, perfil, áreas, volumes, perímetro etc. Além disto, estas grandezas poderão ser representadas de forma gráfica através de mapas ou plantas. Para tanto, é necessário um certo conhecimento sobre instrumentação, técnicas de medição, métodos de cálculo e estimativa de precisão (KAHMEN; FAIG, 1988).

4.1.1 Levantamento Topográfico

As operações efetuadas em campo, com o objetivo de coletar dados para a posterior representação, denomina-se Levantamento Topográfico (ESPARTEL, 1987). As suas operações podem ser divididas em Levantamentos Topográficos Planimétrico, Altimétrico e Planialtimétrico, de acordo com a NBR 13.133/1994:

Levantamento Topográfico Planimétrico/Perimétrico: Levantamento dos limites e confrontações de uma propriedade, pela determinação do seu perímetro, incluindo, quando houver, o alinhamento da via ou logradouro com o qual faça frente, bem como a sua orientação e a sua amarração a pontos materializados no terreno de uma rede de referência cadastral, ou, no caso de sua inexistência, a pontos notáveis e estáveis nas suas imediações. É o procedimento ou método em que não se leva em consideração o relevo do terreno (considera um plano).

Levantamento Topográfico Altimétrico: Levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à sua representação altimétrica da superfície levantada. É o modelo de levantamento responsável por determinar o relevo do terreno.



Levantamento Topográfico Planialtimétrico: Levantamento topográfico planimétrico acrescido de determinação altimétrica do relevo do terreno e da drenagem natural. É o método em que, em uma única representação, obtém-se as coordenadas horizontais (X,Y) e vertical (Z) do terreno, ou seja, quando apresentada conjuntamente o levantamento planimétrico e altimétrico, tem-se uma representação tridimensional da área levantada (VEIGA, 2012).

4.1.2 Levantamento com a Estação Total

Conforme Fortunato (2018), a estação total é um equipamento capaz de coletar dados em campo, fornecendo coordenadas (X, Y e Z) a partir de pontos topográficos. Em concordância Veiga (2012), descreve que uma estação total permite obter informações como:

Distância reduzida ao horizonte (distância horizontal);

Desnível entre os pontos (ponto “a” equipamento, ponto “b” refletor);

Coordenadas dos pontos ocupados pelo refletor, a partir de uma orientação prévia;

Para a obtenção dessas informações deve-se utilizar técnicas de levantamento que alternam conforme interesse do topógrafo. Uma dessas técnicas é a utilização da ré e vante para auxílio na obtenção de ângulos e distâncias. Segundo Veiga (2007), a ré é o ponto de referência da estação e vante é o próximo ponto a ser instalado pelo aparelho.

A Estação é posicionada em um local livre de obstáculos e mira até o prisma instalado sobre um tripé colocado sobre o ponto o qual se quer medir, dessa forma, a estação emite um feixe de laser que reflete no prisma e retorna ao equipamento. Pelo tempo de resposta e o ângulo de rotação da luneta da estação, o computador interno calcula os ângulos e distâncias armazenando os pontos em sua memória interna. Ao medir todos os pontos, os dados são baixados para um computador, onde é desenhada a área que será entregue na planta topográfica.

4.2 Aerofotogrametria

Uma definição de Fotogrametria foi proposta pela American Society of Photogrammetry (ASP) e consiste: “Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras



fontes (ASSIS, 2011).

A Fotogrametria é uma técnica em constante evolução de instrumentos e processos. Após a Primeira Guerra Mundial, e com o desenvolvimento da aviação, a Fotogrametria se tornou destaque no mapeamento de áreas, o que resultou em novas demandas por instrumentos de melhor acurácia. Nas últimas décadas, o crescente avanço tecnológico, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de métodos e processos computacionais, gerou o aparecimento de um novo conceito, a Fotogrametria Digital (RIBEIRO, 1995).

Para Brito e Coelho (2002), o objetivo da Fotogrametria Digital é a realização da reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem) no formato digital. Trata-se, portanto, de uma transformação entre um sistema bidimensional (fotográfico) para um tridimensional (espaço-objeto), em que esse é representado pelo sistema de coordenadas do terreno sobre o qual se obtém as imagens. O sistema de coordenadas poderá estar representado em coordenadas geodésicas (latitude, longitude, altitude), planialtimétricas (east, north, altitude) ou cartesianas (X, Y, Z).

De acordo com Tommaselli (2004), a partir da fotogrametria, surgiu a aerofotogrametria, que é uma técnica acompanhada com câmeras tecnológicas da atualidade operadas por um VANT. É um conjunto de fotografias aéreas verticais tecnicamente tiradas a partir de uma aeronave, de forma a assegurar uma correta e completa representação de toda a área do terreno a ser estudado.

Trata-se da obtenção de cartas mediante fotografias aéreas tomadas com câmeras transportadas, geralmente, nos VANTs, popularmente conhecidos como drones. É uma técnica aplicada nas atividades de mapeamento para a cartografia, planejamento de cidades, nas engenharias e outros meios, com o objetivo direto de determinar a forma, dimensão e posição de objetos contidos na fotografia.

Os seguintes conceitos são importantes para o melhor entendimento desta técnica:

4.2.1 Equipamentos: Multirrotor x Asa Fixa

Um VANT é todo veículo aéreo que não necessita de um piloto embarcado para ser guiado. É controlado manualmente via rádio comunicação ou wifi gerado pelo drone (característica que varia de acordo com a fabricante), meios computacionais (automatizado)



ou satélites (drones militares). Drone, como também são conhecidos, é uma palavra inglesa que significa “zangão”, devido ao som do equipamento quando ligado.

Quando utilizado de forma recreativa, é chamado de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), sigla criada a partir do inglês UAV (Unmanned Aerial Vehicle); já quando utilizado de forma profissional, é chamado de RPAs (Remotely Piloted Air System), que, traduzindo, significa *Sistema Aéreo Remotamente Pilotado*, termo utilizado quando o operador do equipamento utiliza um sistema como o aplicativo do drone disponibilizado pela fabricante.

Eles são divididos em duas categorias: Multirrotores e Asa Fixa.

Os modelos multirrotores são semelhantes aos helicópteros, chamados de VANT ou RPAs, mas popularmente conhecidos como drones, são utilizados em diversos segmentos do mercado atual, devido a sua capacidade de pairar no ar com sensores e câmeras de alta resolução. Eles são divididos em três categorias: Quadricópteros, Hexacópteros e Octacópteros.

O primeiro é um modelo de até quatro motores, é o mais utilizado no mercado devido ao seu tamanho, estabilidade, mas possui carga limitada de peso. Os hexa e octacópteros possuem seis e oito motores, respectivamente, ambos possuem maior capacidade de carga e segurança, geralmente são utilizados no ramo da agricultura para pulverização de pesticidas e até mesmo já existem testes para utilizá-los na entrega de produtos, o *delivery*.

Já os modelos de asa fixa são semelhantes a aviões tripulados, a sua utilização é mais comum para tarefas específicas como o mapeamento de grandes áreas, já que o seu voo é planado, além de possuir grande autonomia, entretanto, possuem maior complexidade de pouso e decolagem, além do seu elevado custo de compra.

4.2.2 Características das Câmeras

As câmeras são acopladas aos RPAs e é de extrema importância conhecer o seu tipo, se o RPA a suporta e o seu sensor, para então o voo fornecer boas imagens para o processamento final delas na entrega do levantamento topográfico. As câmeras mais conhecidas são a RGB, Multiespectral e a Termal.



A câmera RGB possui o sensor que captura informações no espectro visível e está disponível na maioria dos RPAs atuais. Fornece imagens mais acessíveis, capturam semelhante ao que é visto a olho nu e são multifuncionais, oferecendo diversas análises visuais do campo. Entretanto, pode haver divergências nos resultados se o voo ocorrer em dias e horários diferentes, devido a diferença de luz e refletância do ambiente.

A câmera multiespectral é composta de múltiplos sensores, cada um com um filtro de alta qualidade específico para captar diferentes espectros, são utilizadas na agricultura de precisão, já que auxiliam na avaliação da saúde das plantas.

A câmera termal registra dados de uma banda espectral bem específica do infravermelho, a banda espectral infravermelho termal, possibilitando o registro de radiações emitidas pela superfície dos objetos capturados, ou seja, o calor.

A qualidade da câmera é definida pelo seu sensor, quanto melhor o sensor, com maior resolução são as imagens do RPA. O processamento nos softwares combina pontos comuns entre as imagens, e com pontos mais definidos, mais pontos comuns serão correspondidos, gerando maior precisão no mapa.

a) Sensores

De forma simples, o sensor pode ser explicado da seguinte forma:

Ao capturar uma imagem é necessária que a luz ambiente passe pela lente da câmera até o sensor, que transforma o pulso elétrico em imagem e através dele é definido o tamanho da imagem, quanto maior o sensor, pode ser melhor a qualidade da imagem e conseqüentemente o mapa gerado, dependendo de outros fatores.

b) Distância Focal

A distância focal define o campo de visão de uma lente. A distância focal é medida em mm (milímetros) e define o quanto é possível ver a partir de uma lente. Quando maior o valor, mais “fechado” será o ângulo de visão de uma lente. Quando esse valor é menor, mais “aberto” será o ângulo de visão de uma lente.

c) Pixel

É um termo oriundo do inglês que pode ser entendido como *Picture Element*, é a representação da menor parte de uma foto, definindo a sua resolução. É importante entender que uma imagem digital é como uma matriz formada por células, essas células são os pixels,



neles são armazenados valores referentes a energia da área do terreno capturando, formando então a foto.

d) GSD

O GSD (Ground Sample Distance) ou Amostra de Distância do Solo é a representação do pixel da imagem referente ao objeto de interesse. Ele define o nível de detalhamento do mapeamento, dessa forma, quanto menor o GSD, maior será o nível de detalhamento dos objetos.

4.2.3 Softwares de Voo

A pilotagem do RPA pode ser feita de forma manual, apenas a olho nu, mas o equipamento não deve ser perdido de vista. Para voos mais longos com propósitos topográficos, existem diversos aplicativos que auxiliam esta operação. Os mais conhecidos são o *DroneDeploy* e o *DJI GSP (Ground Station Pro)*.

São aplicativos que possibilitam o planejamento das missões de voo, enquanto o primeiro é compatível com smartphones e computadores, o segundo foi projetado para controlar voos de aeronaves da DJI, ele funciona apenas em iPads fabricados a partir de 2018.

4.2.4 Sobreposições

A sobreposição das fotos é um processo automatizado via software de planejamento de voo com a finalidade de mais de uma imagem possuir informações da área ou objeto estrutural para que os softwares de processamento de imagens possam identificar os pontos iguais para formar os modelos e mapas tridimensionais. Ela é importante para melhorar os dados altimétricos, quanto maior a sobreposição, melhor o resultado do mapeamento. (Drone Visual, 2020).

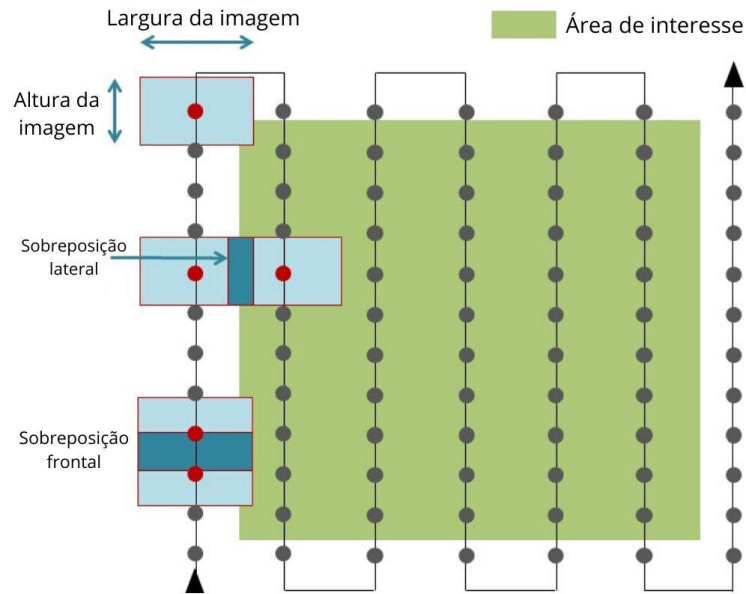


Figura 1. Sobreposição de Imagens. Fonte: A autora.

A sobreposição é o elo entre as várias fotos sequenciais feitas pelo RPA no momento de finalizar o mapa, já que ao utilizar dados de GPS para conduzir o seu voo automático, o RPA registra as informações de posicionamento e altitude em todas as fotos; dessa forma, cada imagem terá pontos em comum com a foto anterior e a próxima, onde será possível fazer o cruzamento das informações de georreferenciamento.

Se a sobreposição das imagens não for adequada, vão faltar informações comuns entre as fotos, o que pode acarretar erros de processamento, como buracos no ortomosaico representados na Figura 2. Importante frisar que o recomendado é que a sobreposição longitudinal tenha 70% e a lateral tenha, no mínimo, 60%. Também, durante o planejamento, deve ser selecionada uma área maior do que pretendida para o mapeamento, para que as “bordas” do mapa tenham uma boa sobreposição como o seu centro e que no resultado final, ele não apresente distorções.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil



Figura 2. Erros decorrentes da má sobreposição de imagens. Fonte: Mappa.

4.2.5 Softwares de Processamento de Imagens

Para a geração dos produtos finais, as imagens devem ser processadas em softwares próprios, eles têm o propósito de garantir toda a calibração e a aerotriangulação das imagens. Os mais conhecidos são o *Pix4D Mapper* e o *Agisoft Metashape*.

O *Pix4D Mapper* transforma as imagens capturadas por RPAs em mapas 2D e modelos 3D altamente precisos e georreferenciados. O *Agisoft Metashape* é também um software de processamento de imagens locais, capaz de gerar modelos tridimensionais e dados críticos para diversas engenharias.

Ainda, é importante frisar que terrenos com vegetação densa é uma deficiência da aerofotogrametria, já que pela vista aérea, são capturadas apenas a copa das árvores, ficando difícil de obter as informações do terreno, resultando em mapas distorcidos ou em erro total de processamento.



Figura 3. Organograma do Processamento de Imagens. Fonte: TECDRON.



4.2.6 Fluxo do Mapeamento

Diante do exposto, em um simples organograma, é possível definir o fluxo de trabalho da Aerofotogrametria da seguinte forma:



Figura 4. Organograma do Fluxo do Mapeamento.
Fonte: TECDRON

4.2.7 Modelos Digitais

Segundo Brito (2007), as pesquisas iniciais na área de modelagem digital de terreno foram realizadas pelo professor Charles L. Miller, do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, e tinha como objetivo a execução de projetos de estradas auxiliados por computação. Desde então, ampliou-se o horizonte para o uso desses modelos além da utilização em obras rodoviárias.

A representação do relevo, a topografia, a partir de um modelo digital, contribui na execução de estudos e análises de diferentes características. Dessa forma, foram



desenvolvidos os seguintes modelos digitais hoje tão comuns no levantamento topográfico com o uso da aerofotogrametria:

4.2.7.1 Ortomosaico

Conforme afirma Andrade (1998), a ortofoto digital é definida como uma imagem digital submetida à projeção cartográfica, podendo esta ser gravada em mídia digital ou impressa em papel. São, portanto, imagens que podem ser tratadas com as inúmeras ferramentas disponíveis nos softwares de processamento digital de imagens. Portanto, o ortomosaico é o resultado do processamento das imagens ortorretificada e georreferenciadas a partir da sobreposição lateral e longitudinal das imagens de toda a área mapeada (OLIVEIRA, 2020).

O ortomosaico é um mapa de alta resolução derivado da sobreposição das imagens, sem distorções de perspectiva e com geolocalização precisa.

