

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**MATHEUS VICENTE DO CARMO
RHUANN PHELLIPE NUNES XAVIER**

**ANÁLISE DO USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL EM
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

ANÁPOLIS / GO

2020

**MATHEUS VICENTE DO CARMO
RHUANN PHELLIPE NUNES XAVIER**

**ANÁLISE DO USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL EM
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: EDUARDO DOURADO ARGOLO

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

DO CARMO, MATHEUS VICENTE/ XAVIER, RHUANN PHELLIPE NUNES

Análise do uso da fotogrametria digital em levantamento topográfico

63P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Aerofotogrametria 2. Levantamento
3. VANT 4. Topografia
I. ENC/UNI II. Bacharel (10°)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DO CARMO, Matheus Vicente; XAVIER, Rhuann Phellipe Nunes. Análise do uso da fotogrametria digital em levantamento topográfico. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 63p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Matheus Vicente do Carmo

Rhuann Phellipe Nunes Xavier

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise do uso da fotogrametria digital em levantamento topográfico

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Matheus Vicente do Carmo
E-mail: matheus_vicente10@hotmail.com



Rhuann Phellipe Nunes Xavier
E-mail: rhuann.eng@hotmail.com

**MATHEUS VICENTE DO CARMO
RHUANN PHELLIPE NUNES XAVIER**

**ANÁLISE DO USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL EM
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**MARCOS FRANCISCO NOVAES VALENTINO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 22 de MAIO de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser a minha força motriz que me motiva a seguir em frente, por ter me dado o imenso privilégio de concluir mais esta etapa em minha vida, com perseverança e coragem para seguir firme perante todas as dificuldades e adversidades presentes no caminho. Aos meus pais, Pedro e Maria, sem os quais nada disso seria possível, obrigada por sempre me incentivarem a ter garra e determinação, por todo amor e apoio incondicional. Ao meu orientador, Eduardo Dourado Argolo que se fez presente e peça fundamental na elaboração deste trabalho, sempre com muito entusiasmo, incentivo e dedicação. A minha dupla de TCC, Matheus Vicente, com a qual pude contar não só na concessão deste estudo, como também em todos os momentos de minha jornada acadêmica, bem como na vida pessoal. De um modo geral, agradeço a todos que de alguma forma acreditaram em meu potencial e contribuíram para que esta fase pudesse ser finalizada, familiares e amigos por toda compreensão e incentivo e a própria faculdade pelo suporte dado aos seus discentes no período difícil em que todos nós vivemos em 2020.

Rhuann Phellipe Nunes Xavier

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final. Sou grato à minha família por sempre me incentivar e acreditar que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou. Deixo um agradecimento especial ao meu orientador o professor Eduardo Dourado Argolo pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa. A minha dupla de TCC, Rhuann Nunes, com a qual pude contar não só na concessão deste estudo, como também em todos os momentos de minha jornada acadêmica, bem como na vida pessoal. Também agradeço aos meus amigos que sempre me ajudaram com suas vastas experiências desde o início da faculdade.

Matheus Vicente do Carmo

RESUMO

O uso da técnica aerofotogrametria digital tem como principal objetivo a reconstituição do espaço tridimensional levantado, se utilizando de um grupo de imagens bidimensionais resultantes da coleta de padrões de ondas eletromagnéticas obtidas através de sensores ou câmeras fotográficas embutidas no VANT. Consiste em uma ciência que exhibe seus resultados na forma de modelos digitais, mapas, conjuntos de coordenadas dentre diversos outros modelos de representação geométrica que atenda os critérios de precisão e exatidão. Com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTS) nas diversas áreas da agricultura, agrimensura, engenharia civil e cartografia, tal como o surgimento de câmeras e sensores com altas resoluções, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho e os resultados da aplicação das técnicas de aerofotogrametria digital em imagens coletadas com a utilização de um VANT, e posteriormente comparar com levantamento obtido através de técnicas de coleta de dados convencionais. A partir dos dados adquiridos através do voo a 80 m verificou-se acurácia elevada e alto nível de detalhamento conforme a topografia natural do terreno, demonstrando a viabilidade do uso do VANT DJI Phantom 4 na tomada de dados para levantamento topográfico.

PALAVRAS-CHAVE:

Aerofotogrametria. VANT. Topografia. Levantamento.

ABSTRACT

The use of the digital aerophotogrammetry technique has as its main objective the reconstruction of the raised three-dimensional space, using a group of two-dimensional images resulting from the collection of electromagnetic wave patterns obtained through sensors or photographic cameras embedded in the UAV. It consists of a science that displays its results in the form of digital models, maps, sets of coordinates among several other models of geometric representation that meets the criteria of precision and accuracy. With the use of unmanned aerial vehicles (UAVS) in different areas of agriculture, surveying, civil engineering and cartography, as well as the emergence of cameras and sensors with high resolutions, this work aims to evaluate the performance and results of the application of techniques of digital aerophotogrammetry in images collected using a UAV, and then compare with a survey obtained through conventional data collection techniques. From the data acquired through the 80 m flight, there was high accuracy and a high level of detail according to the natural topography of the terrain, demonstrating the feasibility of using the UAV DJI Phantom 4 in taking data for surveying.

KEYWORD

Aerophotogrammetry. VANT. Topography. Survey.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propagação da Onda Eletromagnética	23
Figura 2 - Espectro Eletromagnético	24
Figura 3 - Reflexão difusa	25
Figura 4 - Reflexão especular	25
Figura 5 - Distribuição matricial (à direita), equivalente a um conjunto de pixels (à esquerda)	26
Figura 6 - Resolução espacial	27
Figura 7 - Resolução Radiométrica	27
Figura 8 - Espectro eletromagnético	28
Figura 9 - Câmera escura	29
Figura 10 - CMOS de uma câmera e sua localização	30
Figura 11 - Sensor CCD e sua localização	30
Figura 12 - Estação Total	32
Figura 13 - Plano de voo e parâmetros.....	33
Figura 14 - Levantamento Aerofotogramétrico	34
Figura 15 - Diagrama de contexto de um SIG.....	36
Figura 16 - Levantamento convencional.....	40
Figura 17 - Área mapeada	42
Figura 18 - Área mapeada (Zoom)	42
Figura 19 - Foto levantamento 1.....	44
Figura 20 - Foto levantamento 2.....	45
Figura 21 - Alinhamento das Cameras.....	46
Figura 22 - Nuvem de pontos	47
Figura 23 - Nuvem de pontos densa	48
Figura 24 - Modelo Digital de Elevação (MDE).....	49
Figura 25 - Modelo Digital de Terreno (MDT).....	50
Figura 26 - Orthomosaico	51
Figura 27 - Curvas de nível	52
Figura 28 - Perfil longitudinal	53
Figura 29 - Perfil longitudinal	53
Figura 30 - Perfil Transversal.....	54
Figura 31 - Perfil Transversal do terreno	55

Figura 32 – Perfil Transversal (Drone)	56
Figura 33 – Perfil Transversal (Topógrafo).....	56
Figura 34 - Sobreposição perfil longitudinal.....	56
Figura 35 - Sobreposição perfil transversal.....	57
Figura 36 - Análise comparativa - Curvas de nível.....	58

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Categorização dos VANTS.....	22
Tabela 2 - Precisão posicional de acordo com cada PEC	37
Tabela 3 - Padrão de exatidão Altimétrico dos produtos cartográficos digitais	38
Tabela 4 - Padrão de exatidão planimétrico dos produtos cartográficos digitais	38

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ASP	Manual of, Photogrametry
CCD	Charge Couple Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DP	Desvio Padrão
EP	Erro Padrão
GPS	Global Positioning Systems
ISO	Organização Internacional de Normalização
ISPRS	Internacional Society for Photogrametry and Remote Sensing
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PCDG	Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PMD	Peso Máximo de Decolagem
RPA	Aeronaves Remotamente Pilotadas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISANT	Sistema de Aeronaves não Tripulados
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
USB	Porta universal
RAM	Memoria de acesso aleatorio
CPU	Unidade Central de Processamento
SSD	Unidade de estado sólido
GB	Gigabyte
CM	Centimetro
M	Metro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	METODOLOGIA.....	16
1.3.1	Equipamentos utilizados.....	16
1.3.2	Campo.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	FUNDAMENTOS DA FOTOGRAMETRIA.....	18
2.1	ASPECTOS HISTORICOS.....	18
2.2	CONCEPÇÃO DA FOTOGRAMETRIA.....	19
2.3	AEROFOTGRAMETRIA.....	21
2.3.1	(VANTs) Veículos aéreos não tripulados.....	21
2.4	FOTOGRAMETRIA COMPUTADORIZADA.....	23
2.4.1	Obtenção e processamento de dados.....	23
2.4.1.1	Radiação eletromagnética.....	23
2.4.1.2	Imagens digitais.....	25
2.4.1.3	Cameras fotográficas.....	28
2.5	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	31
2.6	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA.....	35
2.7	EXATIDÃO E ACURACIA.....	37
2.7.1	Padrão de exatidão cartográfica para produtos digitais.....	37
3	LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO.....	39
3.1	DEFINIÇÃO.....	39
3.2	TIPOS.....	39
3.2.1	Planimétrico.....	39
3.2.2	Altimétrico.....	39
3.2.3	Planialtimétrico.....	40
3.3	PROJETO AEROFOTOGRAMETRICO.....	41
3.4	ÁREA MAPEADA.....	41

3.5	ETAPA DE CAMPO – REALIZAÇÃO DA MISSÃO DE VOO.....	43
3.5.1	Voo à 80 m	44
3.6	SEQUENCIA DE TRABALHO.....	45
3.6.1	Alinhamento da câmera	45
3.6.2	Processamento dos Dados	46
3.6.3	Adensamento da nuvem de pontos (Fototriangulação analítica).....	46
3.6.4	Superfície (Modelo Digital de Elevação).....	48
3.6.5	Texturas e Mosaico de Ortofotos	49
4	ANALISE COMPARATIVA DAS CURVAS DE NIVEL	51
5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A fotogrametria é estabelecida pela Internacional Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) como sendo a arte, ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis de imagens de sensores, sobre a terra e seu meio ambiente, e outros processos de gravação, medição, análise e representação.

Essa atividade surgiu na França em 1849, com a evolução da fotografia. Nessa época, estudiosos notaram a viabilidade das fotos para o mapeamento fotográfico. Durante os primórdios essa atividade era executada de forma simples e terrestre. Com o passar dos anos, passou a ser feita por meio de balões.

No início, conforme Burch (1997), as imagens possuíam baixa qualidade geométrica, devido aos equipamentos utilizados e a sua distância da superfície, uma vez que eram utilizadas aeronaves de grande porte, com operações restritas a altura de voo. Com o passar do tempo e o aprimoramento tecnológico foi possível à utilização de Drones não tripulados, aumentando a eficácia do processo tornando essa atividade mais barata, prática, segura e precisa. Hoje em dia, os drones na fotogrametria são descartados apenas em áreas legalmente restritas, como aeroportos.

Com o avanço da tecnologia, cada vez mais se busca pela precisão e confiabilidade dos dados, aparelhos cada vez mais sofisticados são disponibilizados, buscando suprir a demanda do mercado por produtos cartográficos altamente fidedignos. Para Coelho e Brito (2007), informações fotogramétricas fidedignas são mapas, listas de coordenadas, modelos tridimensionais ou qualquer outro modo de representação geometricamente classificado dentro de tolerâncias, critérios de precisão e acurácia desejáveis. O que variará entre as aplicações, são os aprimoramentos necessários entorno destes dados.

Comparada aos métodos convencionais de levantamento topográfico, a fotogrametria traz vantagens substanciais, alinhada à utilização de veículos aéreos não tripulados de pequena escala, torna o processo de obtenção de dados ágil e menos oneroso, tendo como principais vantagens à segurança do operador, o custo do processo e a agilidade para obtenção de dados.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica pela crescente demanda de aprimoramento nas técnicas de levantamento planialtimétrico. A utilização de técnicas que aceleram o ganho em escala de grandes levantamentos é uma necessidade para os projetos, a utilização de imagens geoeferenciadas pode auxiliar a tomada de dados em campo. Trazendo vantagens tanto para o tomador de serviço quanto para o profissional de engenharia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem o objetivo de aferir e validar dados obtidos através da utilização de técnicas de fotogrametria digital, com a utilização de Drone (VANT), para levantamentos topográficos em áreas delimitadas. Avaliando a acurácia dos dados obtidos, buscando classificar sua precisão conforme o padrão de exatidão cartográfico vigente, com o intuito de constatar a eficácia do Drone para obtenção de dados fotogramétricos válidos, de forma que os resultados obtidos e os métodos empregados possam ser utilizados como referência para futuros levantamentos.

Logo, essa pesquisa busca ratificar a eficácia da utilização do VANT para obtenção de dados fotogramétricos, onde o mesmo traz como benefícios, segurança para o operador, já que não necessita acessar áreas de risco, mapeamento de áreas inacessíveis, como encostas, erosões e deslizamentos, além da redução do tempo e dos custos empregados para obtenção de dados para levantamento topográfico.

Resultando no principal propósito deste trabalho, que consiste em aferir o desempenho da utilização de técnicas de fotogrametria digital para levantamentos topográficos e planialtimétricos em área determinada, será realizado levantamento fotogramétrico com a utilização de um Drone (VANT), e posteriormente serão comparados os resultados obtidos com levantamento realizado por método convencional de tomada de dados.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar projeto de levantamento aerofotogramétrico.
- Realizar levantamento aerofotogramétrico da área selecionada.

- Comparar resultados do levantamento, com projeto planialtimétrico existente da área de estudo, realizado por empresa especializada com a utilização do equipamento Estação Total.
- Validar a utilização do levantamento aerofotogramétrico para realização de mapas topográficos e planialtimétricos.