4.2.7.2 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Tolentino (2017) define o Modelo Digital de Terreno como um modelo utilizado para representar as variações de altitude da superfície do terreno, sem a inclusão de objetos e detalhes existentes sobre ela, como vegetação e feições antrópicas. É uma representação virtual do terreno, um modelo de três dimensões. As imagens processadas geram coordenadas (X, Y e Z) para cada pixel na imagem, dessa maneira cada pixel terá uma coordenada de altura no eixo Z, isso permite modelar o terreno e criar curvas de nível, por exemplo.

4.2.7.3 Modelo Digital de Superfície (MDS)

Tolentino (2017) define o Modelo Digital de Superfície como um modelo que contém informações apenas sobre objetos existentes sobre a superfície do relevo, como edificações e vegetação. É a representação dimensional do terreno, oferecendo informações de todo o plano altimétrico do mapa e todos os objetos que estão presentes acima da superfície, como casas, árvores, prédios, pessoas e carros, por exemplo, com cada ponto georreferenciado nas coordenadas XYZ.

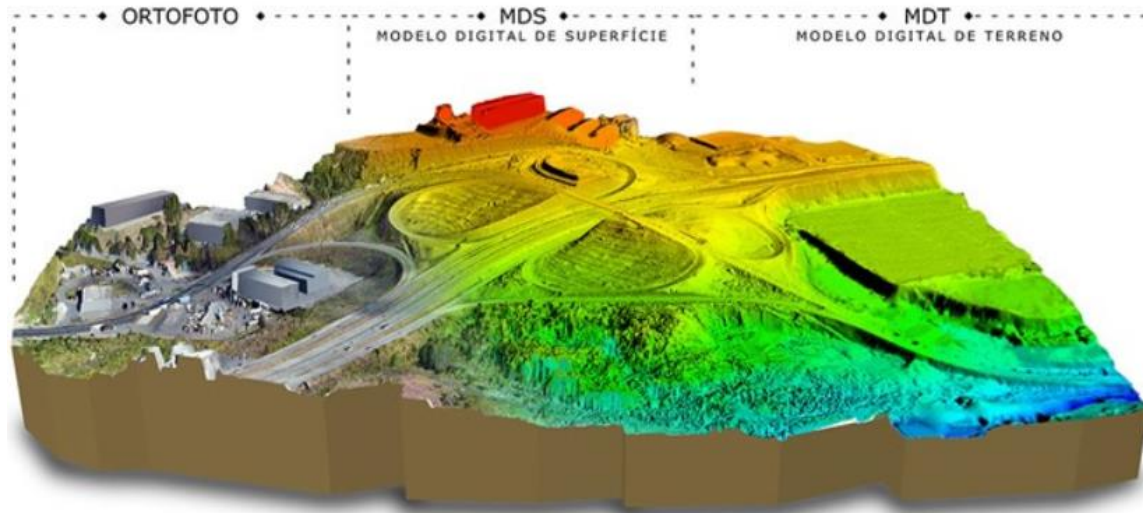


Figura 5. Ortofoto x MDS x MDT. Fonte: Aero – Sensoriamento Remoto

4.2.7.4 Nuvem de Pontos

A nuvem de pontos fornece um sistema de coordenadas tridimensional, definidos pelas coordenadas X, Y e Z com o objetivo de representar a superfície externa de um objeto. A nuvem de pontos pode ser considerada o resultado mais importante do processamento de imagens, com cada ponto identificável e relacionado entre si, possibilitando a geração de um modelo com densidade muito superior à de levantamentos topográficos comuns sendo possível perceber como o relevo está modelando de maneira muito próxima à da realidade, possibilitando a alta confiabilidade e precisão dos resultados (Drone Visual, 2020).

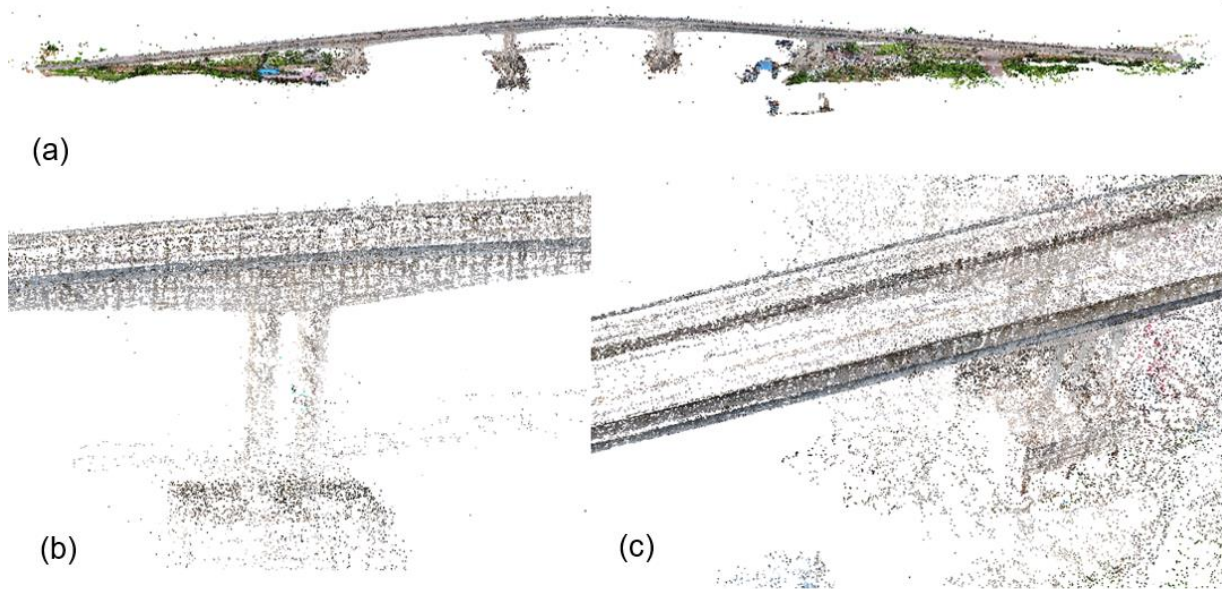


Figura 6. Nuvem de Pontos. Fonte: 61º Congresso Brasileiro do Concreto

4.2.7.5 Modelo 3D de Alta Resolução

Os modelos 3D são formados através da densificação da nuvem de pontos, representando fielmente edifícios, monumentos, áreas de interesse com detalhe elevado e precisão. Possibilitam a criação de trajetos e visitas virtuais, manipulação tridimensional de objetos, visualização 3D de áreas de risco e zonas inacessíveis.

4.2.7.6 Curvas de Nível

Conforme Diniz (2002) afirma, as curvas de nível são linhas resultantes da interseção de uma série de planos horizontais paralelos e equidistantes com o terreno a ser representado, projetadas num único plano. Define-se então a curva de nível como sendo o lugar geométrico de pontos de mesma cota ou altitude. Simplificando, elas representam a altitude do relevo em um espaço de duas dimensões (OLIVEIRA, 2020)

4.2.8 Pontos de Controle

Também conhecidos por GCP (*Ground Control Points*), Neto (2015), relata que os pontos de controle são alvos que irão aparecer nas imagens aéreas. Esses pontos são utilizados para usar como referência de coordenadas no terreno, sendo usado para aumentar a precisão



dos pontos gerados pelo aerolevanteamento, auxiliam no processamento de imagens para o ajuste de coordenadas.

Os RPAs possuem um sistema de GPS de navegação imbuído ao aparelho, entretanto, não possui tamanha precisão que certos tipos de levantamentos necessitam, a sua margem de erro é de 5 a 10 metros do ponto de interesse. Conforme Neto (2015), para melhorar a acurácia do levantamento com RPA é necessário a distribuição e coleta de coordenadas geodésicas, com ele, a margem de erro diminui para até 2cm.

Esses pontos de controle são feitos manualmente no campo utilizando equipamentos GPS geodésico, como RTK (Real Time Kinematic) ou RTX (Real Time eXtended), sendo espalhados pelo terreno que será mapeado, e principalmente nas diferenças de nível e em locais com vegetação mais densa/construções. Eles devem ser visíveis nas fotos realizadas pelo RPA, a uma altura de, geralmente, 120 metros. Existem dois tipos de Pontos de Controle para o aerolevanteamento:

- A. Alvos Naturais: Utilização de materiais ou pontos de referência encontrados no trabalho de campo, podendo ser pedras, madeiras ou faixas pintadas. Para os alvos devem-se garantir a fixação dos tais ao terreno. Este tipo de alvo é complicado de ser utilizado, já que são elementos presentes no ambiente e a pessoa responsável pelo processamento pode não saber que aquele ponto natural é um ponto de controle.
- B. Alvos Artificiais: Implantação de materiais preparados especificamente para aerolevanteamentos. Os alvos são fixados ao terreno com tinta branca, geralmente, para garantir a diferença dos pixels no apontamento dos pontos de controle no software, em média possuem cerca de 1,20m x 1,20.



Figura 7. Alvos Artificiais. Fonte: A autora.

4.2.9 Janela de Voo

O tempo e o clima é de extrema importância para garantir um levantamento de qualidade, já que em alguns horários do dia há um aumento ou diminuição da área de sombra. Segundo Arias (2017), quando a área de sombra é exorbitante, erros podem acontecer durante o processamento das imagens. Dessa forma, a janela de voo é um mecanismo que objetiva melhorar a qualidade do produto gerado, determinando com exatidão o melhor horário para o operador realizar o voo com o RPA.

De acordo com Arias (2017), a janela de voo é o período ideal para realizar o trabalho de campo. Essa janela tem duração de 4 horas e se encaixa no horário mais próximo do pico do sol, sendo calculado esse horário a partir do horário do nascer do sol e pôr do sol, conforme mostrado nas equações 1, 2 e 3:

$$(1) \text{Horário de Pico} = \frac{(\text{Nascer do Sol} + \text{Pôr do Sol})}{2}$$

$$(2) \text{Início da Janela} = \text{Horário de Pico} - 2h$$



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

(3) *Fim da Janela = Horário de Pico + 2h*

A equação 1 equaciona o horário de pico do sol, fazendo uma média entre o nascer e o pôr do sol, para obter um horário com menor taxa de sombra. Já a equação 2 e 3 é a fórmula para obter uma janela de, no total, 4 horas de duração, sendo diminuído 2 horas do horário de pico para achar o início da janela e somar 2 horas para obter o fim da janela.

Além da janela de voo, também é importante que o voo não ocorra com mau tempo, como chuvas, ventos fortes (maiores que 30 km/h) ou neblina. É preciso também evitar interferências entre o rádio controle e outros equipamentos sem fio que transmitam a mesma frequência do rádio (2.4GHz).



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

Nome da Localidade Estudada: Ponte Sergio Arruda e seu Entorno

Endereço Completo, Localidade: Trecho viário sobre o Canal do Jandiá, localizado na Rua Adilson José Pinto Pereira, na divisa entre os bairros Pacoval e São Lázaro. É a principal ligação entre a Zona Norte (ZN) e a Zona Sul (ZS) da cidade de Macapá-AP. A área utilizada para realização do estudo está representada pelo Mapa 1.

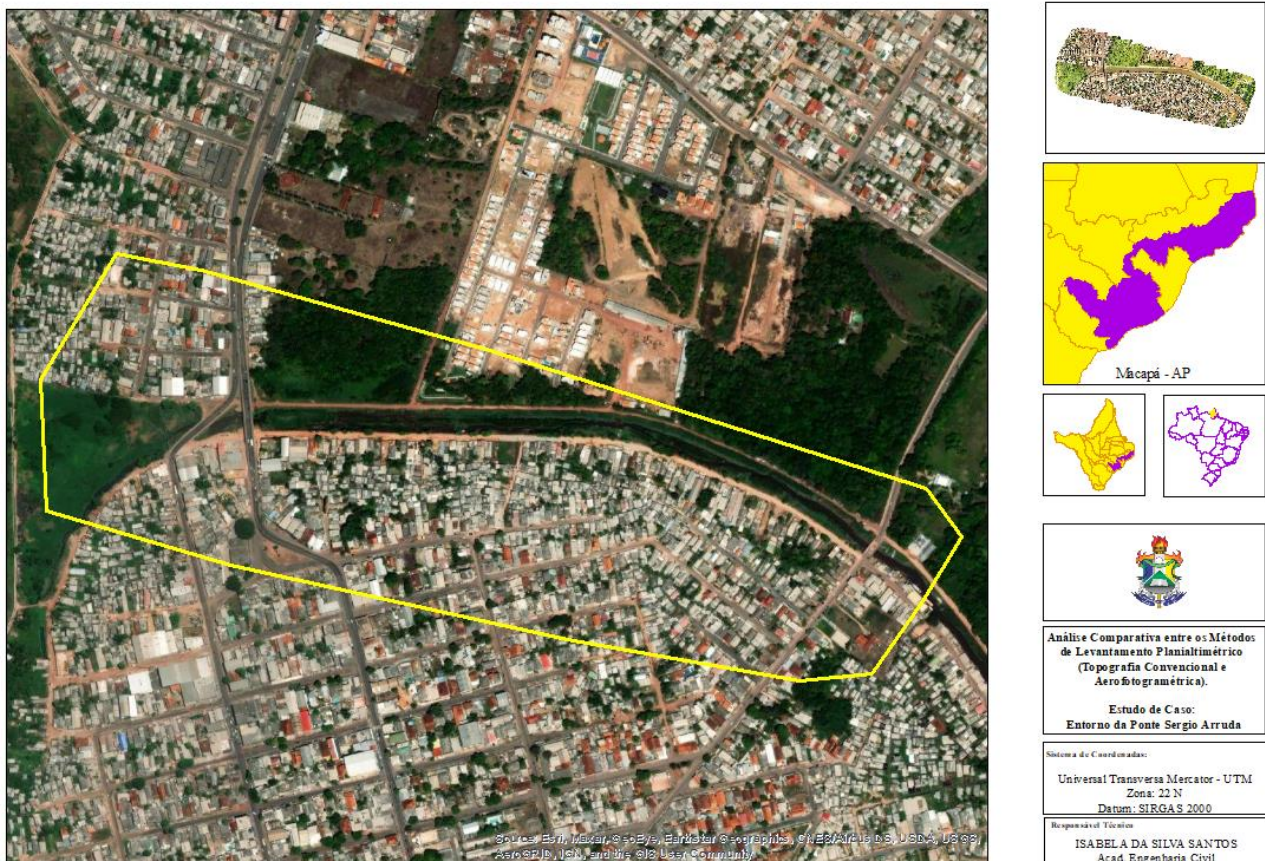


Figura 8. Área de Estudo. Fonte: A Autora.



5.2 Descrição do ambiente

5.2.1 Meio Físico

5.2.1.1 Clima

O clima da região conforme a classificação de Koppen, é do tipo Am (equatorial quente-úmido). A precipitação anual na região é em média 2.300 mm, com índice pluviométrico trimestral mais seco abaixo de 200 mm (ocorrendo nos meses de setembro, outubro e novembro), o período mais chuvoso ocorre no trimestre de março a maio (acima de 1.000 mm). Possui temperatura média de 25° C, ocorrendo pouca variação de temperatura durante o ano. Sua umidade relativa é alta, com valores entre 80% e 86%.

5.2.1.2 Direção dos ventos

A direção dos ventos para a cidade de Macapá varia nos sentidos Norte (N), Nor-Nordeste (NNE) e Lés-Nordeste (ENE), de acordo com o horário das marés e dias da semana. (CLIMATEMPO, 2021)

5.2.1.3 Solo

O solo predominante da área é do tipo Latossolo Amarelo (LA), que constitui o solo do domínio comumente encontrado na Cidade de Macapá.

5.2.1.4 Hidrografia

A ponte Sérgio Arruda está situada sob o Canal do Jandiá, curso d'água que deságua no rio Amazonas, o qual banha a cidade de Macapá – AP.

5.3 Descrição dos equipamentos Utilizados

No levantamento de dados, foram utilizados dois GPSs Geodésicos Topcon, com 3mm de precisão, representado na Figura 9. Ambos possuem oito horas de autonomia diária e 30 MB de memória. Com o apoio da base geodésica do Aeroporto Internacional de Macapá, os GPSs são receptores GNSS capazes de decodificar, em tempo real, as informações enviadas pelos



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

satélites das constelações (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS e SBAS). Eles fornecem as coordenadas das posições de interesse e as coordenadas de partida para a orientação. Neste levantamento, foi empregado para determinar as coordenadas conhecidas necessárias para aplicação do método de poligonação.



Figura 9. GPS Geodésico Topcon. Fonte: A Autora.

Já nos pontos levantados no decorrer da área, utilizou-se a Estação Total Topcon Signus, com precisão de também 3mm, com apoio do Prisma. Com esses equipamentos, é possível medir ângulos e distâncias, ela armazena os dados recolhidos e executa cálculos mesmo em campo. Enquanto o Prisma tem a finalidade de refletir o sinal eletrônico emitido e transmiti-lo de volta a Estação, possibilitando a medição eletrônica da distância entre a Estação e o ponto de interesse.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil



Figura 10. Estação Total Topcon Signus. Fonte: A Autora.

Para realização das fotografias aéreas foi utilizado um RPA DJI Mavic 2 Pro com câmera Hasselblad Sensor CMOS 1" 20 MP com autonomia de voo de aproximadamente 25 minutos por bateria. As fotografias foram capturadas no dia 28 de novembro de 2021 às 08h. O equipamento utilizado está representado na Figura 11.



Figura 11. RPA DJI Mavic 2 Pro. Fonte: A Autora.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Para o processamento de imagens da câmera RGB, produção de elementos como nuvens de pontos densos, modelos poligonais texturizados, ortomosaicos verdadeiros georreferenciados e MDTs/MDSs foi utilizada a plataforma Mappa, que utiliza como base o *software* Pix4D. A plataforma também oferece, além dos modelos digitais, os índices de vegetação e outras informações necessárias para a produção de mapas.

Com os produtos obtidos no processamento das imagens, utilizou-se o ArcGIS e o Autodesk Civil 3D para a manipulação dos modelos, vetorização de feições do ortomosaico, a elaboração dos mapas e da planta topográfica presente neste estudo. O QGIS é um Sistema GIS baseado em linha de comando para a manipulação de dados; enquanto o Autodesk Civil 3D contém todas as funcionalidades do Autocad, mas também possui ferramentas exclusivas que fornecem ao usuário a possibilidade de desenvolver, com maior facilidade, projetos nas áreas de transportes, SIG, meio ambiente, como análise de bacias hidrográficas e estudos hidráulicos e hidrológicos.

5.4 Processamento dos dados

5.4.1 Topografia Convencional

O processamento de dados GNSS foi realizado em 4 etapas. Na primeira, realizou-se a obtenção dos pontos da Base Geodésica, localizada nos limites do Aeroporto Internacional de Macapá e dos marcos dos GPSs Geodésicos; no *software Magnet Office Tools* ocorre o ajuste de dados capturados em campo.

Após o processamento e ajustamento de dados GNSS coletados, foram disponibilizados os pontos em uma planilha do Excel. Posteriormente os pontos foram inseridos no *software* MAPGEO2010, disponibilizado pelo IBGE, para a obtenção da ondulação geoidal, e, no Excel, o consequente cálculo da cota ortométrica.

O modelo geoidal utilizado no trabalho foi o MAPGEO2010. O *software* disponibilizado pelo IBGE permite a transformação de altitudes geométricas em ortométricas a partir do cálculo do Geóide, em que, no Excel, permite ao profissional descobrir a cota ortométrica a partir da



diferença entre o Geoide e o Elipsoide.

É importante frisar que a utilização das cotas ortométricas, que são as altitudes, representam ao processamento de imagens uma melhora significativa nos resultados obtidos nos modelos digitais.

Por fim, localiza-se o Norte, Leste e a Cota Ortométrica de cada ponto de controle para então iniciar o processamento no *software* Topograph, em que é possível calcular as poligonais, irradiações e gerar as curvas de nível.



Figura 12. Processamento de Dados GNSS. Fonte: TECDRON.

5.4.2 Topografia com Aerofotogrametria

5.4.2.1 Planejamento dos Pontos de Controle

A distribuição dos pontos de controle pela área que será mapeada é importante na



caracterização da área mesmo que ela se mostre homogênea. Torna-se interessante coletar pontos em locais que representem a totalidade da área como partes mais baixas, partes mais altas, partes com densas edificações e áreas próximas a vegetação também, com o objetivo de melhorar o processo de modelagem do terreno.

Além disso, também é importante ter pontos de controle em locais onde haverá sobreposições de voo, para evitar problemas no ortomosaico, que se caracterizam como “degraus” e buracos na geração da ortofoto.

É de conhecimento público que o Aeroporto Internacional de Macapá possui uma Base Geodésica em seus domínios, e devido a distância da área trabalhada ser menor de 20km da mesma, optou-se por utilizá-la como base para os GPS's.

Para o voo da área de estudo deste trabalho foram coletados 7 pontos, distribuídos conforme figura 13, em virtude do *software* de processamento de imagens recomendar entre 5 e 10.

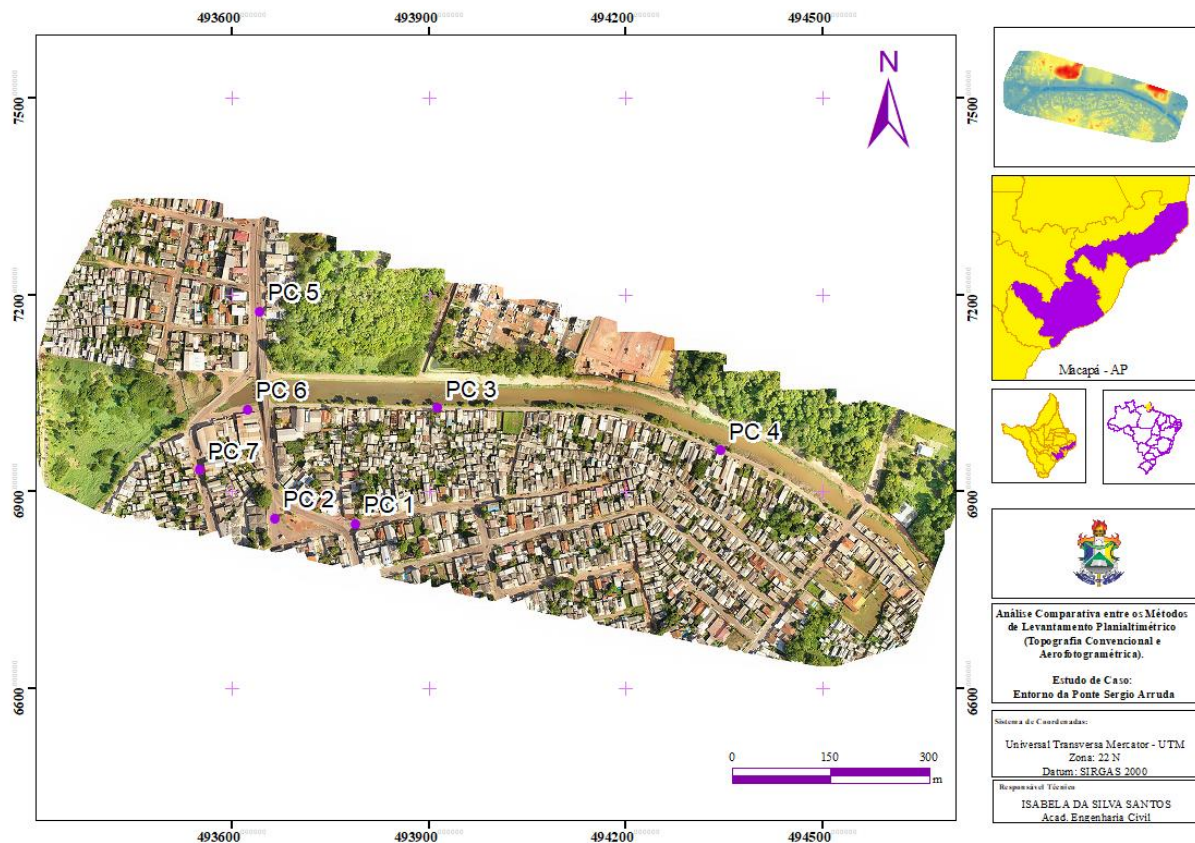


Figura 13. Distribuição dos Pontos de Controle. Fonte: A Autora.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Desenhou-se o alvo a ser coletado com a Estação Total no asfalto das ruas dentro da área a ser mapeada, o alvo possui um tamanho considerável para que seja identificável nas imagens vistas do alto, principalmente o seu centro, que possuirá o pixel com o apontamento das coordenadas do ponto de controle durante o processamento. A figura 14 exhibe o alvo utilizado.



Figura 14. Ponto de controle. Fonte: A Autora.

5.4.2.2 Planejamento dos Parâmetros de Voo

Os parâmetros de voo estabelecidos foram a altitude de voo, a sobreposição de imagens vertical e lateral, velocidade de voo e a liberação da *No Fly Zone*, visto que a área estudada é próxima ao aeroporto da cidade.

A altitude de voo é calculada com base na escolha da resolução espacial (GSD) definida para o projeto utilizando-se a equação 4:



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

$$(4) \textit{Altitude de Voo} = \frac{\textit{Distância Focal} * \textit{GSD}}{\textit{Pixel}}$$

O tamanho do pixel pode ser calculado a partir de informações técnicas oferecidas pela fabricante do RPA, como o tamanho do sensor e da imagem gerada por ele. Dessa forma, é possível afirmar que o pixel possui 4.642 μm .

A distância focal também é determinada pela fabricante, que possui 28mm, enquanto o GSD é atribuído pelo piloto a partir de prévias experiências, é recomendável trabalhar com o GSD de até 10cm, porém, para alcançar um maior nível de precisão nos detalhamentos das imagens, optou-se por um GSD de 2,52cm. Dessa forma, é possível calcular a altitude de voo.

$$\textit{Altitude de Voo} = \frac{28\textit{mm} * 2\textit{cm}}{4.462\mu\textit{m}} = 120,643\textit{m}$$

Quanto a sobreposição das imagens, optou-se por uma sobreposição de 70% tanto longitudinal quanto frontal, com velocidade de 14.8 m/s. Lembrando que voos em altas velocidades podem causar o fenômeno de arrastamento nas imagens, trazendo problemas para o processamento das imagens e consequentes modelos digitais.

No Fly Zone (NFZ)

A *No Fly Zone* é uma funcionalidade que visa gerenciar os locais onde o RPA pode voar, se o GPS detecta que o local está dentro de uma área proibida, não deixará o RPA subir. Em outras áreas o aplicativo de voo gera as limitações de voo para manter o RPA dentro das regras, como por exemplo não permitindo subir em uma altura acima de 120m em áreas onde esse é o limite, mesmo que o usuário tenha definido limite de altitude maior no aplicativo.

Essas limitações passaram a ser mais rigorosas com uma atualização lançada no início do mês de março de 2019. O principal motivo é a pressão imposta por autoridades após os problemas com RPAs ocorridos na Europa em 2018, em que o segundo maior aeroporto de Londres fechou por cerca de 4 dias devido a um RPA.

A fabricante do RPA utilizado neste trabalho, a DJI, delimita seu sistema de GEO Zonas em três grandes zonas: Vermelha, Azul e Laranja. A Vermelha é uma zona restrita, em que não é possível levantar voo, apenas mediante liberação das autoridades locais e da fabricante, através do seu site oficial. A Azul é uma zona por autorização, os voos são liberados através do



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

perfil do piloto na plataforma da fabricante, em que deve-se descrever as atividades e tem um limite de 3 dias de duração, até expirar. Enquanto a Laranja é parecida com a Azul, mas para a autorização não é necessária uma conta verificada na plataforma ou conexão com internet para seguir com o voo.

Em Macapá, a DJI delimita a cidade em zonas da seguinte forma:

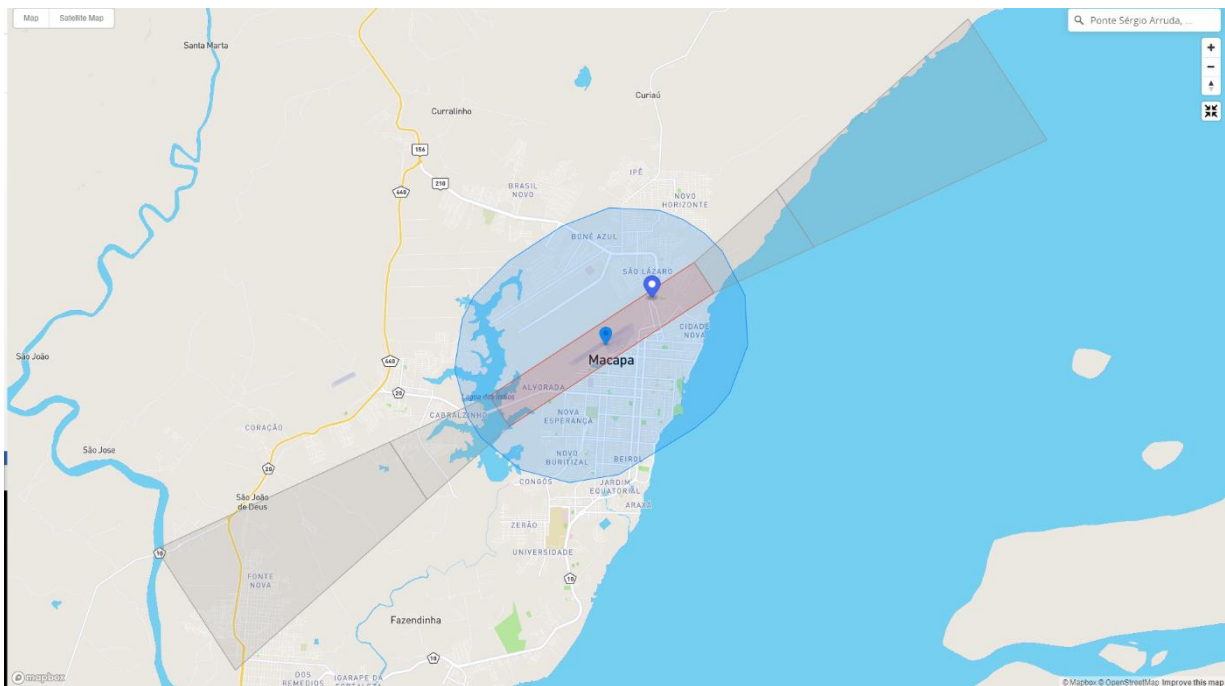


Figura 15. Geo Zone Map. Fonte: DJI.