1.3 METODOLOGIA

Será realizado levantamento de campo, buscando obter os dados necessários para análise e processamento, e posteriormente, realização de avaliação qualitativa e comparativa dos resultados obtidos, com intuito de determinar a eficácia do método utilizado e demonstrar em dados numéricos as discrepâncias e semelhanças entre o levantamento aerofotogramétrico e o levantamento convencional realizado com o equipamento “Estação Total”, posteriormente realizar a validação das cotas em campo com a utilização do equipamento “GPS RTK” com intuito de estabelecer qual modelo se mostra mais fiel à variação de nível.

Adotou-se como método de pesquisa o estudo de caso, buscando como fontes, bases literárias, artigos de referência e projetos similares, devidamente averiguados e analisados, buscando agregar precisão e qualidade ao levantamento de campo.

1.3.1 Equipamentos utilizados

Sistema Autodesk , Software ArcGis, Software Global Mapper, Software Agisoft Photoscan, Software Excel, Drone phantom 4 , Camera 4 k e Camera toporaster.

1.3.2 Campo

A fim de se obter os resultados, a metodologia englobará o uso do drone com a câmera para geração de layer planialtimétrico e a comparação com um trabalho tradicional de topografia, em uma área predeterminada.

A metodologia também utilizará o método de validação, isto é, em pontos predeterminados da área, se dará a comparação em escritório dos pontos gerados em campo pelo VANT em comparação com a estação total e posterior validação com utilização de “GPS RTK”.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em quatro capítulos. O primeiro apresenta a introdução deste trabalho, bem como sua metodologia e objetivos. O segundo discute a história e os fundamentos da fotogrametria, sua evolução e utilização até os dias atuais, exemplificando e estabelecendo diferenças entre as técnicas antigas e as atuais, bem como sua viabilidade. O terceiro busca conceituar e estabelecer a área aonde será realizado o levantamento aerofotogramétrico, descrevendo as etapas e condições climáticas na realização do levantamento em campo e apontando os pontos positivos e negativos da aerofotogrametria com uso de VANTS, posteriormente no mesmo capítulo são demonstradas todas as etapas do processamento, bem como os produtos obtidos e sua função, finalizando com a comparação com o levantamento realizado com a utilização do equipamento estação total, bem como, são ilustradas as vantagens e desvantagens da aerofotogrametria em relação ao mesmo. Tendo em vista os aspectos observados, o quinto capítulo se compõe da conclusão sobre o estudo realizado.

2 FUNDAMENTOS DA FOTOGRAMETRIA

2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS

Primordialmente, segundo Silva (2015), a fotogrametria teve início a partir da fotogrametria terrestre simples, sucedida pela fotogrametria terrestre estereoscópica, posteriormente, houve os primeiros experimentos em versões aéreas, das quais se utilizavam como plataformas de voo pombos e balões, pois, considerando o contexto histórico da época eram as ferramentas mais usuais para missões aéreas, tendo em vista que o avião ainda não teria sido inventado, após a invenção do mesmo houve rápida adaptação, visto que fornecia voos mais estáveis e controlados, devido a sua estrutura mecânica e aerodinâmica.

O mesmo autor destaca que o desenvolvimento da fotogrametria no Brasil apresentou leve atraso em relação aos avanços da técnica em âmbito mundial. As diversas aplicações da fotogrametria em âmbito empresarial, principalmente aplicada à indústria, arquitetura, perícias policiais e jurídicas, e medicina não foram amplamente difundidas, contudo, é possível encontrar vasto repositório acadêmico acerca dos assuntos citados.

A primeira aparição do termo Fotogrametria data do ano de 1855, concebido pelo geógrafo Kersten e introduzido por Albrecht Meydenbauer no âmbito literário mundial em 1893, após registrar fotografias de edificações na Alemanha, inicialmente o método levava o nome de iconometria, fototopografia e metrofotografia.

É pertinente evidenciar, que nos primórdios do século XX, a técnica da fotogrametria se mostrava de enorme relevância e despertava cada vez mais o fascínio da comunidade científica. Eduard Dolezal fundou em 1907 na cidade de Viena, a Austrian Society for Photogrammetry, juntamente com o International Archives of Photogrammetry, assumindo o cargo de editor durante a elaboração dos seis primeiros volumes de 1908 a 1923. Posteriormente no ano de 1909 criou a International Society of Photogrammetry (atual ISPRS-International Society of Photogrammetry and Remote Sensing). Em Viena, foi realizado o primeiro congresso internacional de fotogrametria, que se deu no mês de setembro de 1913, entre os dias 24 e 26. Em 1913 foi criada a American Society of Photogrammetry, que, assim como a supracitada desempenha papel fundamental no estudo e desenvolvimento de toda a amplitude de técnicas relacionadas à fotogrametria até os dias atuais. (Silva, 2015).

Tratando-se de aspectos técnicos, a criação do estereocomparador, no início do século XX revolucionou de forma extremamente impactante a fotogrametria, através deste equipamento idealizado e desenvolvido pelo físico Pullfrich foi possível abreviar processos

matemáticos, que outrora eram desgastantes e repetitivos, através de aparelhos óptico-mecânicos.

A partir da técnica desenvolvida pelo fotógrafo Theodore Scheimplflug, tornou-se possível realizar mapeamentos de vastas superfícies, utilizando seu aprimorado método de retificação de fotografias aéreas. Os retificadores analógicos, outrora substituídos pelos restituidores analógicos possibilitaram a obtenção de visão estereoscópica por meio de um par de fotografias com área de superposição. No período análogo houve também o surgimento do processo de fototriangulação, poupando tempo e esforço no trabalho de campo, tornando possível a realização do adensamento dos pontos obtidos em campo, posteriormente no laboratório. (Coelho e Brito, 2007).

Após a segunda guerra mundial, de acordo com Coelho e Brito 2007, a partir do desenvolvimento do computador, o que era conhecido como fotogrametria analógica, ou seja, processos que eram realizados mecanicamente até aquele momento, passaram a ser executados de forma computadorizada. No ano de 1957, foi desenvolvido o conceito de restituidor analítico, que se utilizava da tecnologia de servomecanismos para mensurar e medir as coordenadas localizadas dentro do espaço-imagem em pontos homólogos, e de controle, no espaço-objeto, posteriormente todos os cálculos matemáticos eram efetuados de forma computadorizada, proporcionando agilidade e dinamismo no processamento final dos dados obtidos, a utilização de processos computacionais na fotogrametria foi um verdadeiro divisor de águas, pois, permitiu a realização de levantamentos cada vez mais volumosos de maneira prática e simplificada.

2.2 CONCEPÇÃO DA FOTOGAMETRIA

A fotogrametria, ASP (1996) é a ciência e tecnologia de obter informações corretas e de confiança a respeito de objetos e da superfície terrestre com o uso de processos de registros, medições e interpretações das imagens fotográficas. Com isso as fotografias obtidas através de um voo podem ser dispostas na utilização de estudos para a exploração do espaço. O intervalo de tempo de exposição feito pelas câmeras fotográficas pode ser ajustado de tal maneira que cada local da superfície terrestre pode ser fotografado mais de uma vez de diferentes ângulos.

Já para Coelho e Brito (2007), a fotogrametria traz como objetivo a reconstrução de um plano tridimensional, chamado de espaço-objeto, através de um conjunto de imagens bidimensionais, chamados de espaço-imagem. O mesmo autor complementa que se trata de

uma transformação de sistema: onde fotografias bidimensionais, oriundas de cada câmera ou sensor com coordenadas pré-determinadas. Transformado em um sistema tridimensional conhecido como espaço-objeto, que convencionalmente é a representação por coordenadas, conhecido ou arbitrário, georreferenciados ou não, de um determinado número de pontos que sejam suficientes para descrever a geometria do plano submetido a estudos.

Para que ocorra a transformação de sistemas é necessária à demarcação de pontos de controles, demarcados no próprio espaço-objeto e localizados no espaço-imagem. Estes pontos de controles que são basicamente pontos de referências no solo utilizados no pós-processamento das imagens aumentando a precisão e confiabilidade dos produtos finais gerados. O número de imagens necessárias para a construção de um espaço-imagem é variável, mas para Coelho e Brito (2007) é aconselhável à utilização de pelo menos duas imagens de ângulos diferentes e com área de superposição, com o intuito de melhorar a visão estereoscópica, conseqüentemente possibilitando maiores acurácias e precisões na reconstrução tridimensional do espaço-imagem.

Para se conseguir dados de qualidade é necessário alinhar os pontos de controle com uma variedade de cuidados acerca da qualidade do voo durante a fotografia, onde o VANT tem que se manter em uma altura relativa, seguindo uma direção reta e velocidade uniforme. O sentido em que a câmera é orientada no eixo ótico permaneça vertical para um caso geral de fotografia vertical, os disparos da câmera devem ser uniformes e o filme possuir estabilidade dimensional e o tempo deve apresentar condições favoráveis para um voo fotográfico.

Em relação à fotografia obtida através desse processo ela pode ser classificada conforme alguns critérios como: orientação do eixo da câmera em vertical e oblíqua, o sistema ótico que pode ser simples ou múltiplo e alguns outros fatores particulares como se a fotografia é preta e branca, colorida, infravermelha e radar.

Fotografia vertical: tirada com o eixo ótico na posição vertical, é a fotografia normal. As demais são as oblíquas que irá variar entre si conforme o grau de inclinação escolhido.

Sistema ótico: pode ser classificado como simples, e é o sistema mais comum na fotografia aérea. Existe também o sistema múltiplo que consiste em duas ou mais câmeras isoladas, acopladas no sentido de se obter imagens simultâneas em decorrência de ângulos entre os respectivos eixos óticos.

Fotografia colorida: tem maior precisão para a distinção de elementos como a vegetação, água e solo, conseqüentemente proporcionando mais precisão e qualidade mais fiel à fotografia.

Imagem a radar: é uma combinação de processos fotográficos alinhados a técnicas de radar. Impulsos elétricos são enviados as direções determinadas e os raios refletidos ou devolvidos são utilizados para a apresentação de imagens em tubos de raios catódicos.

O resultado obtido através de um voo fotogramétrico é formado de imagens em negativo, e a partir delas são geradas copias em positivos. Isto contempla um processo importante, uma vez que os positivos para serem utilizados em fotogrametria precisam estar alinhados com a orientação do sistema ótico da câmera.

2.3 AEROFOTOGRAMETRIA

Com o advento da tecnologia, surge à necessidade da implementação da fotogrametria em aeronaves, buscando levantamentos mais abrangentes e maior área de cobertura. Essa técnica se deu pela utilização de imagens obtidas por sensores instalados em aeronaves, utilizados para obtenção de imagens que posteriormente, aplicadas as devidas técnicas de restituição, se tornariam produtos fotogramétricos fidedignos.

A Aerofotogrametria é o método mais utilizado na obtenção de dados da superfície terrestre, justamente por permitir enorme abrangência na cobertura do plano terrestre em suas fotografias o que torna essa técnica ideal para levantamento e mapeamento de grandes áreas, Coelho e Brito (2007).

2.3.1 (VANTs) Veículos aéreos não tripulados

Segundo definição do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Ministério da Defesa do Brasil, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) se resume a qualquer aeronave que não necessite de pilotos embarcados na estrutura física da mesma para conduzi-la e possa ser controlada nos três eixos. Isto posta, os VANTs são essencialmente aeronaves controladas de maneira remota, através de recursos computacionais sempre necessitando de um operador mesmo que o mesmo não interfira da pilotagem, apenas na elaboração do plano de voo.

Conforme a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) podem ser categorizados como VANTs: aeromodelos diversos, dê de que usada para fins exclusivamente recreativos ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), essa classificação se aplica quando aeronaves não tripuladas são operadas remotamente através de estação de pilotagem remota possuam finalidade comercial, experimental ou empresarial.

Existe ainda uma classificação dos VANTs, realizada pela ANAC, que leva em consideração seu peso máximo de decolagem (PMD) e divide em 3 classes, sendo que cada classe possui suas próprias regras de operação conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Categorização dos VANTS

Classe	PMD
Classe 1	Superior a 150 kg
Classe 2	Entre 25 e 150 kg
Classe 3	Inferior a 25 kg

Fonte: ANAC

Conforme classificação da ANAC, VANTs de classe 3 que possuem PMD superior a 250g e os de classes subsequentes devem possuir cadastro homologado na ANAC, mais precisamente no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) e devem possuir o número de identificação exposto na aeronave em local visível.

Para equipamentos cujo objetivo seja realizar voos superiores a 400 pés, são necessárias segundo a ANAC, independente da classe, licença e habilitação emitidas pelo órgão para operação de RPA, para pilotos remotos operando RPA classe 1 e 2 é necessário ainda possuir o Certificado Médico Aeronáutico.

Para todas as modalidades de voo realizado com VANTs de peso de decolagem máximo 250g, são exigidos pela ANAC apólice de seguro ativa que cobra danos a terceiros, Manual de Voo e um Documento de Avaliação de Risco, todos os documentos citados devem estar em posse do operador durante o voo.

Quanto à operação dos VANTs existem três modalidades, conforme o ponto de vista do piloto, elas são: voos aonde o contato do piloto com a aeronave é mantido durante todo tempo, denominada VLOS, voos em que o operador somente consegue visualizar a aeronave através de lentes, binóculos e outros equipamentos de aproximação, operação chamada de EVLOS e voos dos quais o piloto não consegue manter contato visual com a aeronave, denominado BVLOS.

O programa de vigilância continuada da ANAC se encarrega de fiscalizar a operação dos VANTs, e de acordo com o órgão os infratores estão sujeitos as penas previstas no Código Brasileiro de Aeronáutica. Podendo também, em caso de suspeita de não cumprimento do regulamento, suspender temporariamente as atividades do individuo com seu VANT.

2.4 FOTOGRAMETRIA COMPUTADORIZADA

Criada na década de 80, é uma tecnologia de informação utilizada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica acerca de objetos no universo tridimensional obtidas de imagens digitais planas do mesmo objeto. Teve seu uso intensificado somente na década seguinte, devido ao aprimoramento da capacidade de processamento dos computadores, que até então havia dificuldade no tratamento do elevado volume de dados do processamento e análise de imagens digitais. A obtenção de dados a respeito do espaço-imagem é realizada de duas maneiras, através de escaneamento de imagens analógicas ou a obtenção direta de matrizes digitais, originárias de câmeras e sensores com essa finalidade, método que hoje corresponde à maioria dos casos.