A área estudada neste trabalho (pino azul e branco), está localizada na Zona Vermelha, área próxima ao Aeroporto Internacional de Macapá – SBMQ, e além do trâmite no próprio site da fabricante, também é necessário seguir o prescrito na ICA 100-40, normativa que dá instruções sobre o voo de aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro, uma publicação do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

O voo foi realizado dentro da Zona de Pouso e Decolagem (ZAD) do aeródromo de Macapá, logo, de acordo com o item 11.1.10 da norma, os seguintes documentos são necessários:

- A. Autorização do administrador do aeródromo;
- B. Autorização do órgão ATS local (se houver);



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

A autorização do órgão ATS local é comprovada a partir da elaboração dos seguintes documentos:

- A. Avaliação de Risco Operacional (ARO), em que o piloto da aeronave elenca os perigos, riscos, probabilidades e severidades em caso de ocorrências, além das ações mitigadoras, se aplicáveis;
- B. Análise de Impacto sobre a Segurança Operacional (AISO), que deverá prescrever as operações e as áreas do aeródromo onde ocorrerá o voo, identificando os perigos, os riscos, as probabilidade e severidades em caso de ocorrências, além das ações mitigadoras, se aplicáveis, confeccionada pelo Administrador Aeroportuário Local (AAL);
- C. Carta de Acordo Operacional (CaOp) entre o AAL, o operador do RPA e o órgão ATS local, em que deve estabelecer os procedimentos operacionais acordados, condições para a consecução das operações, procedimentos operacionais de emergência, meios de comunicação entre o piloto e os órgãos etc.

Com a emissão de todos esses documentos, deve ser emitida uma Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS) na plataforma online do DECEA, sendo assim, com a autorização do Departamento, o voo pode ocorrer. Importante frisar que pela proximidade com o eixo de decolagem da cabeceira 08 da pista do aeroporto, o voo não pôde ser realizado no período de tempo ideal – entre 10 e 15h, com sol a pino -, sendo a única janela de tempo disponível o horário de 07-08h da manhã, em que há baixa previsão de voos, algo que não interfere na qualidade da ortofoto entregue, já que o nascer do sol ocorre 1h antes e durante o dia do levantamento não houve chuvas ou tempo nublado.

Com esse processo finalizado, o piloto segue para a liberação da fabricante. No site, além de anexar os documentos emitidos pelo aeroporto e descrever as atividades, também deve-se desenhar a área do plano de voo idealizado, já que a fabricante liberará apenas a área de voo desenhada e não toda a zona vermelha, algo que representa perigo para a navegação aérea.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil



Figura 16. Equipe TECDRON em encontro com a equipe do SBMQ. Fonte: TECDRON.

Diante de todos estes documentos e autorizações, a equipe TECDRON pôde sobrevoar a área de forma legalizada. O voo durou cerca de 1h, com duas pausas para troca de bateria do RPA, processo todo acompanhado pela equipe do aeroporto em contato com a torre de controle

5.4.2.3 Software Mappa

Como já citado no item 5.3, a plataforma Mappa foi utilizada para a obtenção dos produtos cartográficos digitais. Ela foi escolhida devido ao custo benefício para a empresa que realizou o processamento das imagens, já que os *softwares* citados anteriormente possuem licenças anuais de elevado valor, enquanto a plataforma realiza o processamento de forma online, tomando como base o *software* Pix4D, em que é necessário o operador inserir informações básicas como o tipo de levantamento, característica das imagens e o .txt dos pontos de controle.

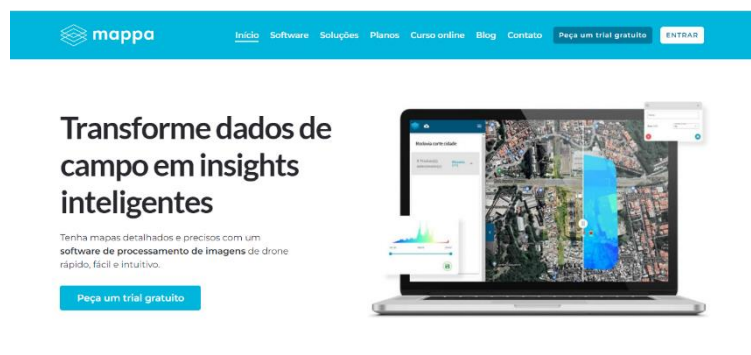


Figura 13. Plataforma Mappa. Fonte: Mappa.

A plataforma solicita dados relevantes para o processamento, como o tipo de câmera:



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Tipo do processamento Configurações do processamento Upload de imagens Resumo do processamento

Tipo de Câmera

RGB

Multiespectral

Descrição:
Câmeras e sensores fotográficos convencionais.

Exemplos:
FC6310 (Phantom 4), Canon, Sony.

Formato das Imagens:
Imagens em formato JPEG ou PNG com orientação de 90° em relação ao solo.

Figura 14. Configurações de Processamento – Tipo de Câmera. Fonte: Mappa.

Solicita também o tipo de processamento (Padrão, Agrícola, Topográfico ou Silvicultura):

Tipo de Processamento

Padrão

Agrícola

Topográfico

Silvicultura

Descrição:
Processamento voltado para resultados com precisão altimétrica.

Produtos Gerados:
Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno, Modelo Digital de Superfície, Curvas de nível, nuvem de pontos e modelo 3D.

Figura 15. Configurações de Processamento – Tipo de Processamento. Fonte: Mappa.

Deve ser feito também o Log de Voo, é selecionada a opção Fotos Georreferenciadas, já que o equipamento possui GPS acoplado. As outras opções são selecionadas quando a aeronave utilizada é da empresa responsável pela plataforma (Horus) ou quando se utiliza RPAs com RTK ou PPK acoplados.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Log de Voo

Fotos georreferenciadas

Log de voo Horus

Log de voo Horus RTK/PPK

Descrição:
Imagens que já estão com coordenadas geográficas inseridas em suas propriedades.

Tipo de Arquivo:
Em geral imagens de multirotores já possuem geotag e essa opção deve ser selecionada.

Figura 16. Configurações de Processamento - Log de Voo. Fonte: Mappa.

E por fim, caso seja um processamento com pontos de controle, deve-se selecionar o EPSG, que é o sistema de referência de coordenadas do planeta por códigos reprojatados para o Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000, geralmente. Para este processamento, foi utilizado o EPSG 31976 (SIRGAS 2000/ UTM Zone 22N).

Pontos de Controle

Usar Pontos de Controle

Escolher EPSG:

Escolha o EPSG do seu GCPs

- SIRGAS 2000 / UTM zone 18N - EPSG:31972
- SIRGAS 2000 / UTM zone 18S - EPSG:31978
- SIRGAS 2000 / UTM zone 19N - EPSG:31973
- SIRGAS 2000 / UTM zone 19S - EPSG:31979
- SIRGAS 2000 / UTM zone 20N - EPSG:31974
- SIRGAS 2000 / UTM zone 20S - EPSG:31980

Figura 17. Configurações de Processamento - Pontos de Controle. Fonte: Mappa.

A rotina de processamento das imagens é detalhada a seguir:

Initial Processing/General (Processamento Inicial): Essa etapa realiza a busca nas imagens pelos pontos de encontro, formando a primeira base para o restante do processamento, chamado de *Tie Points*. As propriedades permitem definir a qualidade dessa



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

primeira base e o tipo de processamento de acordo com o plano de voo. Basicamente é adotada uma técnica aerofotogramétrica denominada de fototriangulação em que se determina as coordenadas do terreno em relação a um referencial localizado no mesmo (pontos de controle).

Point Cloud (Nuvem de Pontos): O *software* irá densificar o *Tie Points* criado no processamento inicial e gerar a nuvem de pontos e o modelo tridimensional. Alterando as propriedades dessa etapa é possível definir as extensões desejadas para a nuvem de pontos e aumentar a densidade de pontos no modelo 3D, gerando maior precisão nas etapas seguintes.

Textured Mesh (Modelo 3D): O *software* permite que o usuário altere as opções de processamento e as saídas desejadas para a malha 3D texturizada melhorando visualmente o modelo, aprimorando a representação de detalhes da área.

DSM and Orthomosaic (MDS E Ortomosaico): O *software* gera então o ortomosaico e o modelo digital de superfície. A elaboração do MDS se dá através dos modelos 3D já construídos (terreno e superfície). Como resultado obtém-se um modelo 2D da área, mas com informações da altimetria da área na imagem. Também ocorre a correção posicional das imagens de forma que representem a área de forma ortogonal, este processo é chamado de ortoretificação.

Também é possível habilitar o *software* para a geração de algumas saídas adicionais e também suas extensões, como o Modelo Digital de Terreno (MDT) e as Curvas de Nível.



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento topográfico convencional obteve dados de 5,548 km, utilizando a Estação Total, enquanto no Levantamento Aerofotogramétrico, com o apoio do RPA, foram registradas 574 imagens, sobrevoando uma área de 62 hectares, a qual gerou a ortofoto da área de interesse.

A análise de custos, viabilidade operacional e tempo de trabalho, assim como da acurácia para a geração da planta cadastral serão discutidos a seguir.

6.1 Custo

Para a análise dos custos envolvidos na obtenção da planta cadastral da Ponte Sérgio Arruda, optou-se pela estimativa dos valores de cada tipo de levantamento na mesma unidade.

Considerando o levantamento topográfico convencional com uso de Estação Total, temos como referência até mesmo a nível nacional, a Revista A Mira, que possui um simulador referencial de preços de serviço de agrimensura, preparada pela Associação das Empresas de Topografia do Estado de São Paulo (AETEP) e pela Associação dos Profissionais de Engenharia Agrimensura do Estado de São Paulo (APEAESP), que segue a NBR 13.133/94 – Execução de Levantamentos Topográficos. Tabela esta que está registrada na Câmara de Engenharia de Agrimensura do CREA-SP.

Quadro 1. Simulador Referencial de Preços de Serviço de Agrimensura. Fonte: Revista A Mira

Serviço	Unidade	Valor Unitário
Áreas até 3.000	m ²	R\$ 3.599,16
Áreas de 3.001m ² até 10.000	m ²	R\$ 1,80
Áreas acima de 10.000	m ²	R\$ 1,44



Ao se analisar o método de levantamento topográfico por aerofotogrametria, temos como base de custos os valores considerados pelo mercado constantes no quadro 2 a seguir.

Quadro 2. Tabela de Preços Aerofotogrametria. Fonte: TECDRON.

Serviço	Unidade	Unidade	Unidade
Sobrevoos para a Captura de Imagens	Até 1 ha	De 1 a 5 ha	Acima de 5 ha*
	R\$ 250,00	R\$ 200,00	R\$ 150,00
Processamento de Imagens	R\$ 50,00	R\$ 40,00	R\$ 35,00
Criação de Modelos (MDS, MDT, Curvas de Nível, 3D e Ortofotograma Georreferenciada)	R\$ 50,00	R\$ 40,00	R\$ 35,00
Subtotal	R\$ 350,00	R\$ 280,00	R\$ 220,00
Elaboração de Relatório + ART	R\$ 150,00		
Total**	R\$ 500,00	R\$ 430,00	R\$ 370,00

* A variar de acordo com a dimensão das áreas.

** Valores multiplicados pela quantidade de hectares.

6.2 Viabilidade Operacional

Partindo do princípio de que todos os equipamentos necessários para a execução dos levantamentos estão disponíveis, a viabilidade operacional está relacionada a capacitação do corpo técnico e o efetivo de participantes em cada método.

É perceptível que a equipe técnica é a mesma, enquanto o diferencial está no quantitativo de auxiliares. Isso ocorre devido a consagração do levantamento topográfico convencional, que possui um maior número de profissionais habilitados no mercado, além de, com o quantitativo maior de equipamentos, é necessário um número maior de pessoas para lidar e operar com eles em campo. Já o levantamento aerofotogramétrico possibilita que profissionais liberais como engenheiros e técnicos da área possam executar todo o levantamento de campo, sem um número expressivo de auxiliares, visto que, em campo, é necessário apenas o RPA e o GPS Geodésico para os pontos de controle.

No Levantamento Topográfico Convencional, com a Estação Total, foram necessárias 3 pessoas em campo e 1 para o processamento dos dados de campo no escritório. Enquanto a equipe de campo conta com um topógrafo e dois auxiliares, a equipe de escritório necessita de um técnico especialista em georreferenciamento e geoprocessamento.

Já para o Levantamento Aerofotogramétrico, são necessárias apenas duas pessoas,



tanto em campo quanto no processamento das imagens. Em ambos os casos, necessita-se de um engenheiro e um auxiliar.

6.3 Tempo de Trabalho

O tempo médio gasto nas atividades de cada método leva em consideração a atividade de campo, processamento dos dados, edição e a geração de produtos. Para tanto temos na Tabela 1 o comparativo de horas de trabalho para os dois métodos de levantamento analisados nesta pesquisa.

Tabela 1. Estimativa de tempo gasto nos diferentes tipos de levantamento topográfico. Fonte: A Autora.

Etapa	Levantamento Topográfico Convencional	Levantamento Aerofotogramétrico
Atividades de Campo	21 horas (~3 dias de 8 as 17h)	5 horas
Atividades de Processamento de Dados	1 hora	6 horas
Edição e Geração dos Produtos	8 horas	3 horas
Tempo Total	30 horas	14 horas

Conforme a tabela 1 temos que o levantamento topográfico com RPA levou em torno de 14 horas (cerca de 02 dias), enquanto que o levantamento convencional foi de 30 horas, distribuídos em cerca de 05 dias de trabalho.

É necessário frisar que o tempo de atividade de campo pode sofrer alteração significativa caso a equipe não tenha experiência no levantamento, fazendo com que o mesmo ponto seja registrado diversas vezes. No escritório, é demandado um tempo considerável na geração dos produtos, já que o desenho é feito utilizando os pontos irradiados e o croqui, o que representa um acréscimo temporal na edição da planta planialtimétrica.

Para o RPA, temos que o procedimento de campo para este levantamento é bem mais simples e rápido, sendo que a maior demora se deu na aquisição dos pontos de controle (04h10), enquanto que o voo durou 50 minutos, já contando com as pausas para troca de bateria. Já o tempo de processamento é diretamente proporcional a capacidade operacional do computador utilizado, quanto melhor o *hardware* da máquina, maior a capacidade de



processamento e maior velocidade na geração dos modelos digitais.

6.4 Acurácia

6.4.1 Coordenadas Norte e Leste

De posse dos pontos de controle obtidos pela estação total, procedeu-se o comparativo com relação ao ponto central da marcação dos pontos em solo a partir da ortofoto ajustada.

Com isto, para o sentido Norte temos uma diferença média de 0,0154 m com desvio padrão de 0,0129 m. Para o sentido leste temos uma média de 0,0224 m e desvio padrão de 0,0287 m. A Figura 22 apresenta esta diferença em metros para cada ponto de controle processado.

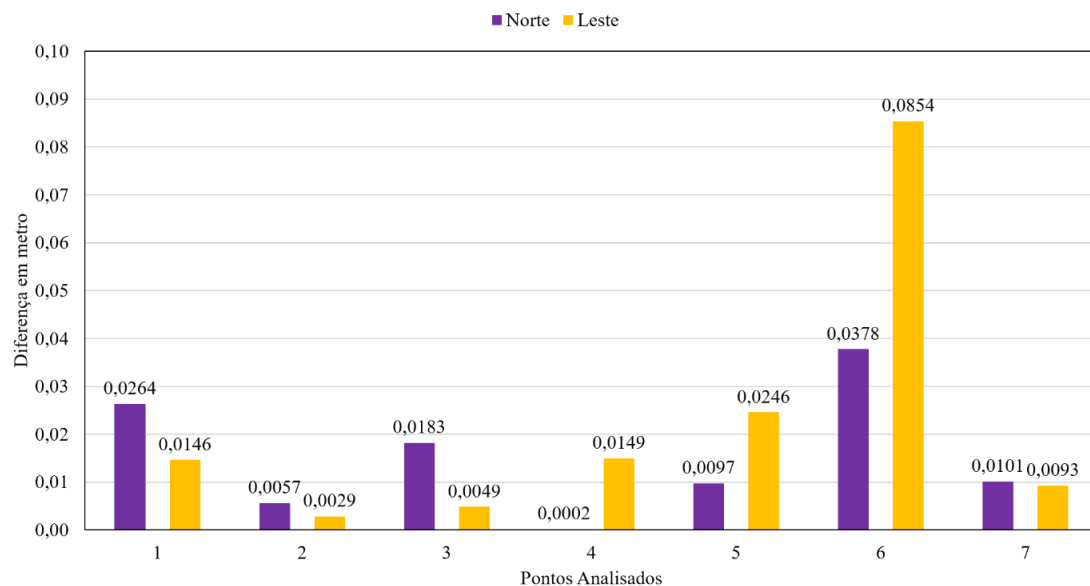


Figura 18. Diferença ET x Aerofotogrametria Ajustada – Norte e Leste. Fonte: A Autora.