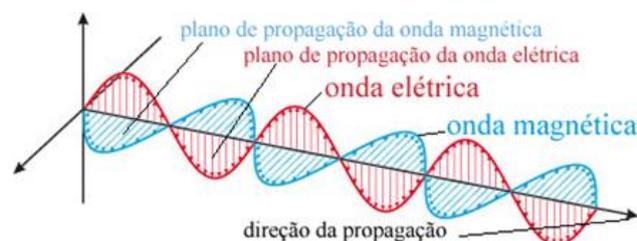
HELAVANA (1992) afirma que o controle sobre a tecnologia do computador, as imagens obtidas através de scanners e a fotogrametria analítica, compreende as três vertentes de sustentação da fotogrametria computadorizada. Uma vez que a fotogrametria computadorizada tem capacidade para fornecer a acurácia necessária para a edificação de suas estruturas. Para HELAVANA (1992), os principais elementos da fotogrametria computadorizada são; acurácia, estabilidade e repetitividade do processo digital.

2.4.1 Obtenção e processamento de dados

2.4.1.1 Radiação eletromagnética

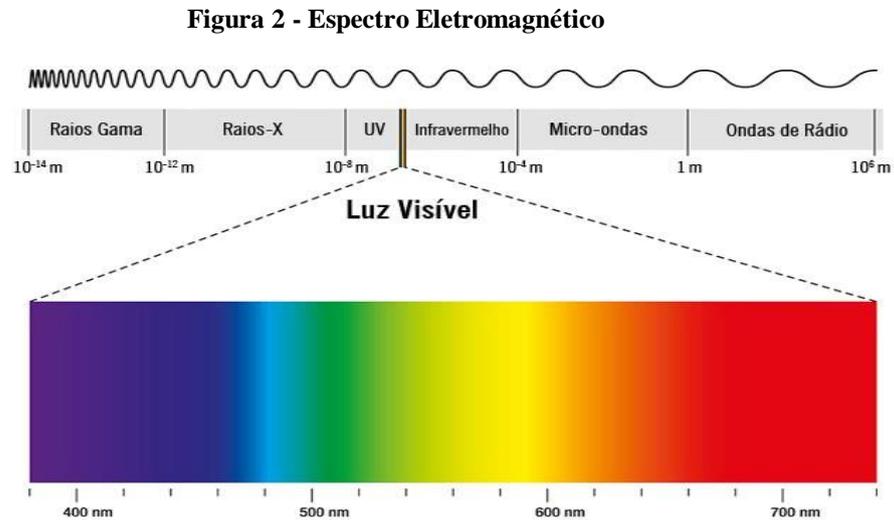
A maior parte dos sensores para captação de imagens detecta e registra a radiação eletromagnética, onde esta se caracteriza por viajar a velocidade da luz e possuir dois campos; um elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si e com variação senoidal como na figura 1.

Figura 1 - Propagação da Onda Eletromagnética



Fonte: Mundo educação

A radiação eletromagnética possui dois parâmetros principais que alternam entre si formando o espectro eletromagnético na figura 2. Tais parâmetros são o comprimento de onda e a frequência.



Fonte: toda matéria. Adaptado pelo autor

Os objetos reagem à energia eletromagnética que incide sobre eles de três modos; absorvendo, transmitindo ou refletindo, junto com a emissão propriedade natural de todos os objetos. De acordo com Coelho e Brito (2007) para a fotogrametria, os processos de emissão e reflexão, são os que mais interessam, pois é a partir da soma destes pelas feições da superfície terrestre que os diodos fotossensíveis usados em câmeras digitais ou filmes analógicos conseguem detectar e registrar essa radiação.

A reflexão da radiação eletromagnética ocorre de duas maneiras distintas: especular e difusa. A difusa onde as ondas incidentes em uma superfície são refletidas em inúmeras direções com diferentes intensidades, conforme a figura 3. A especular é quando as ondas são refletidas de forma espelhada, em relação a sua direção normal da superfície, conforme a figura 4.

Figura 3 - Reflexão difusa

Fonte: Wikiciencias

Figura 4 - Reflexão especular

Fonte: Wikiciencias

2.4.1.2 Imagens digitais

Conforme Shimabukuro e Ponzoni (2017), imagens digitais são formadas, através da radiação eletromagnética que reflete na superfície da terra e nos objetos, e segue em direção ao sensor da câmera na forma de um fluxo com radiação e intensidade próprias. A intensidade do fluxo eletromagnético é denominada radiância e pode ser medida em faixas espectrais. Um fluxo de radiação refletido, contém diferentes comprimentos de ondas, que tem suas próprias radiâncias. Após a interação do fluxo de radiação com a atmosfera durante seu percurso até os sensores da câmera, sua radiância é transformada em sinais elétricos pelos sensores, que convertem estes sinais em números digitais. Os números digitais originam os pixels.

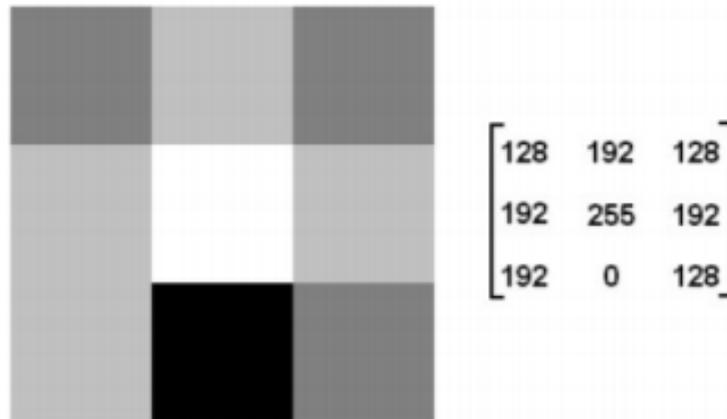
Existem dois tipos fundamentais de imagem digital; vetorial e matricial.

As imagens vetoriais são criadas de combinações matemáticas e geométricas entre ligações e representações de pontos e segmentos de linhas sobre o plano bidimensional. Este tipo de imagem possui características peculiares, pois não perdem de fato sua resolução, quando são redimensionadas. Isso ocorre, porque a posição de cada objeto no plano

bidimensional é definida por um sistema de coordenadas, conseqüentemente não necessita que cada espaço esteja preenchido como ocorre nas imagens matriciais.

A imagem matricial é basicamente uma matriz constituída por pixels. Estes elementos compõem a resolução espacial da imagem. Podendo haver apenas uma coloração sólida em cada pixel, definida por um número digital. Sendo assim, uma imagem digital pode ser representada por uma matriz, onde, uma coloração equivale a um número digital, como podemos perceber na (Figura 5).

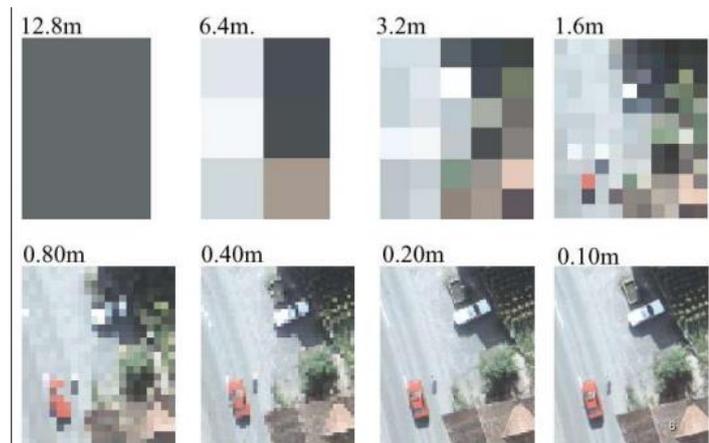
Figura 5 - Distribuição matricial (à direita), equivalente a um conjunto de pixels (à esquerda)



Fonte: Coelho e Brito (2007)

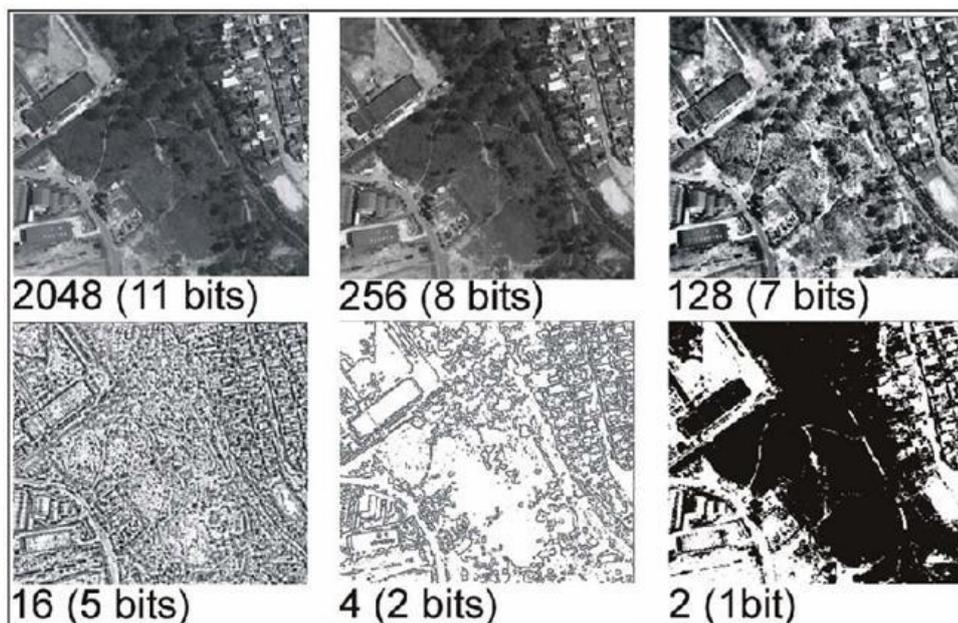
Podemos classificar a resolução das imagens digitais em 4 tipos; resolução espacial, resolução radio métrica, resolução espectral e resolução temporal.

De acordo com Coelho e Brito (2007), a resolução espacial está ligada ao número de pixels que constituem a imagem. Para um sensor remoto, cada pixel representa sempre uma mesma área, com as mesmas dimensões na superfície da terra. Quanto menor o tamanho real do pixel, maior a resolução espacial, conseqüentemente maior será a capacidade de registrar objetos dispostos na superfície terrestre, como representado na (Figura 6).

Figura 6 - Resolução espacial

Fonte: Sensoriamento Remoto 2011

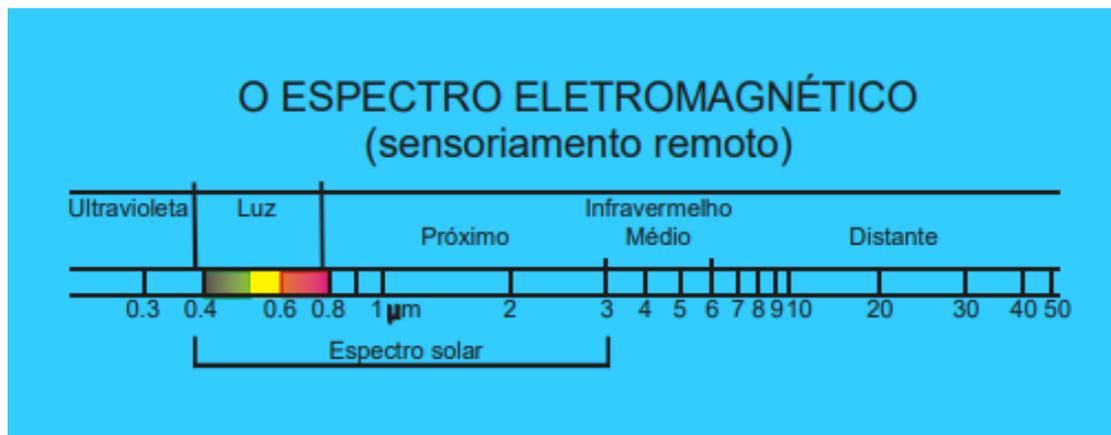
Resolução radiométrica, está interligada a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelos objetos da superfície terrestre e a capacidade de o sensor distinguir uma maior amplitude de tons dentro de uma determinada banda do espectro eletromagnético. Cada sensor possui o seu próprio limite de radiação que consegue detectar e armazenar, este limite é medido em bits. Como os equipamentos utilizados para este propósito possuem um sistema binário, os valores detectados devem estar associados a uma potência de 2. Desse modo quanto maior a resolução radiométrica, melhor será a representação da superfície analisada, como podemos perceber na Figura 7.

Figura 7 - Resolução Radiométrica

Fonte: Engsat

A resolução espectral está diretamente ligada com o número de bandas que os sensores existentes nos satélites conseguem distinguir. Simplificando, quando a energia solar atinge a superfície da terra, parte dela é absorvida e parte refletida. Esta energia é emitida pela superfície terrestre através de ondas, e cada sensor trabalha com um intervalo diferente destas ondas, conforme exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Espectro eletromagnético



Fonte: Sensoriamento Remoto (2011)

Sensores pancromáticos captam a faixa do espectro visível, exibindo-as em tons de cinza, em apenas uma banda. Sensores que captam imagens coloridas cobrem a mesma faixa do espectro, porém em bandas diferentes. De acordo com Coelho e Brito (2007), sensores de imagens coloridas possuem três bandas mais estreitas que o sensor pancromático. Com isso podemos dizer que sensores coloridos possuem uma resolução espectral maior do que o pancromático.