Sobre a Ortofoto Ajustada, cabe a discussão que quanto maior a proximidade entre os pontos de controle, ocorre a redução da acurácia. Exemplo disso é o ponto 6, com localização próxima do ponto 2, 7, 3 e 5.

Já para a análise da Ortofoto sem Ajuste, a diferença média para Norte é de 0,3348 m e desvio padrão de 0,1645 m, já para Leste a média é de 0,6898 m, com o desvio padrão de 0,8096 m. A Figura 23 apresenta esta diferença em metros para cada ponto de controle processado.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

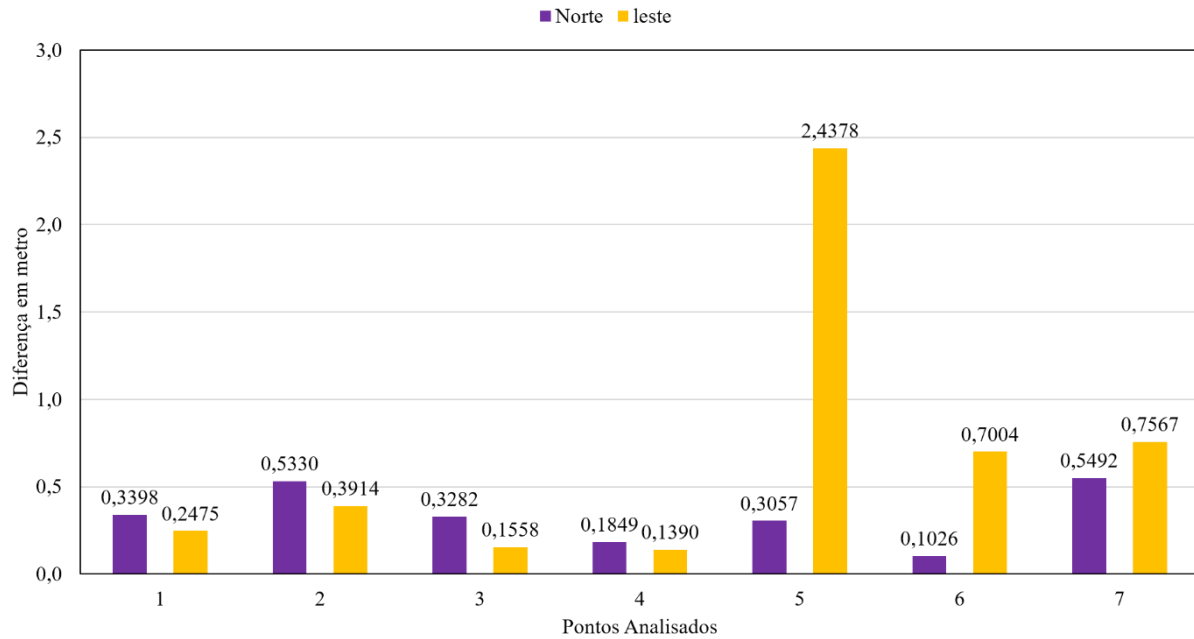


Figura 19. Diferença ET x Aerofotogrametria sem Ajuste – Norte e Leste. Fonte: A Autora.

Considerando a Ortofoto sem Ajuste, há a aproximação dos pontos devido ao próprio GPS do RPA, entretanto, o ponto 5 já está localizado próximo a extremidade da orto, fazendo com que as sobreposições de imagem sejam menores, logo, apresenta um ajuste diferente em comparação aos outros.

Segundo Honorato (2019), em estudo realizado no perímetro urbano de Palmas, no estado do Tocantins, com uma área de aproximadamente 0,9 ha e um perímetro de aproximadamente 370 metros, obteve-se uma média de 0,033 m a Norte e 0,009 m a Leste, com um desvio padrão de 0,025 m a Norte e 0,016 m a Leste.

Já Oliveira (2018), em uma propriedade rural localizada na região metropolitana de Goiânia, com 5,71 ha, obteve uma média de 0,035 m a Leste e 0,0229 m a Norte, com um desvio padrão de 0,192 m a Leste e 0,111 m a Norte.

Diante disso, os resultados encontrados na análise deste trabalho estão aproximados das médias de outras pesquisas realizadas.



6.4.2 Distâncias

Também se calculou as distâncias de cada um dos desenhos de referências das ortofotos com e sem ajuste, tendo os pontos marcados pela Estação Total como base, resultando no gráfico 24 a seguir.

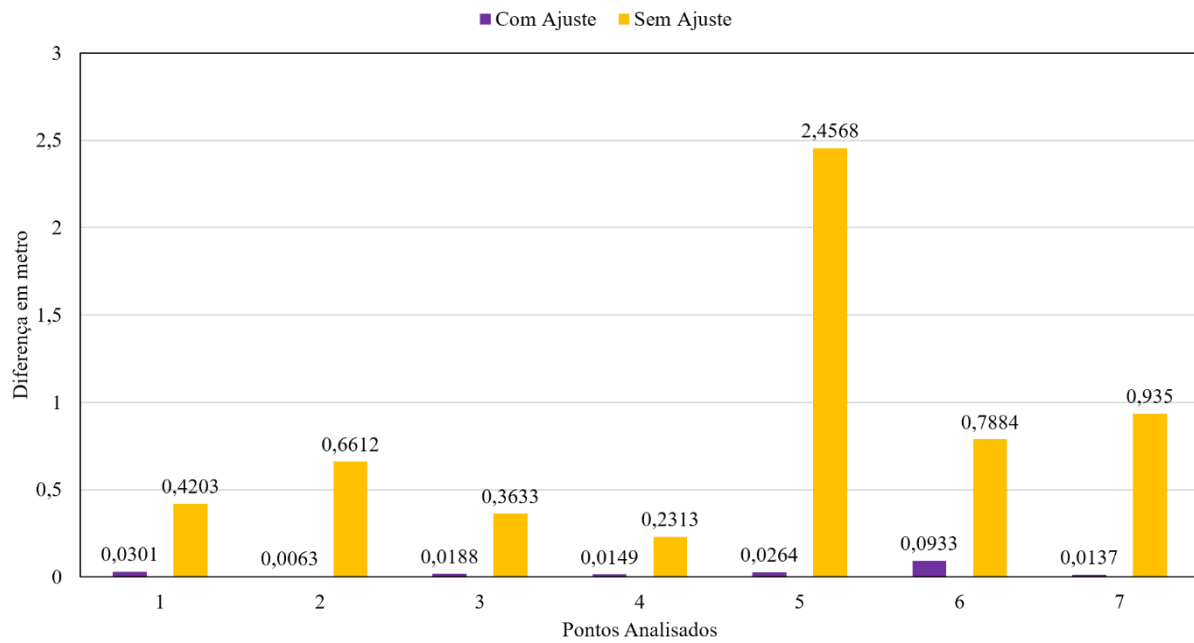


Figura 20. Distância em metros em relação aos Pontos de Controle. Fonte: A Autora.

Para melhor visualização, serão expostos lado a lado os sete pontos, descrevendo de forma visual as suas distâncias.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Na Ortofoto Ajustada com os pontos representados pelo símbolo azul, é perceptível a precisão em relação aos pontos da Estação Total, que foi tomado como base. A Figura 25 apresenta esta distância para cada ponto de controle processado, tomando a Ortofoto Ajustada como fundo.

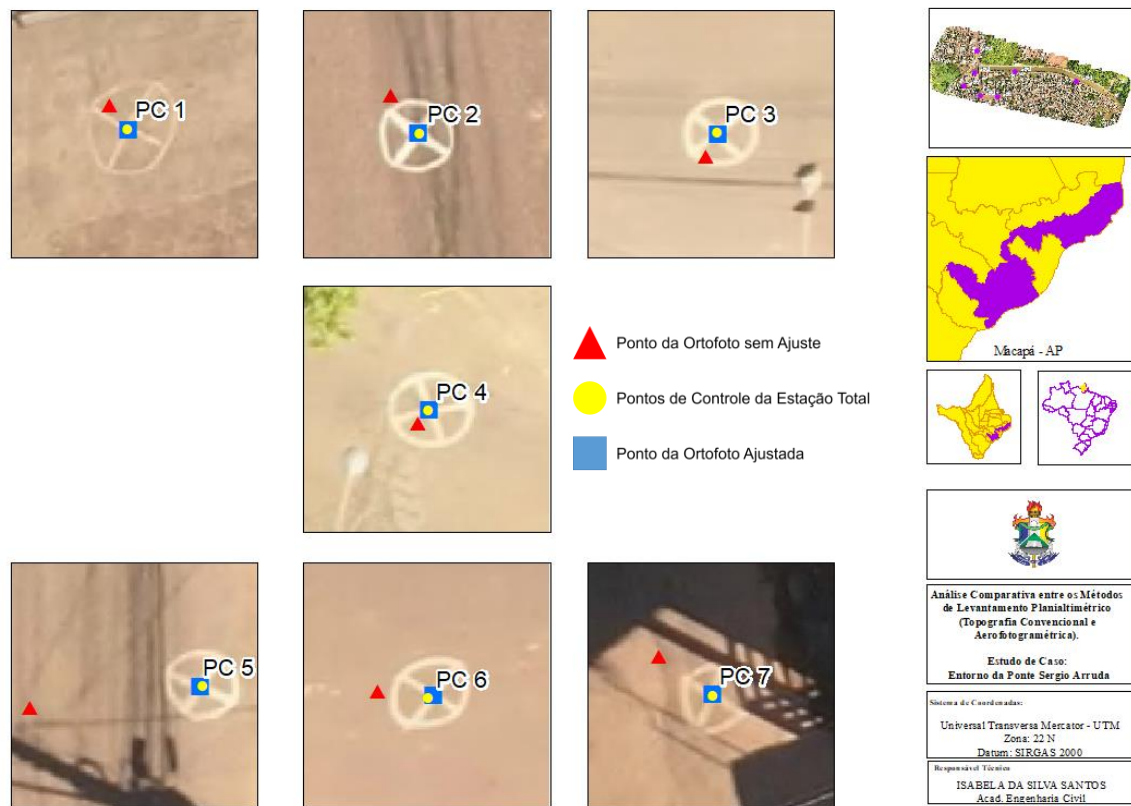


Figura 21. Detalhes Pontos de Controle – Ortofoto Ajustada. Fonte: A Autora.



Enquanto isso, a Ortofoto sem Ajuste já apresenta uma distância maior dos pontos marcados pela Estação Total, os pontos marcados por ela estão representados na cor vermelha. A Figura 26 apresenta esta distância para cada ponto de controle processado, tomando a Ortofoto sem Ajuste como fundo.



Figura 22. Detalhes Pontos de Controle – Ortofoto sem Ajuste. Fonte: A Autora.

Aqui, é perceptível a diferença entre as ortofotos com e sem ajuste, em especial os pontos 5 e 7, uma das possibilidades para essa discrepância é devido o sombreamento da área, resultando em imagens com iluminação insuficiente para um bom processamento, há também a opção da própria localização deste ponto, devido a sua proximidade com uma das bordas da orto, que são as partes mais afetadas pela distorção no processamento de imagens, já que não possuem sobreposição suficiente com as fronteiras da área delimitada.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

6.5 Planta Cadastral

Sendo a planta cadastral da Ponte Sérgio Arruda, o objeto desta pesquisa, temos os seguintes produtos fornecidos por parte dos métodos analisados. Sendo que enquanto o levantamento topográfico convencional apresenta apenas o layout dos dados, o método de levantamento topográfico aerofotogramétrico apresenta maior detalhamento das informações com a ortofoto que possibilita a vetorização das informações em campo, conforme figura 27.

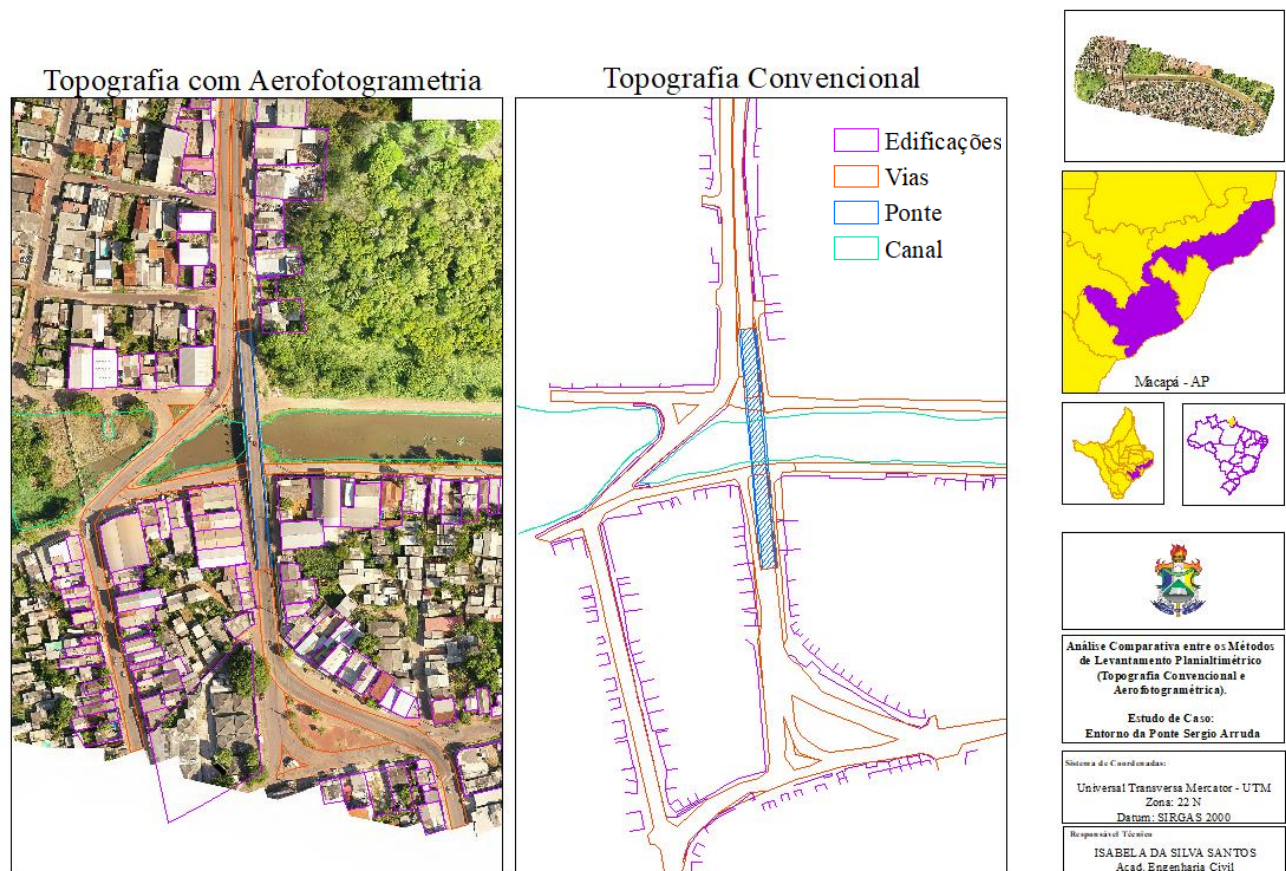


Figura 23. Produtos entregues para a Planta cadastral. Fonte: A Autora.



Uma forma de realizar a comparação em mesmo nível, utilizamos os dados do levantamento convencional e os dados da vetorização das informações do ortomosaico (figura 28)

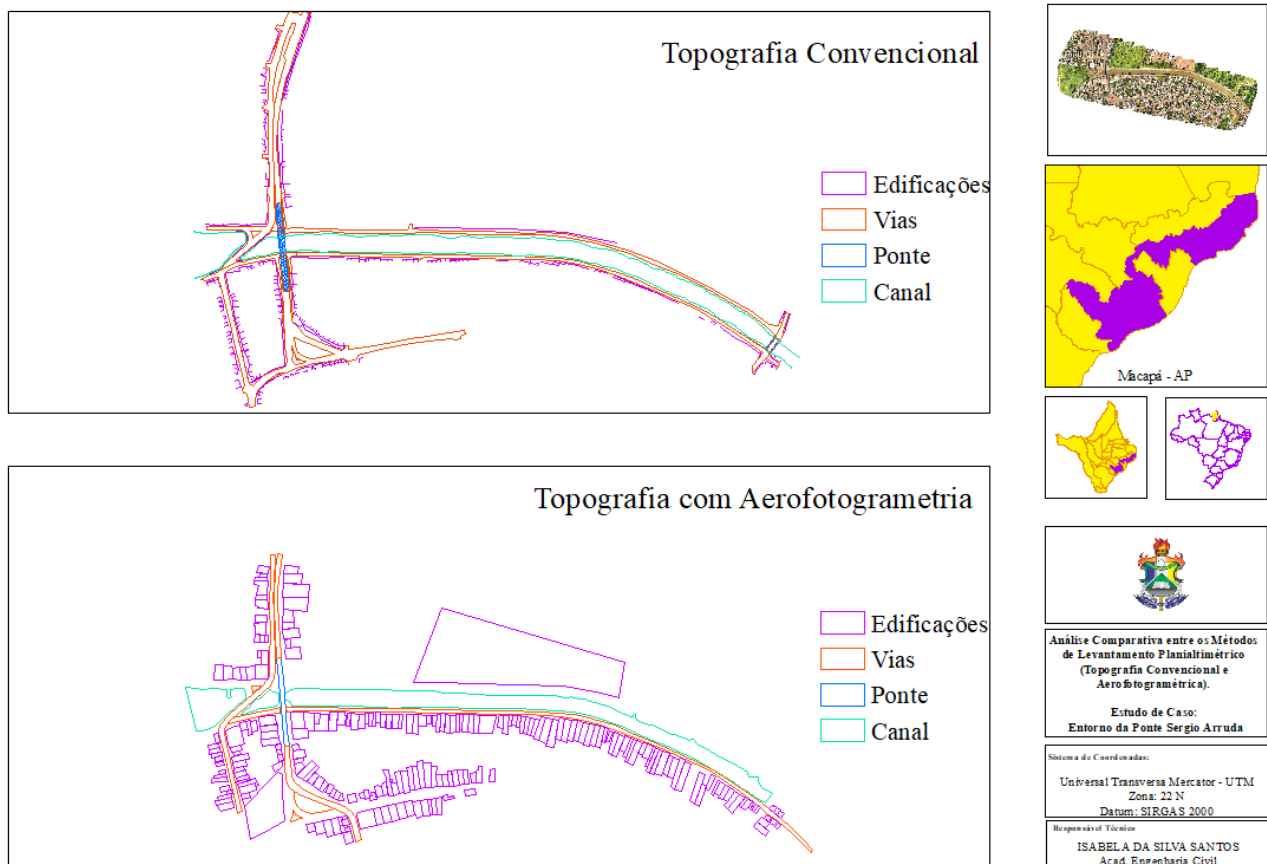


Figura 24. Planta Cadastral. Fonte: A Autora.

Observa-se que na Figura 28 a topografia convencional apresenta apenas informações referentes às ruas e testada dos lotes, enquanto a aerofotogrametria contempla os lotes inteiros, sendo possível verificar seu terreno por completo, o que auxilia na tomada de decisão do setor público com relação a estes imóveis próximos a área de intervenção das ações do projeto de ressignificação da Ponte Sergio Arruda.

Este auxílio pode estar relacionado a indenização dos moradores em uma possível desapropriação dos seus lotes ou outras ações necessárias, como a reestruturação de vias, calçamento, mobilidade urbana, drenagem e o monitoramento do despejo de efluentes.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

Outros pontos a serem considerados são os diversos empecilhos relacionados a questões físicas, condições climáticas, área de abrangência, nível de detalhe, qualidade, produtividade e outros que podem pesar na decisão do melhor recurso tecnológico para os levantamentos planialtimétricos, cabendo ao profissional responsável conhecer cada um dos fatores importantes e analisar a melhor alternativa para realizar as medições.

A principal discussão nesse trabalho diz respeito à utilização dos produtos cartográficos digitais gerados. Dentre os setores que utilizam este estilo de levantamento topográfico, é possível citar o setor da construção civil, mineração, atividade agrícola e a área ambiental e assim por diante.

É de conhecimento público que cada setor possui características próprias, porém o diferencial da economia de tempo nas análises e estudos preliminares representa a economia de recursos em diversos casos, ou seja, é uma opção do responsável pelo projeto a redução de custos através de mão de obra qualificada e metodologia adequada.

Exemplo disso é o setor privado, em que os projetos devem ser elaborados no menor tempo e orçamento possível, visto que a concorrência é mais presente do que no setor público. Diante disso, é relevante aplicar a metodologia do levantamento aerofotogramétrico, visto que ele se apresenta como um método ágil, acurado e prático para os projetos dos ramos já citados.



7. CONCLUSÕES

No caso do objeto de estudo desta monografia, por se tratar de um levantamento em grande área, a utilização do RPA aliada a aerofotogrametria proporciona vantagens muito grandes com produtividade e numerosa quantidade de pontos comparada a topografia convencional. Também possibilita o cálculo de volume onde é possível conseguir resultados mais fidedignos à situação real do terreno devido ao detalhamento obtido pela nuvem de pontos.

Entretanto, em áreas com obstáculos, na área estudada um exemplo seria o terreno abaixo da ponte, e fora do campo trabalhada, como áreas com densa cobertura vegetal, torna-se imprescindível o uso da Topografia Convencional, visto que apenas com o RPA, não há interpolações suficientes para gerar um MDT preciso, e conseqüentemente, um MDS.

Em áreas urbanas, locais que apresentam consideráveis elementos de superfície (edificações, árvores e pontes), a aerofotogrametria não substitui completamente os equipamentos convencionais, isto é, ambos possuem utilidades que não se trocam, e neste caso, os dados se complementam para gerar o produto final desejado. Enquanto que em áreas abertas não densificadas por grandes superfícies, considera-se que apenas a aerofotogrametria é suficiente.

A comparação entre os métodos de levantamentos planialtimétricos evidencia uma proximidade entre os resultados provenientes da Estação Total e da Aerofotogrametria. Além disso, o RPA pode gerar o Ortomosaico da região mapeada, o que é um produto exclusivo para essa metodologia, que pode ser utilizado para diversos fins, como monitoramento e análise da região.

Ainda vale frisar que as novas tecnologias não vêm necessariamente para substituir os métodos antigos, mas sim para otimizar o desempenho geral de trabalho.



8. LITERATURA CITADA

- [1] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13133 – Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro ABNT, Maio 1994
- [2] ANDRADE, J. B. Fotogrametria, SBEE, Curitiba, 1998, p.258.
- [3] ARIAS, Anderson. DronEng: Drones & Engenharias, 2017. Janela de voo: o que é e como calcular?. Disponível em: < <http://blog.droneng.com.br/o-que-e-janela-de-voo/>> Acesso em: 05 janeiro de 2022
- [4] ASSIS, I. C. Aplicação de fotogrametria terrestre digital na amostragem de mina subterrânea: exame comparativo com técnicas tradicionais. 2011, 27 f. Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2011.
- [5] BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. Topografia. 2016. Disponível em:. Acesso em: 02 janeiro de 2022
- [6] BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.
- [7] BRITO, L. C. Fotogrametria Digital. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.
- [8] CLIMATEMPO. Clima e Previsão do Tempo / Vento / Macapá – AP. Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/vento/cidade/39/macapa-ap>>. Acesso em: 26 de Novembro de 2021.
- [9] DINIZ, M. Â. Análise do relevo para otimização do uso e ocupação do terreno utilizando SIG. Belo Horizonte, 2002.
- [10] DJI. Fly Safe, Geo Zone Map. Disponível em: < <https://www.dji.com/br/flysafe/geo-map> >. Acesso em: 27 Janeiro 2022.
- [11] DOUBECK, A. Topografia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1989, 205p
- [12] DRONE VISUAL. Curso Especialização em Mapeamento Agrícola. São Paulo, Brasil, 2021.
- [13] ESPARTEL, L. Curso de topografia 9ª ed. Rio de Janeiro, Globo, 1987.
- [14] FIGUEIREDO, R. H. B. Comparação do Desempenho de Levantamentos Topográficos Planimétricos Realizados sob o uso de VANT e Estação Total. Mossoró, 2021.
- [15] FORTUNATO, José Carlos. MundoGEO, 2018. Artigo: comparação entre topografia com



Drones x topografia tradicional. Disponível em: Acesso em: 08 janeiro 2022.

[16] HALLERMAN, N; MORGENTHAL, G. Visual inspection strategies for large bridges using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In: IABMAS 2014, Shangai, China.

[17] HONORATO, I. S. Levantamento Topométrico: Estudo Comparativo Entre os VANTS, GNSS e Estação Total. Palmas, 2019.

[18] KAHMEN, H.; FAÍG, W. Surveyng -New York. Editora: de Gruyter, 1988. 578p.

[19] LIMA, G. O. Estudo Comparativo Entre os Métodos de Levantamento Planialtimétrico (Topografia Convencional e Aerofotogramétrico) Para Fins de Elaboração do Plano Diretor da Comissão Regional de Obras em Belém. Belém, 2018.

[20] MINISTÉRIO DA DEFESA. ICA 100-40: Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, 2020.

[21] OLIVEIRA, R. G. Análise da acurácia de levantamento topográfico utilizando imagens aéreas capturadas por VANT's e seus usos. Uberlândia, MG, 2020.

[22] REVISTA A MIRA. Simulador Referencial de Preços de Serviço de Agrimensura. A Mira Agrimensura e Registros Públicos, 2020. Disponível em: < <https://www.amiranet.com.br/simulador> >. Acesso em: 28 Janeiro 2022.

[23] RIBEIRO, S. C. L. Automação Fotogramétrica e Geração de Modelos Digitais do Terreno (MDTs). São Paulo, 1998. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

[24] TOLENTINO, F. M. et al. Avaliação da acurácia posicional de redes de drenagem obtidas a partir de modelos SRTM e ASTER com uso dos softwares ArcGis e QGis. Revista Brasileira de Cartografia (2017), No 69/7: 1287-1301, 2017.

[25] TOMMASELLI, A. M. G. Fotogrametria Básica - Introdução. p.1-14. 2009

[26] UNIFAP. Resignificação da Ponte Sergio Arruda e seu Entorno. Projeto de Extensão PSA, 2021. Disponível em: < <https://www.rpsaunifap.com/> >. Acesso em: 26 Janeiro 2022.

[27] VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L.. FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA. Paraná, 2012. 288 p. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná.

[28] VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. Fundamentos de Topografia, 2007. Disponível em: Acesso em: 20 janeiro de 2022.



Universidade Federal do Amapá
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

9. ANEXOS

ANEXO A - Relatório de Processamento de Imagens – Plataforma Mappa;

ANEXO B – Planta Topográfica;

ANEXO C - Vetorização.

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.4.12



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	ponte_sergio_arruda_horus
Processed	2021-12-03 13:33:41
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.52 cm / 0.99 in
Area Covered	0.617 km ² / 61.6827 ha / 0.24 sq. mi. / 152.5001 acres
Time for Initial Processing (without report)	19m:19s

Quality Check



Images	median of 16290 keypoints per image	
Dataset	577 out of 577 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 5703.35 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.011 m	

Preview

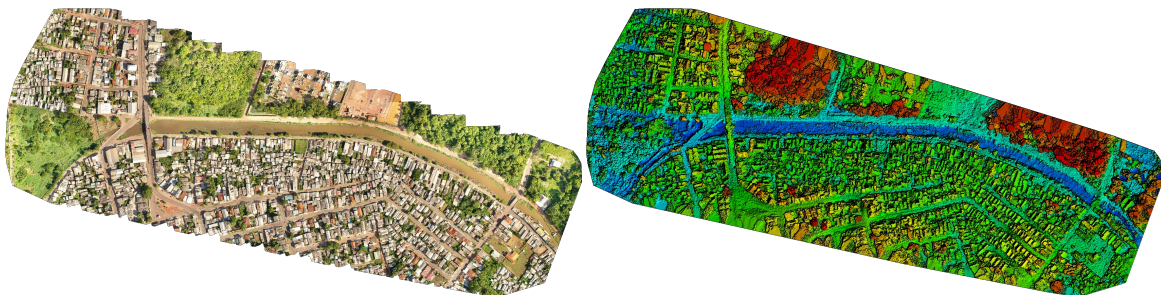


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	577 out of 577
Number of Geolocated Images	577 out of 577

Initial Image Positions



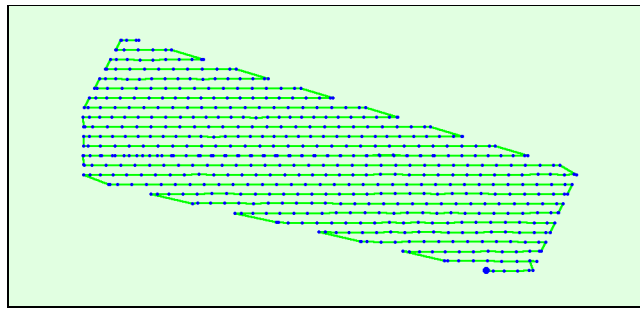
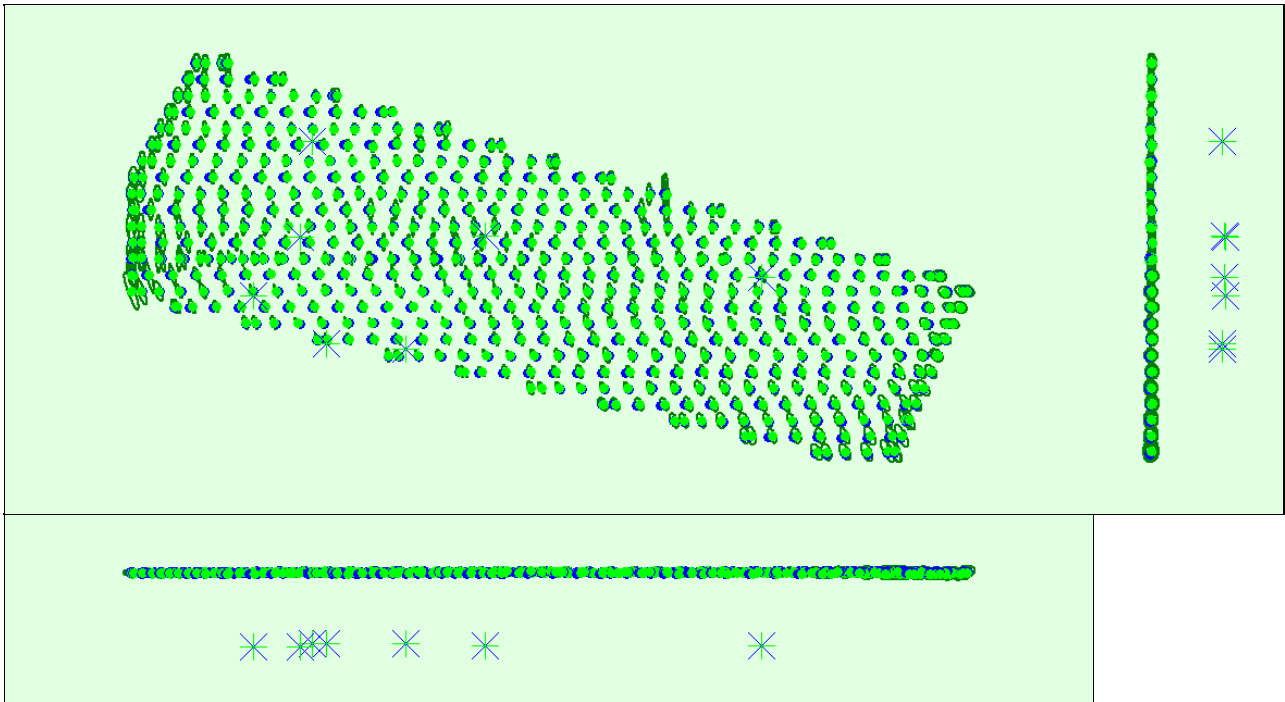