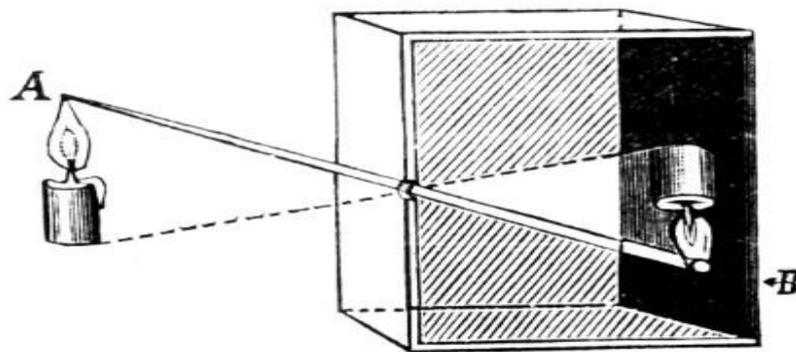
A resolução temporal é obtida através do tempo que um satélite leva para fazer a revisita sobre determinado ponto da terra, como por exemplos satélites da família Landsat, que realiza a revisita em aproximadamente 99 minutos, permitindo 14 voltas da terra por dia e a cobertura total do planeta em 16 dias.

2.4.1.3 Cameras fotográficas

Segundo Filipe Salles a fotografia foi criada no século XIX, pelos franceses Nicéphore Niépce, Louis Daguerre e do inglês William Talbot, desenvolveram uma técnica chamada heliografia. A heliografia é o processo de passar uma solução chamada de betume da

Judeia em uma placa de estanho e quando exposto ao sol, o betume endurece formando uma imagem negativa. A câmera escura foi desenvolvida com um mecanismo tão simples que em sua essência, é utilizado até os dias atuais. Este tipo de câmera possui uma câmara oca revestida por paredes escuras, com exceção de uma, posicionado no lado oposto da abertura, onde está localizado um dispositivo que pode ser ativado pela luz, como um filme no caso de câmaras analógicas. A imagem formada é invertida em relação ao objeto fotografado, como demonstra a Figura 9.

Figura 9 - Câmera escura

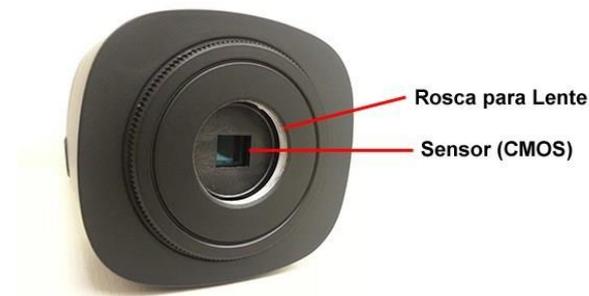


Fonte: Alamy câmera obscura. Adaptado pelo autor

As câmeras fotográficas são classificadas de acordo com a sua tecnologia, analógicas, que utilizam um filme fotográfico, ou digitais, que em alguns modelos utilizam uma matriz CCD, ou sensores CMOS.

Sensores CMOS, possuem um formato e dimensão reduzidos, como aponta Siri (2015), em função disso tem como principal vantagem em relação ao CCD o custo reduzido. A construção traz materiais semelhantes, constituídos basicamente de silício e sensibilizados pela luz, funcionando pelo efeito foto elétrico. Um sensor CMOS típico de uma câmera e sua localização estão exemplificados na figura 10.

Figura 10 - CMOS de uma câmera e sua localização



Fonte: Aprendacftv

De acordo com Fernandes, Kanaan e Gomes (2002) CCD são sensores semicondutores com capacidade de captar imagens através de suas células fotoelétricas, conectadas a uma matriz de capacitores. O número de pixels gerados para a composição de uma imagem que determina a sua resolução está diretamente associado ao número de capacitores e arranjos destes. Sensor CCD e sua localização exemplificada na figura 11.

Figura 11 - Sensor CCD e sua localização



Fonte: Focusfoto

A grande diferença entre os sensores está na forma como é feita a captura de imagem, através da sensibilização de cada elemento fotosensível que irá gerar os pixels. Os sensores CCD conseguem sensibilizar todos os elementos em sua matriz de uma única vez, conhecido como total shutter, já os CMOS, conseguem capturar as imagens pelo rolling shutter, que consiste em fazer a leitura de uma fileira de pixel por fração de segundo. Apesar de ser um processo muito rápido, Siri (2015), destaca que deve ser considerado no momento de obter imagens em movimento.

Existe também a classificação quanto à rigidez dos parâmetros, sendo divididos em dois grandes grupos; câmeras métricas e não métricas. As câmeras métricas ou fotogramétricas trazem um certificado de calibração, que consiste em um documento que

valida à precisão de determinados parâmetros essenciais da câmera. Os principais parâmetros de uma câmera são a distância focal e o ângulo de abertura.

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

O objetivo fundamental da utilização da fotogrametria digital é realizar processamentos tendo como base imagens em formato digital, obtidas seja por scanners ou por câmeras de alta resolução adaptadas em aviões ou DRONES (VANT). Levando em consideração o método empregado no modelo convencional de fotogrametria, no qual, utilizam-se imagens em filme (positivas ou negativas) a Fotogrametria digital traz avanços preponderantes, pois, utiliza imagens digitais obtidas através de câmeras e sensores específicos, agregando maior agilidade no processo de obtenção dos dados e melhorando exponencialmente a qualidade do produto final.

Algumas vantagens se sobrepõem quando se trata da utilização da fotogrametria digital na engenharia civil, entre elas se destaca, a redução da fadiga do operador, pois, a tomada de dados pode ser realizada através de scanners e veículos não tripulados, o que reduz a exposição do operador que se preocupa somente em controlar as variáveis de planejamento do levantamento, conseqüentemente, ocorre abundante economia de tempo, pois, o processo de levantamento de dados é rápido e, no caso da utilização de Drone, permite a cobertura de vasta área em poucos minutos, permitindo que o maior tempo seja gasto no processamento dos dados levantados.

Figura 12 - Estação Total



Fonte: SSTOPOGRAFIA. Adaptado pelo autor.

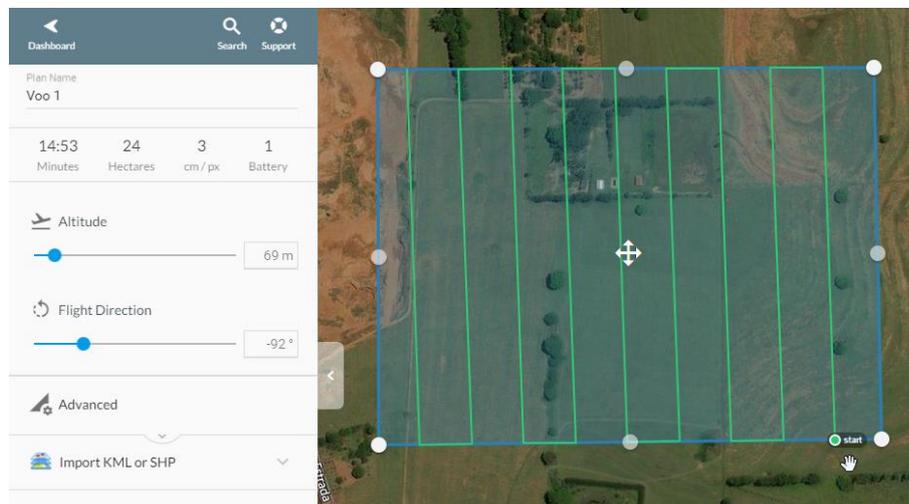
O equipamento ilustrado na imagem acima é denominado “Estação Total” (Figura 12), e é amplamente conhecido e utilizado quando se trata de levantamentos topográficos em geral, Segundo Wolf (2003), O equipamento Estação Total é possivelmente o mais popular e relevante instrumento empregado na obtenção de dados topográficos de terrenos, sendo utilizada para projetos topográficos no mundo todo, a utilização do mesmo tornou obsoleto o uso de equipamentos menos completos, tais como, trânsitos, medidores eletrônicos de distância isolados e teodolitos.

A Estação Total é amplamente utilizada para medições de ângulos verticais e horizontais, e também, distâncias lineares. Entretanto, para executar a medição é necessário posicionar o equipamento em local livre de obstáculos e mirar até o prisma, sendo que o mesmo se encontra em uma haste metálica e deve ser colocado e alinhado verticalmente ao ponto em que se deseja medir, posteriormente a Estação Total emite um feixe de laser que reflete no prisma e volta para o equipamento, permitindo que o mesmo leia o tempo de resposta e o ângulo de rotação da luneta e calcule os ângulos e distâncias e armazene esses dados em sua memória.

Após essa breve explicação sobre o funcionamento da Estação Total e o método utilizado para levantamento de campo, não resta dúvida de que é um equipamento altamente eficaz e que cumpre bem seu propósito, porém, o levantamento realizado com a mesma demanda tempo e exposição de, no mínimo, dois operadores para obtenção de dados, já que

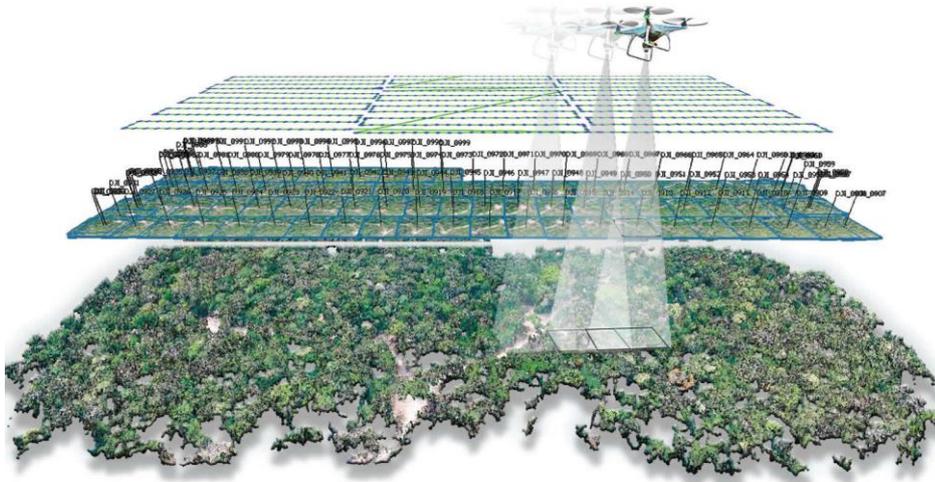
necessita de um indivíduo para mirar a estação no prisma e outro para posicionar corretamente o prisma acima da superfície desejada, logo, todo esse processo gera impacto direto na produtividade, velocidade e valor do levantamento. Surge então, como alternativa ao levantamento convencional utilizando Estação Total, o levantamento aerofotogramétrico, realizado a por câmeras e sensores de alta precisão acoplados em Drone (VANT), o mesmo traz como benefícios a velocidade, alto desempenho, pois ele faz toda a cobertura e levantamento da área desejada praticamente sozinho necessitando apenas de parâmetros para realização do plano de voo, e redução do custo, pois é necessário apenas um indivíduo para operar o Drone, que realiza o levantamento em questão de minutos.

Figura 13 - Plano de voo e parâmetros.



Fonte: DronEng. Adaptado pelo autor.

O plano de voo é parte crucial no processo de tomada de dados da Aerofotogrametria, pois, após análise prévia da área de interesse, com a utilização de software específico permite que seja traçada a área em que será feita a cobertura pelo Drone, e os dados serão obtidos, por ser um processo automático evita a fadiga do operador, aonde o mesmo só deverá se preocupar com as condições do local, intempéries e as condições da bateria do VANT.

Figura 14 - Levantamento Aerofotogramétrico

Fonte: Dapweb.org. Adaptado pelo autor.

Além das vantagens supracitadas, existem outras que se destacam, provando e atestando a eficácia da utilização da fotogrametria digital, dentre elas estão, atualizações constantes e facilitadas, afinal o processamento é todo feito através de software, justamente pelo processamento se dar completamente em ambiente digital, torna-se desnecessária a execução de calibrações periódicas do equipamento, de modo geral todas as vantagens citadas somam de modo a agregar eficácia e dinamismo no processo, tornando o custo benefício do mesmo extremamente interessante.

Entretanto, como em qualquer processo, existem alguns pontos negativos que podem ser destacados. Por ser um sistema puramente digital e computadorizado, exige certo conhecimento de informática por parte do operador, o que pode ser um fator limitante e gerar resistência em alguns casos, além disso, o custo operacional do sistema é elevado, pois, exige sistemas computacionais de alta qualidade para processar e armazenar os dados sem prejuízo.

É notório, que as vantagens da utilização da fotogrametria digital na engenharia se sobrepõe as desvantagens, de modo que a resistência inicial a utilização do sistema seja, na maioria dos casos, por falta de conhecimento do processo ou por medo de mudanças, logo, para quebrar a barreira da resistência inicial, é importante que se entenda como funciona o processo de tomada de dados e todas as vantagens que o mesmo traz para o profissional de engenharia, possibilitando levantamentos topográficos extremamente precisos, rápidos e de baixo custo.

2.6 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Segundo Antunes (2013), o Sistema de Informação Geográfica (SIG) que se vale da tecnologia do geoprocessamento, diante de diversas usabilidades, é comumente utilizado em áreas como: meio ambiente planejamento urbano, planejamento regional, cadastro de propriedades e municípios. O SIG consiste em uma ferramenta indispensável de suporte a tomada de decisões e planejamento, cada vez mais o geoprocessamento vem conquistando adeptos ao redor do mundo, o mercado de SIG abrange milhares de profissionais e empresas atualmente, por ser um segmento que anda de mãos dadas com o avanço tecnológico, constantemente surgem novos softwares e hardwares de ponta buscando aperfeiçoar os processamentos.

O SIG foi concebido em meados de 1960, buscando sobrepor e combinar variados tipos de dados em um único mapa. Como resultado de estudos do Laboratório Gráfico Computacional da Escola de Planejamento Urbano da Universidade de Harvard, surge na década de 70 o projeto pioneiro de SIG, cuja denominação era SYMAP, o mesmo produzia mapas de declividade com a ajuda de uma impressora matricial que variava a tonalidade da impressão de acordo com o número de vezes que preenchia cada região, Antunes (2013).

Marble (1984) define que o dado georreferenciado deve possuir coordenadas geográficas, latitude e longitude. O processamento e armazenamento de denso volume de dados sobre um espaço geográfico específico incentivou a criação de sistemas informatizados capazes de condensar todas as informações geográficas pertinentes sobre os elementos do mapa, que posteriormente se torna um mapa georreferenciado. As operações computacionais referentes ao geoprocessamento exigem tecnologia e softwares específicos, juntamente com banco de dados e cartografia digital, logo o uso do SIG está vinculado à existência de um sistema lógico eficiente que possa ligar elementos cartográficos a bancos de dados.