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

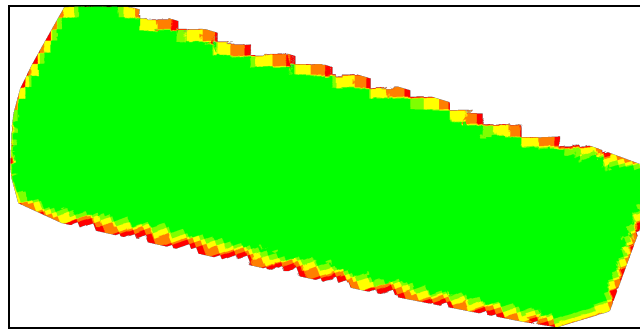
Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X [m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.048	0.112	0.035	0.056	0.018	0.008	0.009	0.009	0.047
Sigma	0.020	0.031	0.022	0.015	0.006	0.002	0.003	0.003	0.013

Overlap





Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.
 Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

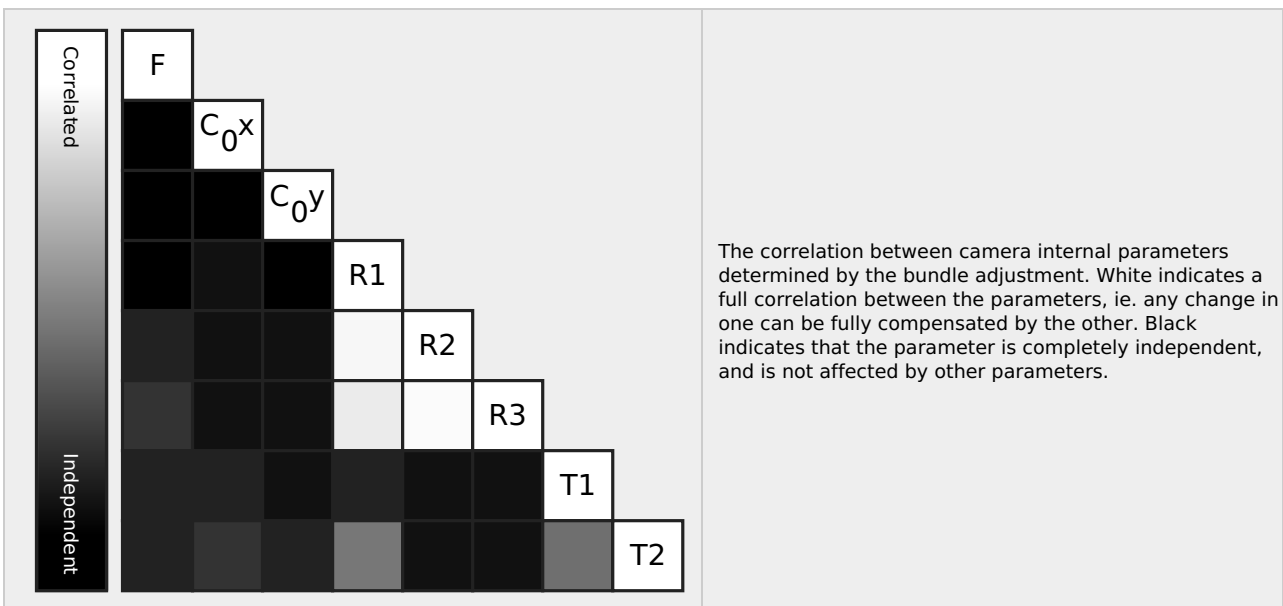
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3621941
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1179283
Mean Reprojection Error [pixels]	0.148

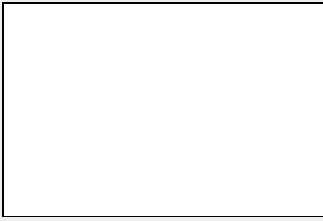
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2736.000 [pixel] 6.412 [mm]	1824.000 [pixel] 4.275 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4470.615 [pixel] 10.478 [mm]	2735.175 [pixel] 6.411 [mm]	1824.324 [pixel] 4.276 [mm]	-0.003	0.020	-0.031	0.001	0.003
Uncertainties (Sigma)	0.326 [pixel] 0.001 [mm]	0.325 [pixel] 0.001 [mm]	0.324 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000





The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	16290	5703
Min	13525	1280
Max	36089	17030
Mean	19782	6277

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	731122
In 3 Images	188962
In 4 Images	90536
In 5 Images	52366
In 6 Images	34390
In 7 Images	23298
In 8 Images	16316
In 9 Images	12125
In 10 Images	9069
In 11 Images	6937
In 12 Images	5022
In 13 Images	3445
In 14 Images	2202
In 15 Images	1352
In 16 Images	905
In 17 Images	608
In 18 Images	339
In 19 Images	173
In 20 Images	63
In 21 Images	38
In 22 Images	7
In 23 Images	5
In 24 Images	3

? 2D Keypoint Matches



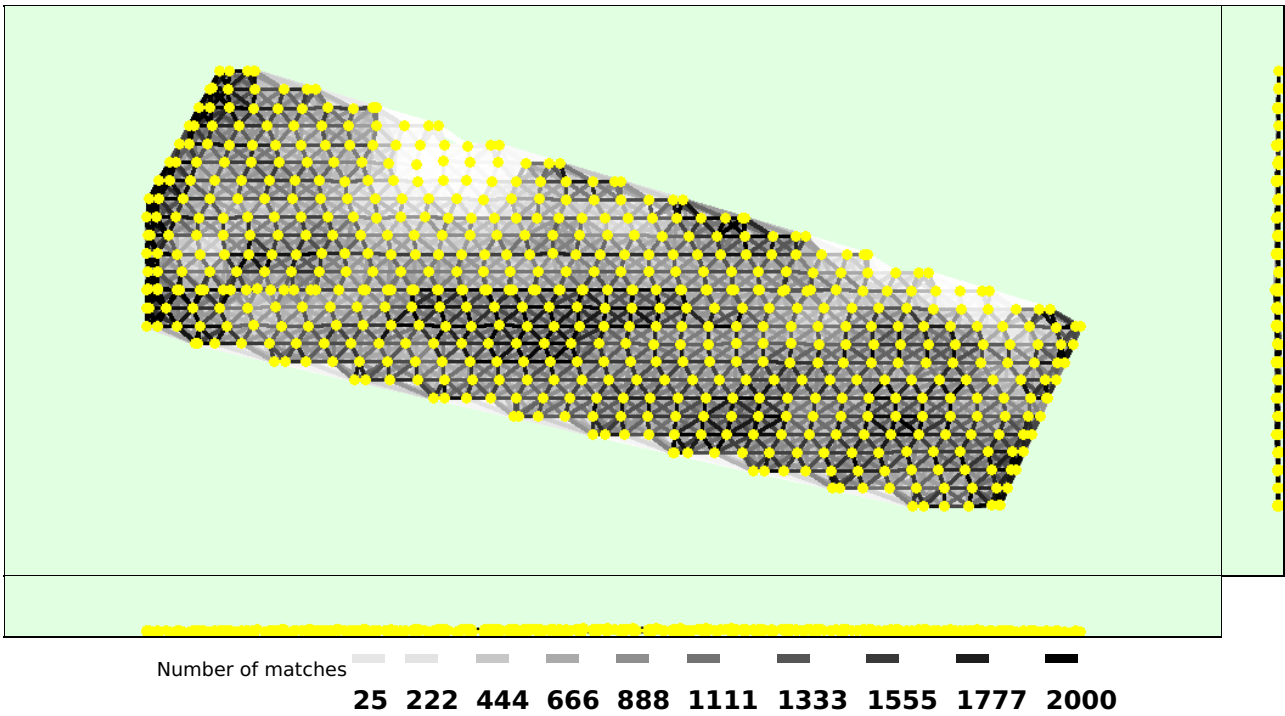


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PC18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.011	0.004	0.077	6 / 6
PC24 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.002	0.000	0.109	6 / 6
PC33 (3D)	0.020/ 0.020	0.024	0.001	-0.007	0.220	6 / 6
PC50 (3D)	0.020/ 0.020	-0.034	-0.013	0.013	0.135	6 / 6
PC4 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.008	-0.011	0.234	6 / 6
PC11 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	0.014	0.016	0.118	5 / 5
PC52 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.004	0.003	0.096	6 / 6
Mean [m]		-0.000134	-0.000239	0.002602		
Sigma [m]		0.016554	0.008988	0.009153		
RMS Error [m]		0.016555	0.008991	0.009516		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.35	0.00	0.00
-6.00	-3.00	35.36	1.21	0.00
-3.00	0.00	11.79	45.75	55.29
0.00	3.00	18.72	53.03	44.71
3.00	6.00	33.62	0.00	0.00

6.00	9.00	0.17	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.364816	0.122296	0.476878
Sigma [m]		3.545425	1.125352	0.857296
RMS Error [m]		3.799047	1.131978	0.981004

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.364816	0.122296	0.476878

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	93.76	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.423
Phi	2.078
Kappa	16.595

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

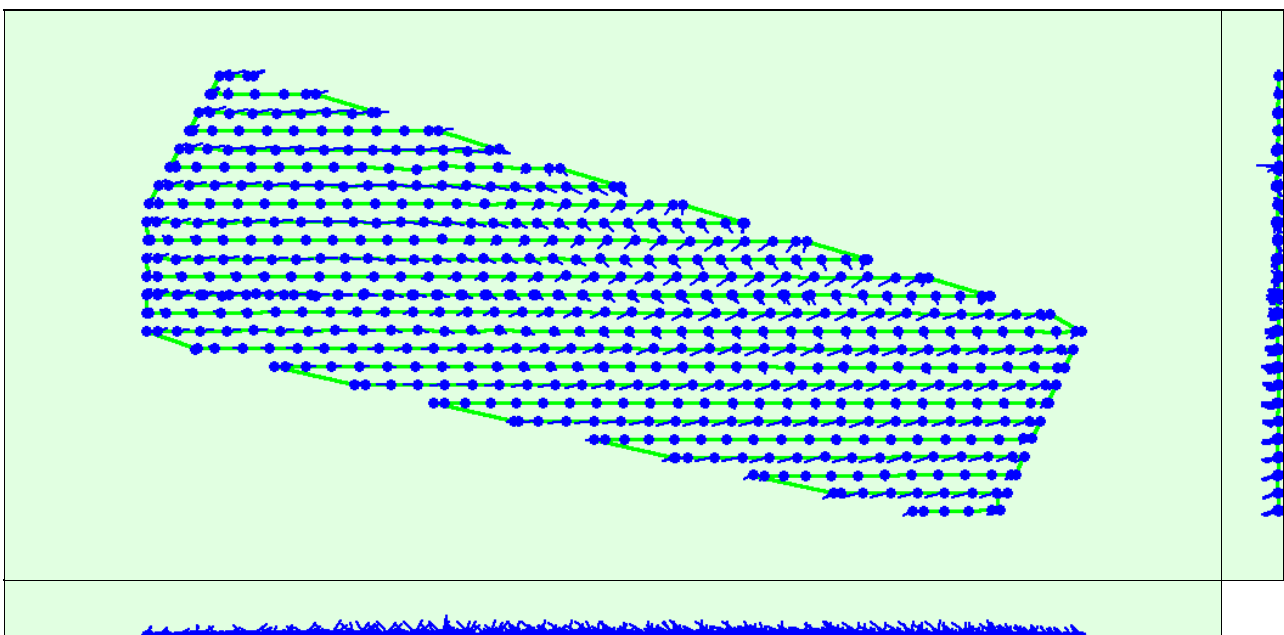


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue

dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	12.7485 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	1.0582 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	83.1712 [ms]

Initial Processing Details


System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) Platinum 8124M CPU @ 3.00GHz RAM: 15GB GPU: no info (Driver: unknown)
Operating System	Linux 3.10.0-1062.12.1.el7.x86_64 x86_64

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM 96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 22N (EGM 96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 22N (EGM 96 Geoid)

Processing Options

Detected Template	 topografia_rgb*
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 0.5
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All prior External Parameters Optimization: All Rematch: Custom, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/4 (Quarter image size, Fast)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Low Resolution Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	54m:34s
Time for Point Cloud Classification	06m:08s
Time for 3D Textured Mesh Generation	06m:08s