Segundo Camara (1996), SIG é a área do conhecimento que se vale de técnicas computacionais e matemáticas para o processamento e tratamento de dados geográficos, buscando compor em uma única base de dados informações espaciais originadas de dados cartográficos, dados de censo, cadastros urbanos, imagens de satélite, modelos numéricos de terrenos, de forma que seja possível compilar esses dados, armazenar e posteriormente gerar mapeamentos derivados.

Segundo Antunes (2013), o uso da tecnologia de Geoprocessamento evoluiu de forma significativa nas últimas décadas, englobando diversas organizações na área de infraestrutura, gestão ambiental, educação, gestão municipal, dentro outras. A evolução do

geoprocessamento foi diretamente influenciada pela evolução paralela de tecnologias de levantamento de dados espaciais, ou as denominadas geotecnologias, tais como:

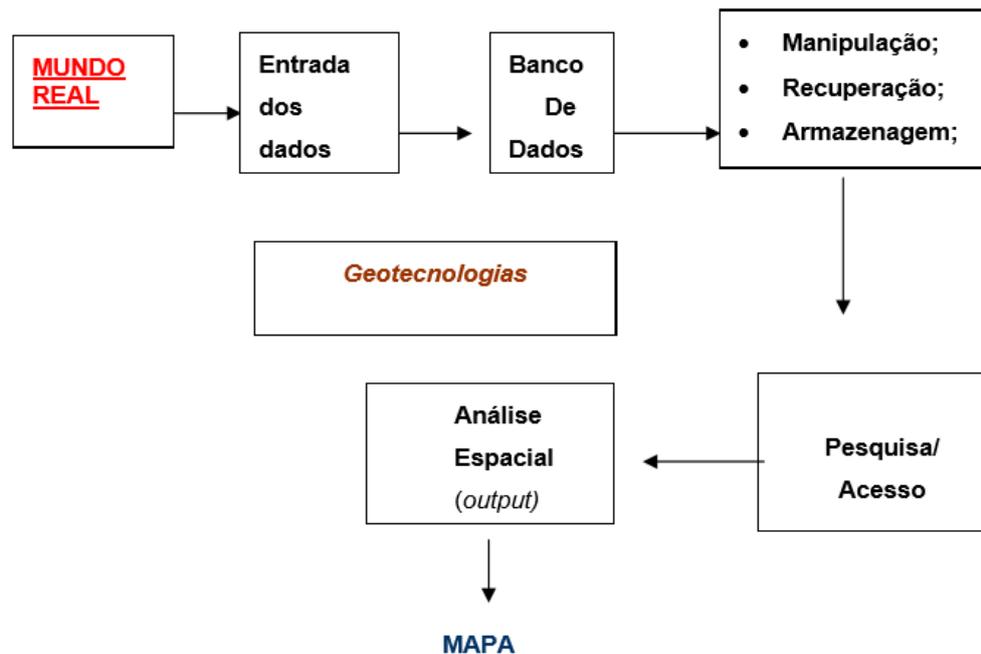
GPS – Sistemas de Posicionamento Global (Global Positioning Systems – GPS) que possibilitam a determinação correta da posição de objetos na superfície do planeta terra.

Aerofotogrametria – Possibilita a tomada de dados geográficos através de sequencias de fotografias aéreas, e posteriormente após o processamento dessas fotografias a criação de mapas digitais.

Sensoriamento Remoto – Com imagens de alta resolução e a produção de ortomagens oferece produtos cartográficos altamente fidedignos e confiáveis.

Como consequência da evolução das geotecnologias que ocorreu na última década, o georreferenciamento tornou-se mais acessível aos usuários, permitindo que mais profissionais adentrassem a este mercado, estimulando empresas a produzirem softwares mais completos, além de permitir que os custos de coleta e processamento dos dados espaciais fiquem mais acessíveis. A Figura 15 descreve em forma de fluxograma o conceito de SIG, aonde dados geográficos reais são simplificados e representados por modelos georreferenciados originados de geotecnologias e de dados coletados, tais dados são manipulados, armazenados e editados conforme o interesse do profissional, tornando possível o desenvolvimento de diversas análises espaciais, Antunes (2013).

Figura 15 - Diagrama de contexto de um SIG



Fonte: Antunes (2013). Adaptado pelo autor.

Conforme o supracitado, buscando sintetizar o conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG), Marble (1984) define que o conceito do mesmo se trata de um sistema voltado à obtenção, análise, armazenamento, edição, processamento e exposição de dados referenciados de forma espacial.

2.7 EXATIDÃO E ACURÁCIA

2.7.1 Padrão de exatidão cartográfica para produtos digitais

Em 20 de junho de 1984 foi criado o decreto nº 89.817, que define critérios quanto à classificação de produtos cartográficos, utilizando parâmetros acerca de sua exatidão e da distribuição de erros presentes, de acordo com Martin (2016). O decreto coloca o uso de um índice denominado Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), utilizado, como parâmetro de padronização e aferição da qualidade dos produtos cartográficos brasileiros através de parâmetros internacionais de precisão e exatidão, como descreveu Rocha (2002).

De acordo com Martin (2016), como relatado no disposto na norma ISO 19115, encontram-se os parâmetros referentes a precisão posicional dos dados aferidos de acordo com cada PEC, demonstrado no decreto de lei relacionado a tabela 2. O mesmo também estabelece os valores aceitos de erros conforme a escala do mapa, criando três classes de produtos cartográficos, que dependem da precisão para a aplicação do produto gerado.

Tabela 2 - Precisão posicional de acordo com cada PEC

Carta	PEC Planimétrico	Erro padrão	PEC Altímetro	Erro padrão
Carta A	0,5 mm x escala	0,3 mm x escala	1/2 equidistância	1/3 equidistância
Carta B	0,8 mm x escala	0,5 mm x escala	3/5 equidistância	2/5 equidistância
Carta C	1,0 mm x escala	0,6 mm x escala	3/4 equidistância	1/2 equidistância

Fonte: decreto nº 89.817

Martin (2016) apud Monico et al. (2009), estabelecem que a definição original de acurácia determinada por Gauss, vinculam os efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros obtidos nas medições, enquanto que a precisão se vincula apenas com seus efeitos aleatórios. Com isso é possível concluir que a acurácia por si, define critérios de precisão. Como consta o § 4º do item 2. do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, a exatidão posicional

de um objeto espacial ou geográfico depende da exatidão do produto cartográfico, é de grande importância que o processo de aquisição, gere informações com geometria posicional ao produto final. Ainda o decreto ressalva que os termos Desvio Padrão (DP) e Erro Padrão (EP), devem ser utilizados com sinônimos, para as análises.

Em seu artigo Martin (2016), apresenta os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), obtidos da Especificação Técnicas dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Na tabela 3, estão exemplificados os PEC-PCD Altimétrico para Modelos Digitais de Terreno (MDT), de Elevação (MDE) e de superfície (MDS). Na tabela 4 os PEC-PCD planimétricos para produtos cartográficos digitais.

Tabela 3 - Padrão de exatidão Altimétrico dos produtos cartográficos digitais

PEC - PCD	1:1000 (Eqd=1m)		1:2000 (Eqd=1m)		1:5000 (Eqd=2m)		1:10000 (Eqd=2m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67
B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50
D	1,00	0,50	1,00	0,50	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: Martin 2016

Tabela 4 - Padrão de exatidão planimétrico dos produtos cartográficos digitais

PEC - PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000	
	PEC (m)	EP (m)						
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: Martin 2016

3 LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO

3.1 DEFINIÇÃO

Segundo a CPE Tecnologia, levantamento topográfico tem o objetivo de mapear uma determinada área da superfície do terreno. Este mapeamento gera dados que futuramente serão utilizados para elaboração de plantas, perfis e representações gráficas das características do terreno. O método convencional de levantamento de dados topográficos e a utilização da estação total que é um equipamento para medições topográficas, que faz medições de ângulos verticais, horizontais e também de distâncias lineares.

3.2 TIPOS

Existem três tipos de levantamentos topográficos: o planimétrico, altimétrico e o planialtimétrico. O primeiro se trata de medidas em um plano, já o segundo utiliza medidas na vertical, se unirmos esses dois estilos resultaremos no terceiro, método que permite um mapeamento mais completo.

3.2.1 Planimétrico

Também conhecido como Planimetria, se define pela medição das projeções dos ângulos horizontais que caracteriza uma área. Esse estilo de levantamento é utilizado para determinar os limites de um terreno.

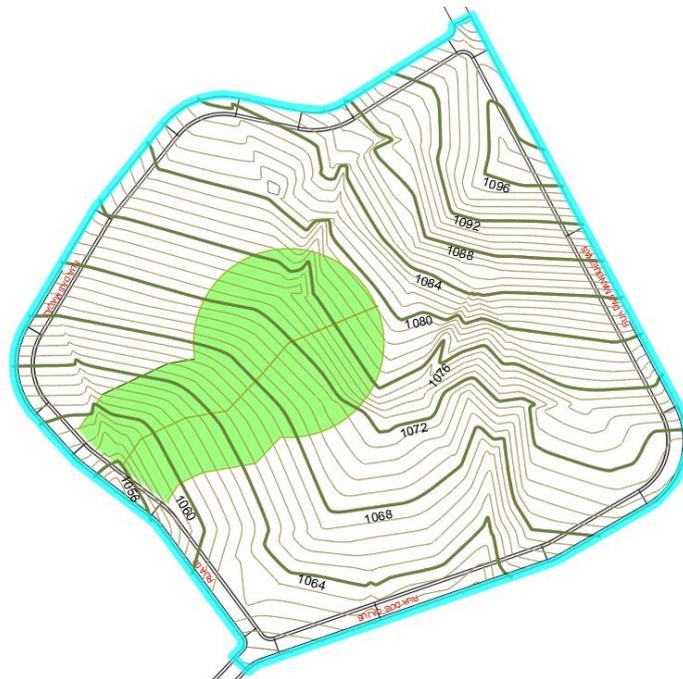
3.2.2 Altimétrico

Esse método é utilizado para a definição das alturas de um terreno. Também chamado de altimetria, utiliza os ângulos verticais para demarcar a declividade de um terreno. Utilizando as curvas de nível, que são representações em planta baixa dos pontos de um terreno que estão em uma mesma altura. Ao conectá-los por meio de linhas, conseguimos obter essas curvas. Com isso a principal função deste levantamento é representar o relevo de uma área.

3.2.3 Planialtimétrico

Este levantamento é o que foi utilizado para gerar o levantamento topográfico utilizado neste trabalho, realizado por uma empresa especializada a M.ED Design Maquetes & Arquitetura, consiste basicamente na união entre os levantamentos planimétrico e altimétrico. Esse método permite as medições das projeções horizontais e as diferenças de nível do terreno. Gerando um mapeamento mais completo, como visto na Figura 16, esse tipo de levantamento se faz necessário nos casos em que se precisa de um mapeamento detalhado das condições de um terreno.

Figura 16 - Levantamento convencional



Fonte: MED Design Maquetes & Arquitetura, 2010. Adaptado pelo autor

Para o mapeamento deste trabalho, foi utilizado curvas de nível com espaçamento de 80 cm. Curva de nível é o nome utilizado para descrever uma linha imaginária que interliga dois pontos de mesma altitude, essa é a forma mais eficiente de representar as irregularidades da superfície do terreno. Para a obtenção das curvas foi utilizado o programa Arcgis que transformou os pontos coletados pelo equipamento Estação total nas curvas de nível utilizados na imagem acima.

3.3 PROJETO AEROFOTOGRAMETRICO

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado em um terreno localizado na Estância Itamaraty, próximo ao Anexo Itamaraty, Anápolis-GO, cuja área em que foi realizado o mapeamento corresponde a cerca de 66.900 m². A determinação da área levantada levou em consideração o tempo de voo essencial para obtenção das imagens, obedecendo aos métodos fixados para obtenção de produtos fotogramétricos de qualidade.

Segundo Coelho e Brito (2007), O tempo de voo possui relação intrínseca com a altura de voo selecionada, pois, em menores alturas serão necessárias maiores quantidade de imagens para cobrir uma área de mesma extensão. Para realização do levantamento a missão de voo foi realizada na altura de 80m, com área de superposição de 75 % nos sentidos transversal e longitudinal, buscando aperfeiçoar o uso da bateria do VANT o modo de Voo Contínuo foi utilizado, com o intuito de evitar que o mesmo reduza a velocidade no momento de obtenção das imagens.

Nas fases posteriores, foi realizado o processamento dos dados obtidos em campo, produção de produtos fotogramétricos digitais, produção de produtos cartográficos e comparação com o levantamento topográfico realizado com uso do equipamento Estação Total, buscando mensurar a qualidade do produto obtido. Os softwares Agisoft Photoscan e Global Mapper foram amplamente utilizados para o processamento das imagens fotográficas e desenvolvimento dos Modelos Digitais de Terreno, superfície e elevação. Foi também utilizado o software AutoCad para representar os produtos gerados pelo processo de fotogrametria após o processamento.

3.4 ÁREA MAPEADA

O terreno escolhido para realização do levantamento aerofotogramétrico foi uma chácara localizada na Estância Itamaraty, próxima aos bairros Anexo Itamaraty e Res. Monica Braga, na região noroeste do município de Anápolis. Região escolhida pelo seu acesso facilitado, além de ser livre de linhas de transmissão de alta tensão e antenas de telefonia, por questões de segurança o voo nessas regiões é vetado.

Figura 17 - Área mapeada

Fonte: Google Earth, 2019. Adaptado pelo autor

É possível observar a partir da figura 17, que parte da área total da Estância Itamaraty possui vegetação densa, inviabilizando a realização de levantamento aerofotogramétrico de qualidade nessas áreas. A partir de Análise de imagens de satélite da região, disponíveis no software Google Earth, foi definido que a extensão da área a ser realizado o levantamento seria limitada a 66.900 m², conforme destaque contornado e hachurado na figura 18.

Figura 18 - Área mapeada (Zoom)

Fonte: Google Earth, 2019. Adaptado pelo auto

Conforme ilustrado na figura 18, a área escolhida para levantamento não possui vegetação volumosa em todo seu território, permitindo que os sensores do VANT identifiquem as variações do terreno sem grandes dificuldades, o terreno não possui grandes aclives ou erosões, tornando o acesso e o manuseio dos equipamentos facilitado.

3.5 ETAPA DE CAMPO - REALIZAÇÃO DA MISSÃO DE VOO

O levantamento de voo foi executado no dias 15 de fevereiro de 2020, por um único operador acompanhado por dois observadores, compondo desta forma a equipe de campo.

Como objetivos desta missão estavam à captura de imagens fidedignas capazes de registrar os dados de campo, através de um sensor embarcado no VANT, respeitando os padrões de voo estabelecido pela pesquisa. Por tanto, a relação de equipamentos utilizados em campo foi a seguinte.

- VANT-DJI Phantom 4
- Controle Remoto
- Dispositivo Android equipado com aplicativos DroneDeploy e DJI GO
- Cabo USB
- Case de acondicionamento
- Helices
- 2 baterias
- Cartão de memória
- Proteção do gimble
- Caderno de campo
- Checklist

Como parâmetros de voo, aplicados na missão, asseguram-se os seguintes padrões.

- Sobreposição lateral: 75%
- Sobreposição longitudinal: 75%
- Azimute de voo: $\pm 1^\circ$
- Velocidade Máxima: 15 m/s

- Horário para a decolagem: entre 11:00 e 11:30 dia ensolarado e com poucas nuvens.

3.5.1 Voo à 80 m

Realizado em 15/02/2020, tem duração de 18 minutos, sendo obtidas 200 imagens. As condições climáticas eram favoráveis, vento leve e poucas nuvens. Foi considerado como um voo sem adversidades. O rádio controlador manteve conexão com a aeronave durante todo voo e a localização dos pontos de passagem pelo aplicativo ocorreu sem nenhum problema observado. Segue abaixo algumas das fotos obtidas no processo:

Figura 19 - Foto levantamento 1



Fonte: Autor

Figura 20 - Foto levantamento 2

Fonte: Autor

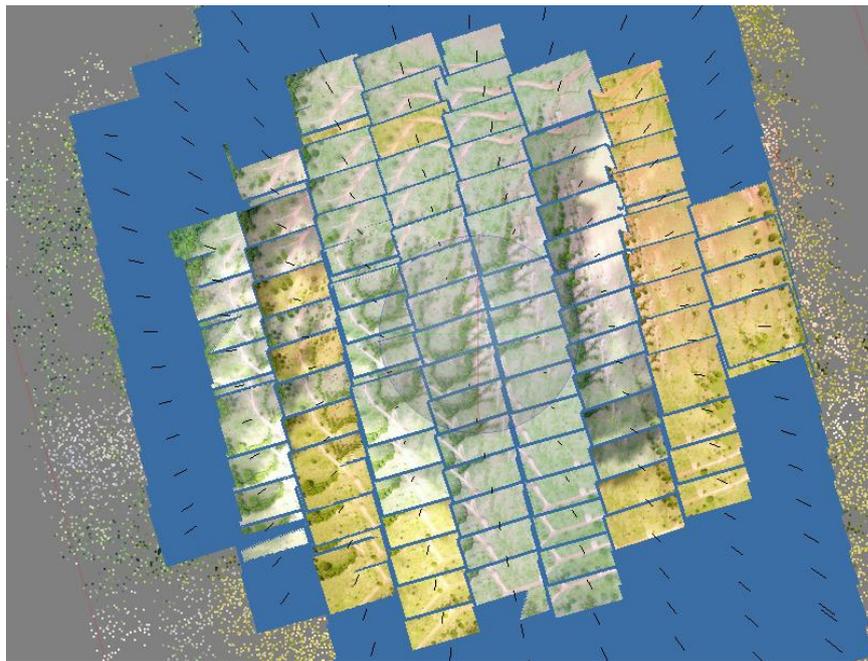
3.6 SEQUENCIA DE TRABALHO

3.6.1 Alinhamento da câmera

Nesta etapa, o software procura pontos semelhantes nas diversas fotos e combina-os em apenas uma, formando uma foto de maior qualidade e riqueza de detalhes, do mesmo modo como encontra a posição adequada da câmera para a captura de cada foto e atualiza os parâmetros de ajustamento.

O resultado obtido, é gerado uma nuvem de pontos dispersos e as posições da câmera é estabelecida, com seus vetores representados. Esta operação é referente ao conceito de orientação interior, explicado na literatura como a operação que confere informação métrica aos arquivos importados ao software, considerando, que até então, os mesmos eram apenas imagens obtidas de forma isolada e salvas em arquivos digitais.

A nuvem de pontos dispersos representa os resultados do alinhamento das imagens e não é usada diretamente em nenhum outro processo, uma vez que a reconstituição tridimensional baseada em nuvens dispersas não é recomendada, pois as áreas de interpolação costumam ser extensas demais para gerarem bons resultados. No entanto, o conjunto de posições da câmera é fundamental para a reconstrução da superfície 3D e para sequência do fluxo de trabalho.

Figura 21 - Alinhamento das Cameras

Fonte: Autor

3.6.2 Processamento dos Dados

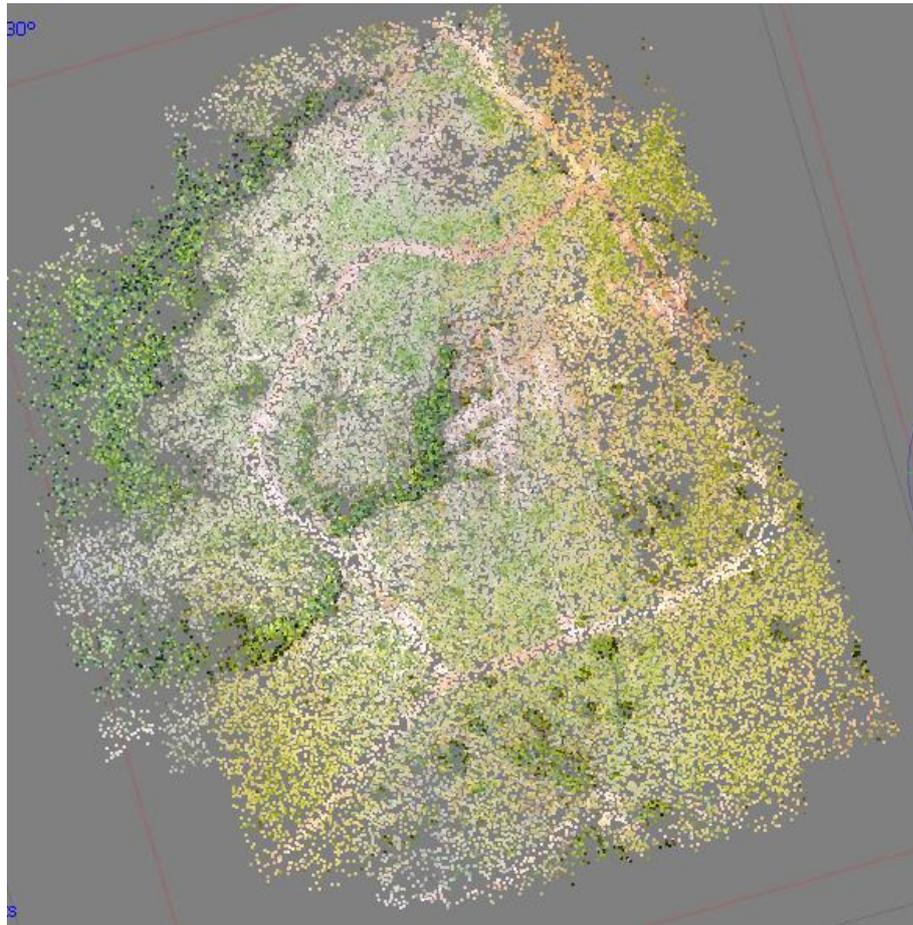
O processamento dos dados foi realizado utilizando o software de processamento digital de imagens Agisoft Photoscan Professional, utilizando como processador uma CPU Intel Core I7 7500 2,90GHZ, com 16 Gb de memória RAM, VGA NVIDIA GeForce 940MX 4 GB e SSD de 480Gb de capacidade. Tendo como duração para os dados obtidos 3 horas e 38 minutos. O intuito principal desta fase é a geração dos produtos fotogramétricos adquiridos através das imagens obtidas em campo. Os produtos fotogramétricos extraídos são: o modelo digital de superfície (MDS), o modelo digital de elevação (MDE), o mosaico de ortomagens e o mapa topográfico contendo as curvas de nível.

3.6.3 Adensamento da nuvem de pontos (Fototriangulação analítica)

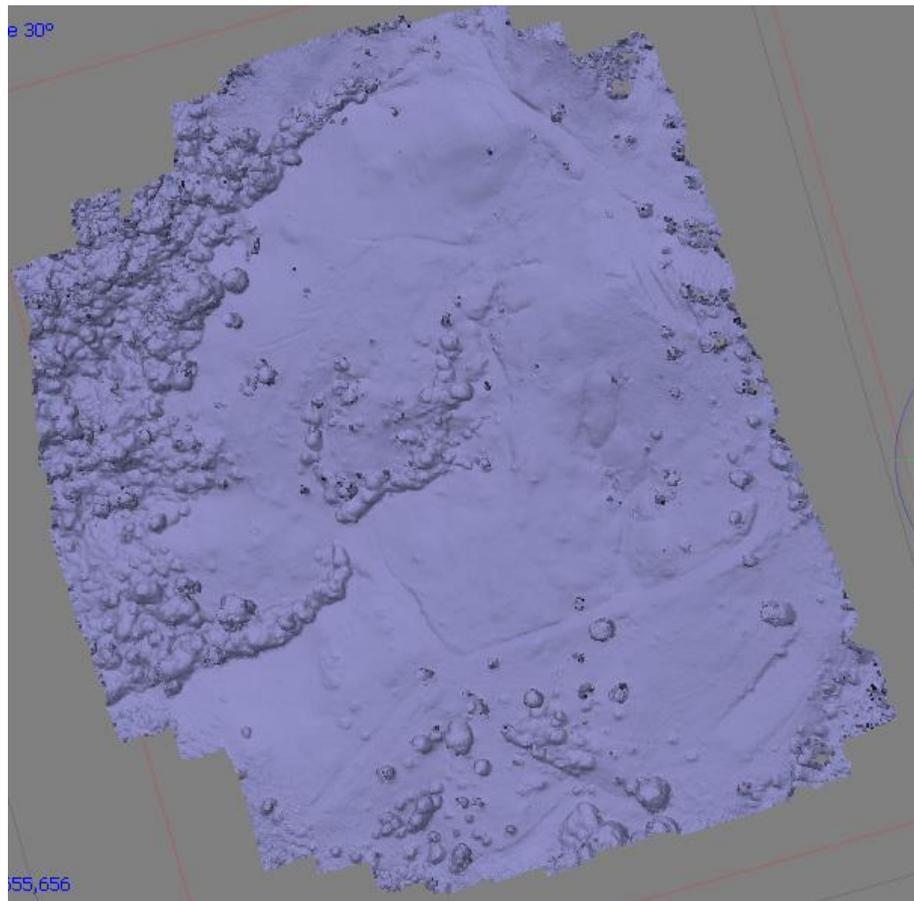
O adensamento da nuvem de pontos é realizado através das referências métricas extraídas com a utilização do software e atribuído para câmera na primeira sequência de cálculos, e através destes parâmetros torna-se possível obter um adensamento de dados nos arredores dos pontos identificados como comuns em várias imagens, de acordo com os desenvolvedores do software, a nuvem de pontos pode ser editada e classificada antes da exportação ou do prosseguimento da sequência de trabalho. Nesta etapa o software realiza os cálculos das informações de profundidade para cada uma das imagens alinhadas e realiza a

combinação em somente um elemento. Os procedimentos citados se utilizam da fototriangulação analítica, técnica primordial no mapeamento topográfico através da fotogrametria, consiste em um modelo matemático que utiliza a reconstrução ótima dos feixes perspectivos de raios luminosos que constituem o espaço/imagem no instante da obtenção do conjunto de imagens fotográficas, para posteriormente realizar a recomposição da profundidade do espaço-objeto.