Results

Number of Generated Tiles	1
---------------------------	---

Number of 3D Densified Points	18824886
Average Density (per m ³)	49.43

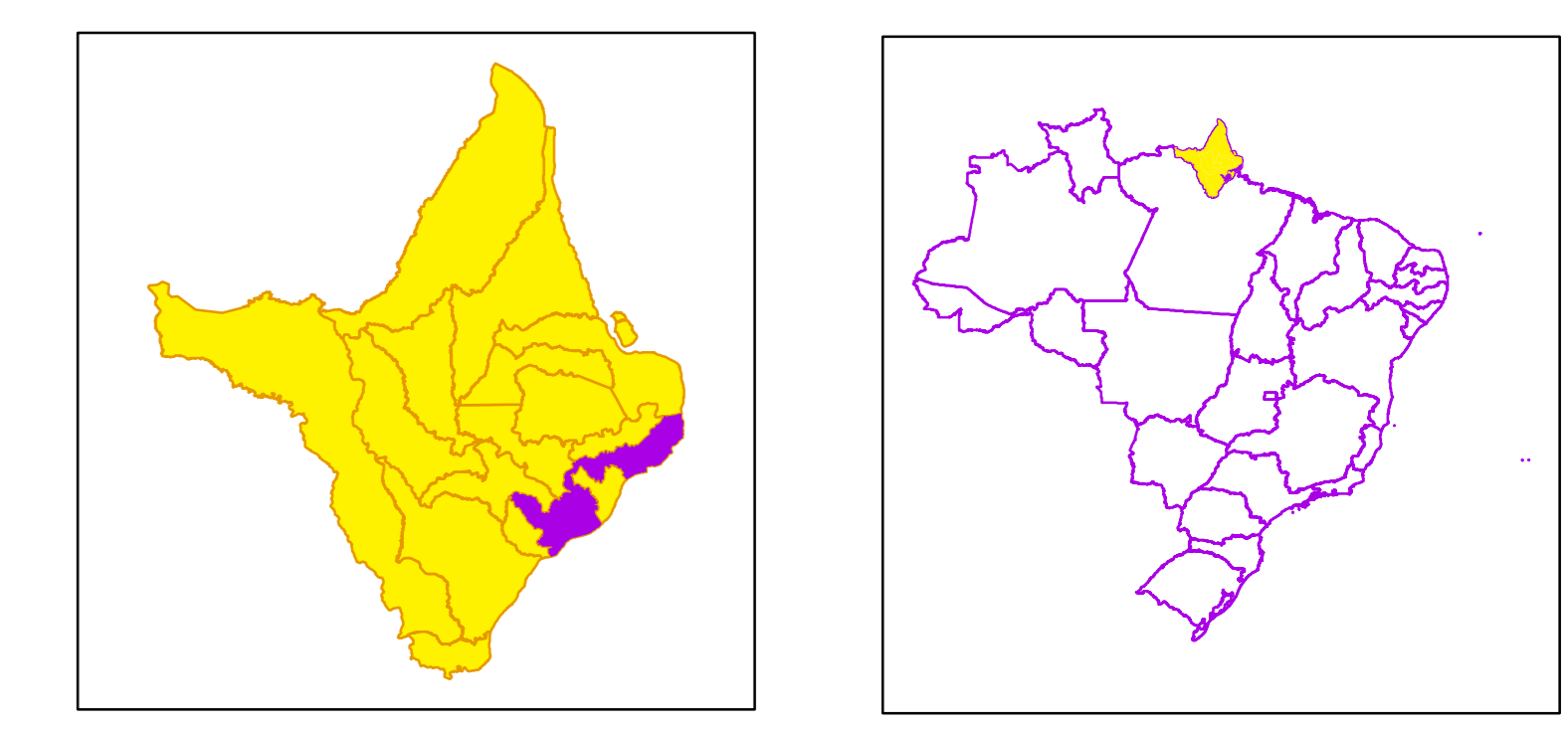
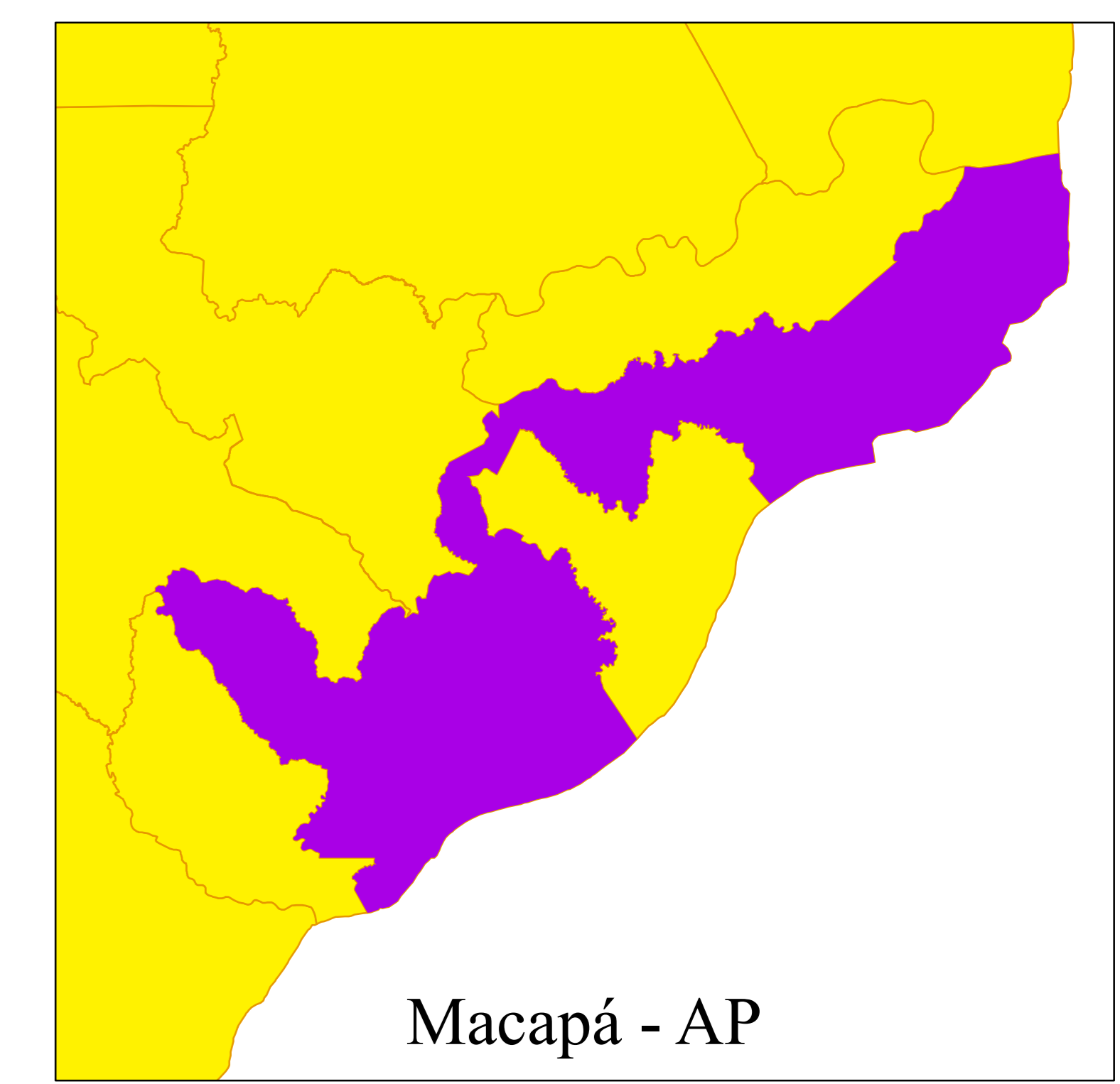
DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.52 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	10 x GSD (2.52 [cm/pixel])
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 1 Resolution [cm]: 250 Minimum Line Size [vertices]: 30
Time for DSM Generation	22m:36s
Time for Orthomosaic Generation	01h:30m:25s
Time for DTM Generation	13m:47s
Time for Contour Lines Generation	02s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s



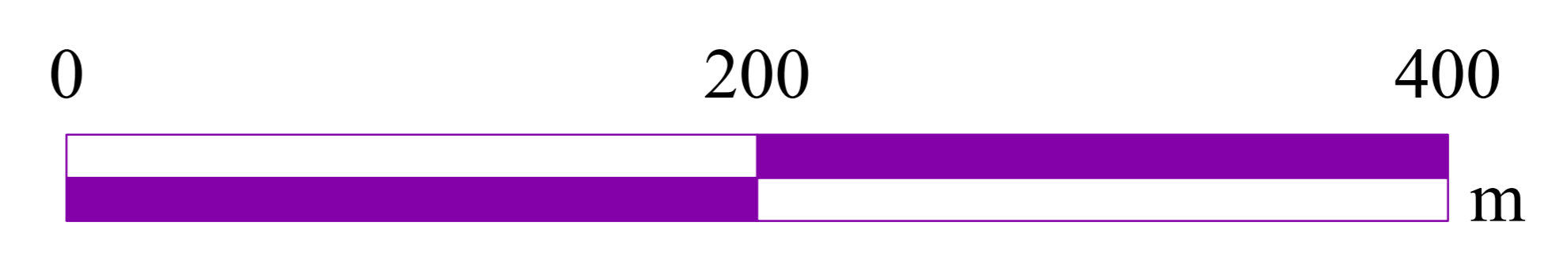
Análise Comparativa entre os Métodos de Levantamento Planialtimétrico (Topografia Convencional e Aerofotogramétrica). Estudo de Caso: Entorno da Ponte Sergio Arruda

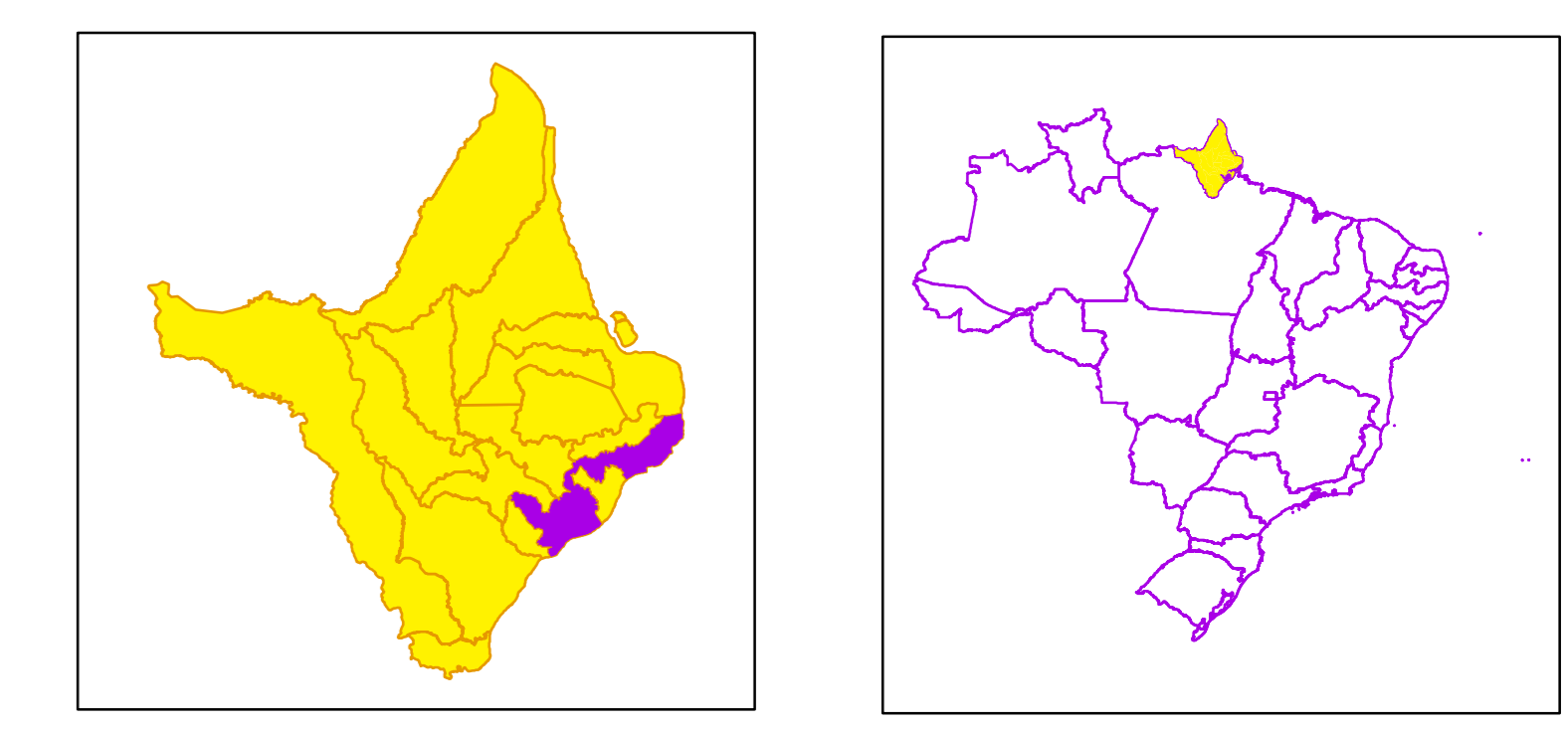
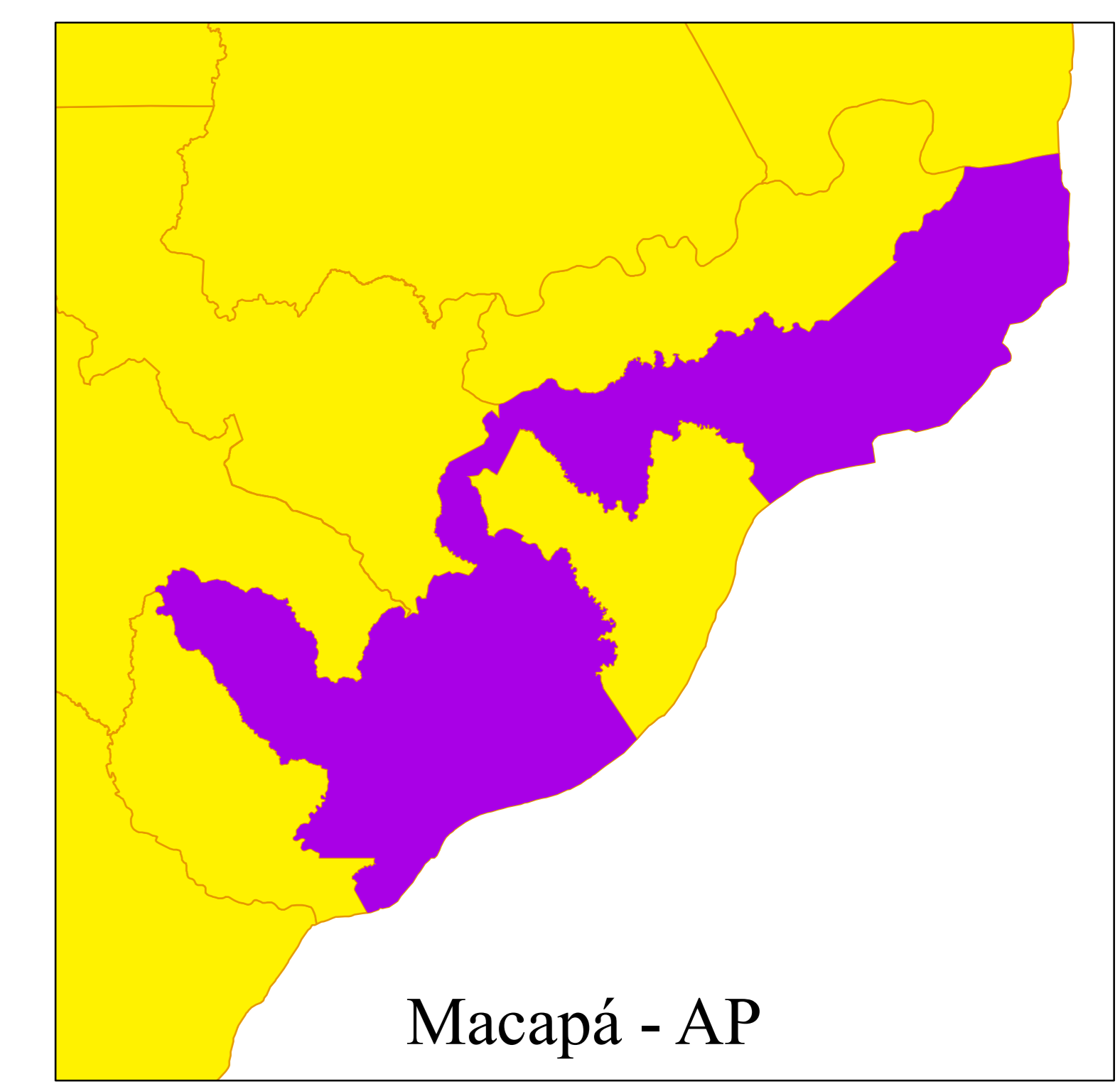
Monografia de Conclusão de Curso

Especificações Técnicas
 Ortomosaico Utilizando Mavic 2 Pro
 Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT

Sistema de Coordenadas:
 Universal Transversa Mercator - UTM
 Zona: 22 N
 Datum: SIRGAS 2000

Responsável Técnico
 ISABELA DA SILVA SANTOS
 Acad. Engenharia Civil





**Análise Comparativa entre os
Métodos de Levantamento Planialtimétrico
(Topografia Convencional e Aerofotogramétrica).
Estudo de Caso: Entorno da Ponte Sergio Arruda**

Monografia de Conclusão de Curso

Especificações Técnicas
Ortomosaico Utilizando Mavic 2 Pro
Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT

Sistema de Coordenadas:
Universal Transversa Mercator - UTM
Zona: 22 N
Datum: SIRGAS 2000

Responsável Técnico

ISABELA DA SILVA SANTOS
Acad. Engenharia Civil