Figura 22 - Nuvem de pontos



Fonte: Autor

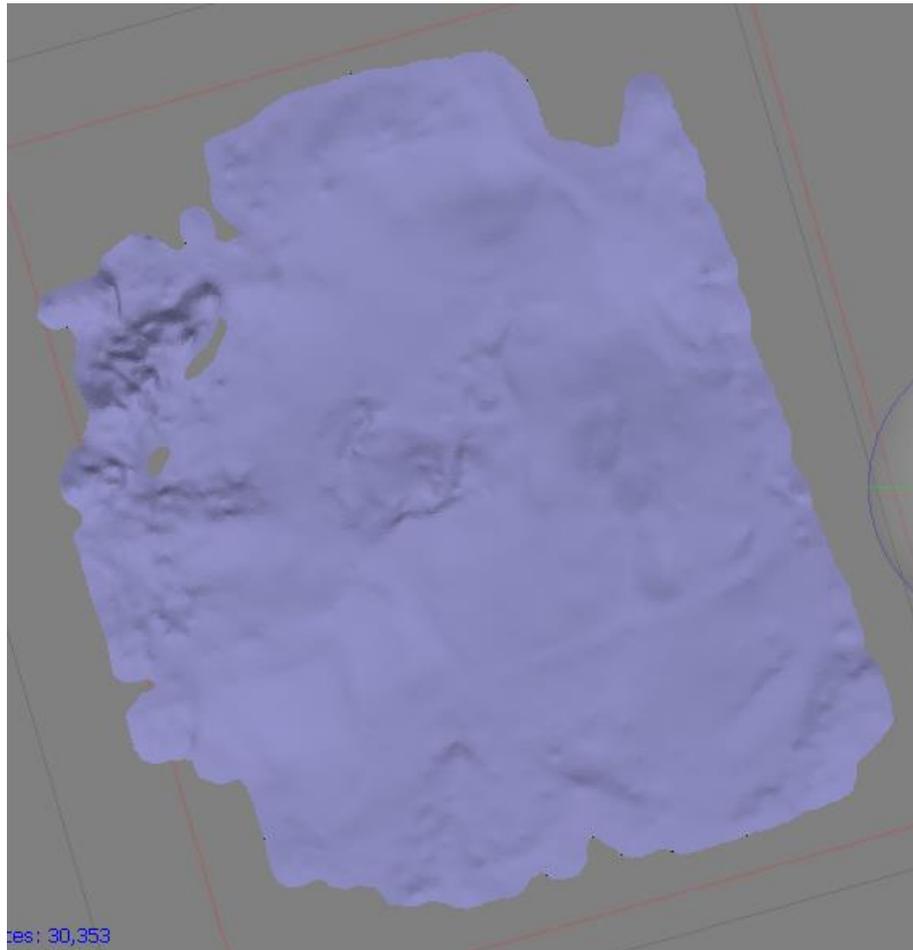
Figura 23 - Nuvem de pontos densa

Fonte: Autor

3.6.4 Superfície (Modelo Digital de Elevação)

Seguindo o fluxo de trabalho a terceira etapa é a geração da superfície através da nuvem de pontos adensada. Procedimento que pode ser realizado por dois caminhos: a partir da criação de uma malha poligonal interligada ou diretamente a partir da obtenção do modelo digital de elevação (MDE). A malha poligonal interligada é uma representação tridimensional da superfície do objeto obtida baseando-se na nuvem de pontos adensada, este é um tipo de representação que não é obrigatório para a sequência de trabalho, porém, é possível calcular o MDE a partir desta malha. O Modelo Digital de Elevação pode ser criado de maneira direta a partir da nuvem de pontos adensada e consiste na representação bidimensional do levantamento realizado, atribuindo uma escala de cores as variações de altura existentes no terreno. A quantidade de pontos atribuídos no momento do processamento tem relação direta com a qualidade e precisão do produto final.

Figura 24 - Modelo Digital de Elevação (MDE)



Fonte: Autor

3.6.5 Texturas e Mosaico de Ortofotos

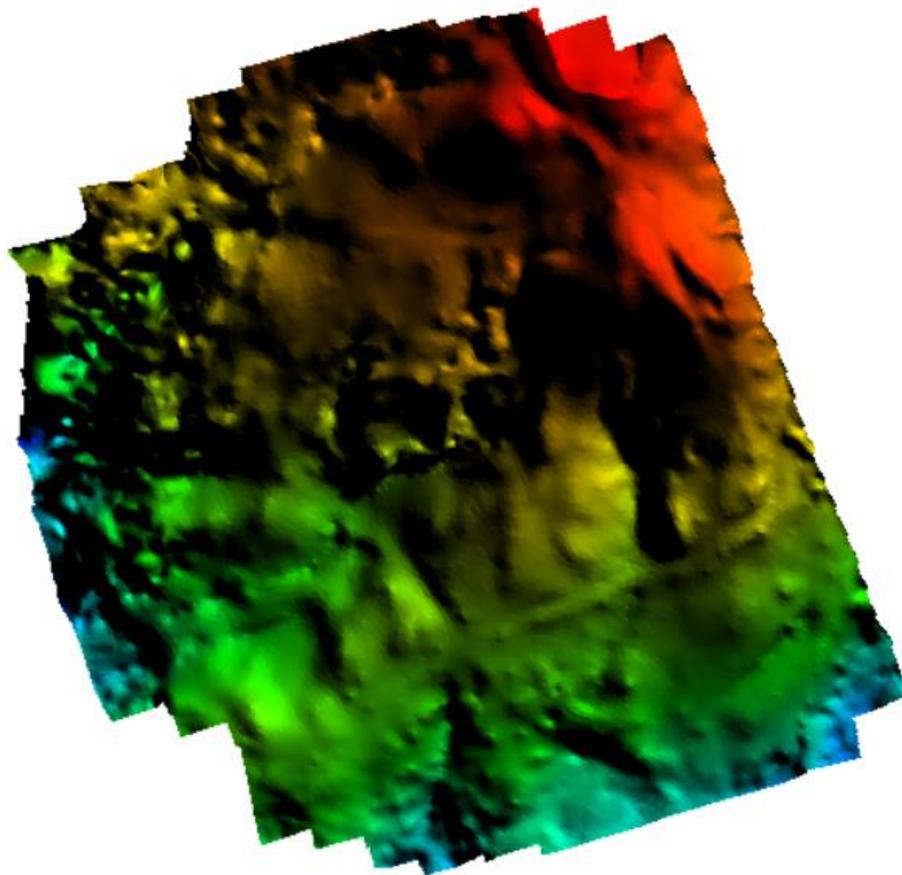
Depois da reconstrução da superfície em modelo tridimensional, podemos texturizar e ainda retificá-la em um modelo ortoretilificado e o mesmo ser projetado em alguma das superfícies.

No desenvolvimento deste trabalho foi aplicado o fluxo de trabalho geral para a confecção de modelos tridimensionais texturizados sugerido pela fabricante do software. A sequência dos passos executados para o mapeamento foi:

- I. Importação das imagens para o Software
- II. Alinhamento das fotos
- III. Inspeção das falhas e remoção de imagens
- IV. Otimização da Câmera

- V. Construção da nuvem densa de pontos
- VI. Construção da malha interligada (Mesh Model)
- VII. Geração da Textura
- VIII. Geração do modelo Texturizado (Tiled Model)
- IX. Geração do Modelo Digital de Elevação
- X. Geração do Ortomosaico
- XI. Geração das curvas de nível

Figura 25 - Modelo Digital de Terreno (MDT)



Fonte: Autor

Figura 26 - Orthomosaico

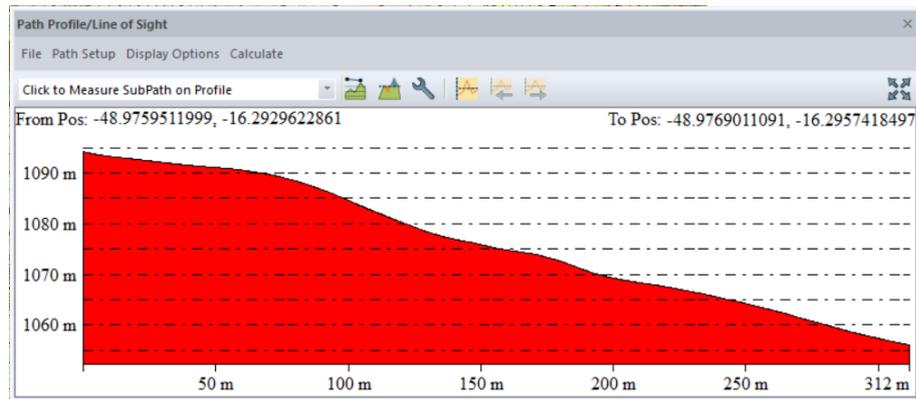


Fonte: Autor

4 ANÁLISE COMPARATIVA DAS CURVAS DE NÍVEL

A partir dos produtos obtidos com o processamento, tornou-se possível gerar os contornos/curvas de nível que, para facilitar a comparação com o levantamento previamente realizado pela equipe de topografia do empreendimento com uso da estação total, foram geradas em intervalos de 80 cm.

Figura 30 – Perfil longitudinal (Topógrafo)



Fonte: Autor

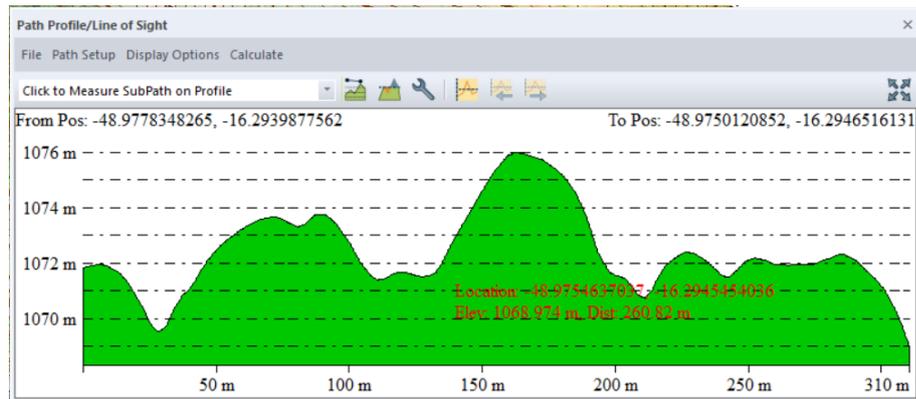
Figura 31 - Perfil Transversal



Fonte: Autor

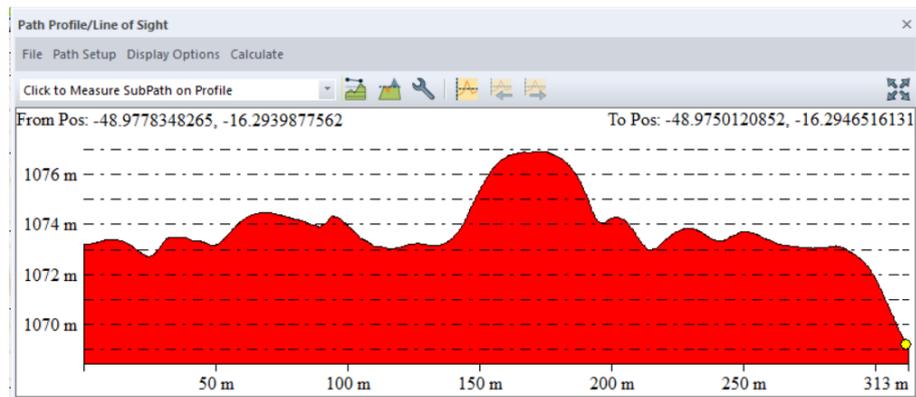
A Figura 31 demonstra a região em que foram extraídas as cotas para obtenção dos perfis transversais dos levantamentos, ambos os perfis foram extraídos das mesmas coordenadas nos dois levantamentos.

Figura 32 - Perfil Transversal (Drone)



Fonte: Autor

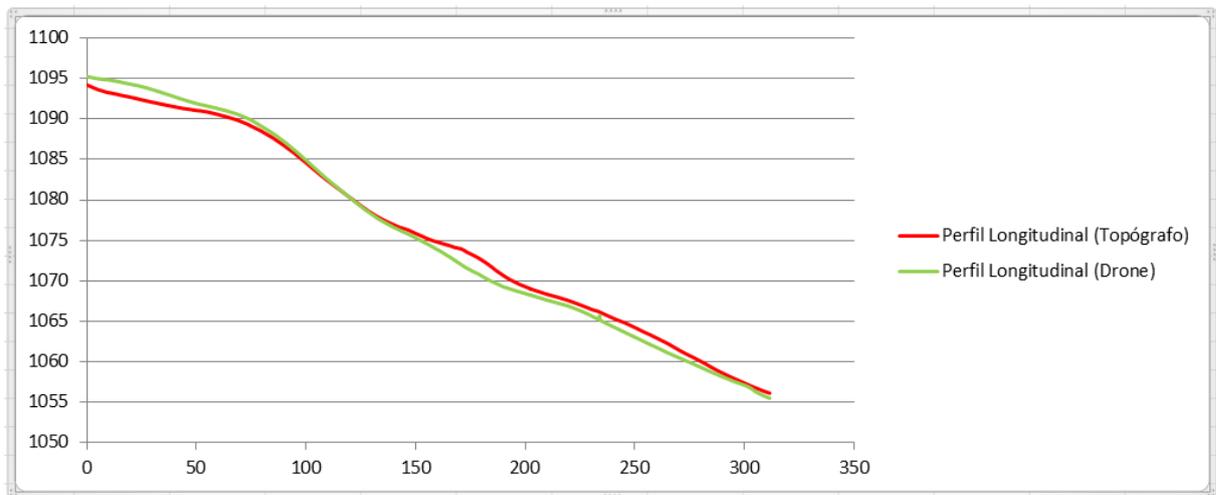
Figura 33 – Perfil Transversal (Topógrafo)



Fonte: Autor

A fim de obter dados para realizar a comparação entre os levantamentos, foi gerado relatório de dados dos perfis de ambos através do software Global Mapper e os mesmos foram analisados posteriormente no software Excel com o intuito de sobrepor os perfis do terreno de ambos os levantamentos e extrair resultados numéricos que balizem a comparação, os relatórios possuem informações de altitude e distância permitindo gerar um gráfico Nível x Distância contando com informações dos dois levantamentos tornando possível observar as discrepâncias e semelhanças entre eles.

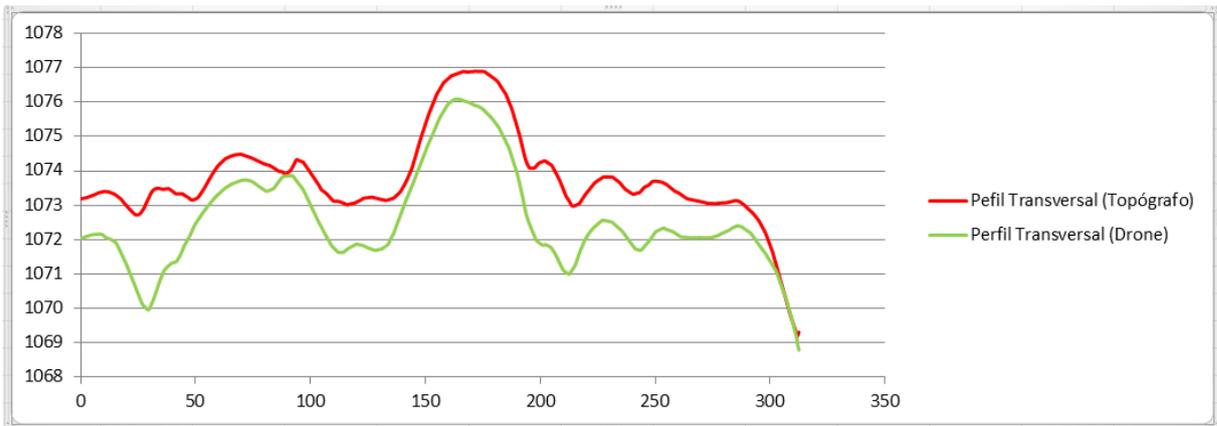
Figura 34 – Sobreposição perfil longitudinal



Fonte: Autor

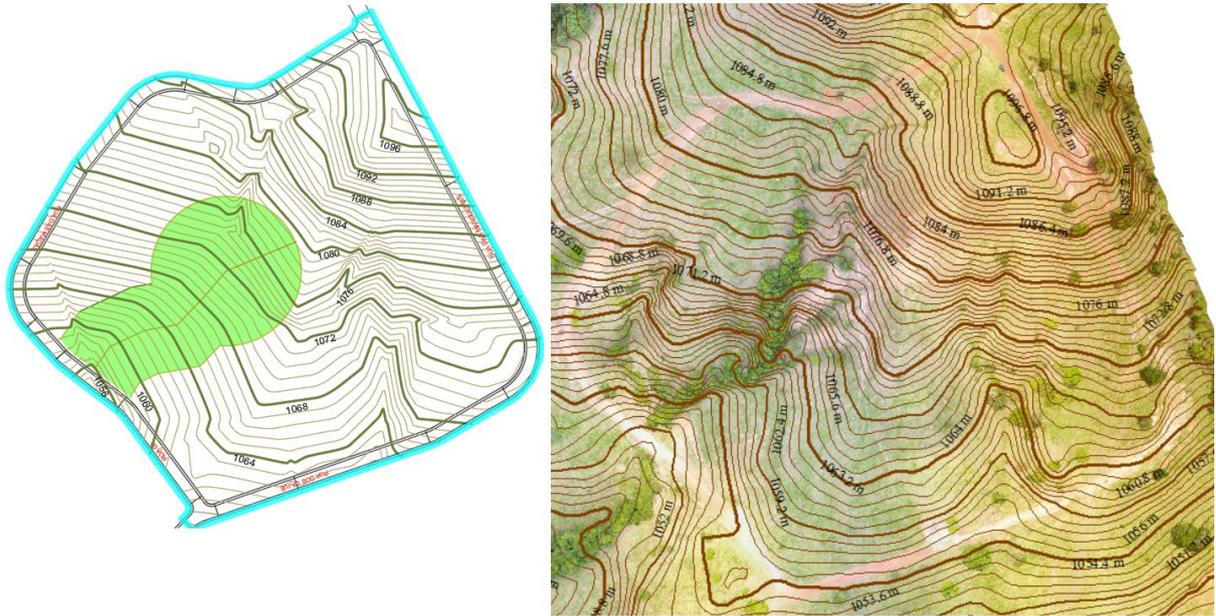
O gráfico presente na Figura 34 representa a sobreposição dos perfis longitudinais dos levantamentos, sendo seu eixo X a distância em metros e seu eixo Y representa a altitude em metros, analisando o gráfico é possível observar pequena variação entre os perfis do terreno, a partir de análise realizada nas cotas que constituem o gráfico presente na Figura 34, foi possível levantar os seguintes dados, a cota média do “Perfil Longitudinal (Topógrafo)” é de 1076,14 m, a variação percentual da curva “Perfil Longitudinal (Topógrafo)” em relação a sua cotá média foi de 0,96%, esta variação foi obtida através da média das variações percentuais de cada cota do gráfico em relação à cota média (1076,14 m), a cota média da curva “Perfil Longitudinal (Drone)” presente no gráfico da Figura 34 possui o valor de 1075,94 m, sendo que a variação percentual da curva “Perfil Longitudinal (Drone)” em relação a sua cota média (1075,94) foi de 1,04%. Em posse destes dados é possível evidenciar que existe uma pequena diferença de 20 centímetros entre as cotas médias dos levantamentos, e devido a grande quantidade de pontos coletados a partir dos sensores e da câmera do VANT a variação percentual do perfil longitudinal resultante do levantamento aerofotogramétrico foi de 1,04%, 0,08% superior à variação resultante do levantamento topográfico convencional.

Figura 35 – Sobreposição perfil transversal



Fonte: Autor

A Figura 35 ilustra de forma gráfica a sobreposição dos perfis transversais dos levantamentos, representando a variação de nível em relação à distância, seu eixo X é constituído pela distância em metros e seu eixo Y pelas cotas do terreno. Análisisando o gráfico presente na Figura 35, foi possível levantar os seguintes dados, a cota média do “Perfil Transversal (Topógrafo)” é de 1073,78 m, a variação percentual da curva “Perfil Longitudinal (Topógrafo)” em relação a sua cota média (1073,78 m) foi de 0,08%, a cota média da curva “Perfil Longitudinal (Drone)” possui o valor de 1072,59 m, sendo que a variação percentual da curva “Perfil Longitudinal (Drone)” em relação a sua cota média (1072,59) foi de 0,10%. As cotas médias dos perfis transversais apresentaram diferença de 1,19 metros, a variação percentual da curva “Perfil Longitudinal (Drone)” se mostrou 0,02% maior que a variação resultante do levantamento convencional, foi possível evidenciar maior diferença em relação às cotas dos levantamentos analisando os perfis transversais, porém, as variações percentuais se mantiveram parelhas, evidenciando que a variação de nível está muito próxima apesar da diferença entre as cotas, necessitando de uma validação em campo com uso do equipamento “GPS RTK” para atestar em qual dos levantamentos as cotas se aproximaram mais da realidade.

Figura 36 - Análise comparativa - Curvas de nível

Fonte: Autor

Após realizar comparação das curvas de nível dos levantamentos, foi possível identificar diferenças no layout das mesmas, além de discrepância considerável entre as cotas médias dos perfis transversais no valor de 1,19 metros, necessitando de validação das cotas com a utilização do equipamento “GPS RTK” que infelizmente não pode ser realizada devido a pandemia do vírus COVID-19 que se iniciou no primeiro bimestre de 2020 e inviabilizou a conclusão desta etapa da pesquisa. Analisando os perfis gerados, nota-se que o produto do levantamento aerofotogramétrico representa um contorno mais detalhado do terreno resultando em variação percentual superior em ambos os perfis, isso ocorre devido à quantidade maior de pontos coletados pelo VANT, que por sua vez é uma das vantagens da utilização da aerofotogrametria. O processo de obtenção das curvas de nível a partir do levantamento convencional com uso da estação total, por ser realizado de forma braçal em campo, conta com menos pontos coletados e conseqüentemente gera curvas de nível menos realistas em comparação com o alto nível de detalhes que é possível obter com o levantamento aerofotogramétrico, que é realizado em um período de tempo extremamente curto e somente necessita do operador do VANT.

5 CONCLUSÃO

A metodologia utilizada neste trabalho teve como principal objetivo, demonstrar a forma automatizada de aquisição de dados através do levantamento aerofotogramétrico por meio de VANTS pilotados remotamente, além da apresentação dos resultados por meio da realização de processamento e da elaboração de levantamento topográfico detalhado da superfície analisada.

Através dos resultados obtidos com o levantamento realizado a 80 m tornou-se possível, utilizando as técnicas de fotogrametria digitalizada, a criação de modelos de terreno detalhados para uma área correspondente a 66.900 m² resultando em levantamento planialtimétrico de acurácia elevada sendo comparado com levantamento realizado por estação total, desta maneira evidenciando, conforme Silva Neto (2015), a usabilidade do VANT DJI Phantom 4 para obtenção de dados a serem empregados em processamentos fotogramétricos, assim como a qualidade dos produtos, relacionados aos métodos convencionais de obtenção de dados.

Dessa maneira, torna-se possível evidenciar a aerofotogrametria com uso de VANTS como instrumento altamente eficaz para levantamentos topográficos em áreas extensas e com pouca vegetação, pois, o mesmo se mostra mais rápido e menos oneroso se comparado aos métodos convencionais de levantamento, resultando em produtos topográficos com precisão centimétrica e elevada acurácia de acordo com os padrões de exatidão cartográfica vigentes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. 1996. Manual of Photogrammetry. ISPR. 1200 p.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. 1980. Manual of Photogrammetry Interpretation. ISPR. 850 p.

ANAC. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94. Regulamento especial para utilização de aeronaves não tripuladas. Diário Oficial, sd. Disponível em: < https://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf/>. Acesso em: 19 novembro 2019.

ANTUNES, A. F. B. (s.d). **Iniciando em Geoprocessamento**. Disponível em: < <https://www3.ufpe.br/latecgeo/images/PDF/g3.pdf>>. Acesso em: 16, set. 2019.

ARIAS, Anderson. **COMO FAZER O PLANEJAMENTO DE VOO PARA GRANDES ÁREAS?** 2017. Disponível em: < <http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voos-para-grandes-areas/>>. Acesso em: 13 out. 2019.

BRASIL. Decreto nº 80.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial, Brasília, DF, 20 jun. 1984. Seção 1, p. 1. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817/>. Acesso em: 15 novembro 2019.

CAMARA, Gilberto. Geoprocessamento para projeto ambientais. INPE.1996

MARBLE, D. Geographical information system: an overview. In: Pecora 9 Conference, Sioux Falls, S. D. Proceedings... Sioux Falls, S. D. V.1, p. 18-24, 1984.

COELHO, L.; BRITO, J. Fotogrametria digital. 2. ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007. 196 p.

CONRADO, Lucas. **DO BETUME AO CCD, A EVOLUÇÃO DAS CAMERAS FOTOGRÁFICAS**. 2012. Disponível em: < <https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/08/do-betume-ao-ccd-evolucao-das-cameras-fotograficas.html>>. Acesso em: 13 out. 2019.

DAP, web. **TECNOLOGIA A SERVIÇO DA ENGENHARIA, TOPOGRAFIA, AGRIMENSURA E SERVIÇOS AMBIENTAIS** 2019. Disponível em: <<https://www.dapweb.org/aero.php>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

DIREITO, Geo. **COMO FUNCIONA E PRA QUE SERVE UMA ESTAÇÃO TOTAL?** 2014. Disponível em: <<http://sstopografia.com.br/como-funciona-e-pra-que-serve-uma-estacao-total/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

FOTO, Focus. **TECNOLOGIA – SENSOR DE IMAGEM.** 2015. Disponível em: <<https://focusfoto.com.br/tecnologia-sensor-de-imagem/>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

FOTOGRAMETRIA com Drone. **ITARC, 2019.** Disponível em: <<https://itarc.org/fotogrametria-com-drone/>>. Acesso em: 02, set. 2019.

HELAVA, U. V. Prospects in digital photogrammetry. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 19-24.

MARTIN, Laurent. **PEC, como aplicar. 2016.** Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/pec-o-que-e-e-como-aplicar-2/>>. Acesso em: 4 out. 2019.

MARTINS, Claudemir. **SENSOR CMOS VS CCD.** 2016. Disponível em: <<httphttps://aprendacftv.com/sensor-cmos-vs-ccd/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.

MARTIN, Laurent. **RESOLUÇÃO, O QUE É EXATAMENTE?** 2016. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/resolucao-o-que-e/>>. Acesso em: 19 out. 2019.

RAMOS, José Augusto Sapienza; **PRATES, Izabela. PEC: 30 anos do Padrão de Exatidão Cartográfica no Brasil. 2014.** Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2014/08/10/30-anos-do-padrao-de-exatidao-cartografica-no-brasil/>>. Acesso em: 10 maio 2020.

SILVA, Daniel. **Evolução da Fotogrametria no Brasil. Revista Brasileira de Geomática. 3. 81.** Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5467./>>. Acesso em: 14 out. 2019.

UFJF (Juiz de Fora). Universidade Federal. **Sensoriamento remoto**: Juiz de Fora, 2011. Color

WOLF, P. R. Surveying and mapping: history, current status and future projections. Páginas 163 a 191 do livro *Perspectives in Civil Engineering: Commemorating the 150th Anniversary of the American Society of Civil Engineers*. Editado por American Society of Civil Engineers, 2003.

ESTAÇÃO TOTAL como funciona?. **LBB ENGENHARIA E TOPOGRAFIA, 2019**. Disponível em: <<http://lbbengenharia.com.br/estacao-total-como-funciona-e-pra-que-serve/>>. Acesso em: 02, mar. 2020.

TECNOLOGIA. Cpe. **VEJA OS TRES TIPOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO**. 2018. Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/veja-os-3-tipos-de-levantamentos-topograficos-para-usar-como-servico/>>. Acesso em: 13, mar. 2020.

BURCH, R. A short history of photogrametry. Estados Unidos: The Institute for Digital Mapping, Ferris State University, 1997.

SHIMABUKURO, Yosio Edemir; PONZONI, Flávio Jorge. *Mistura Espectral: modelo linear e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 127 p.

CMOS Animation Sequence. Direção de Raymond Siri. Nova York: Siri, 2015. (1 min.), Digital, color. Animation to show how CMOS image sensor works.. Disponível em: <<https://vimeo.com/103279734>>. Acesso em: 10 set. 2019.

FERNANDES, Roberto Cid; KANAAN, Antônio; GOMES, Jean Michel. *As ferramentas do Astrônomo: O que medimos, como medimos e o que aprendemos*. Florianópolis: Ufsc, 2009.

MARBLE, D. F. (1984). *Geographic Information Systems and Land Information Systems: differences and similarities. The Decision Maker and Land Information Systems: Papers and Proceedings from the FIG International Symposium, 1984, Edmonton, Alberta, Canada, Canadian Institute of Surveying*.

Rocha, R.S. 2002. Exatidão Cartográfica para cartas digitais urbanas. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC. Florianópolis - SC.

SILVA NETO, Manoel (Ed.). Planejamento de Voo e GSD. 2015. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voos/>>. Acesso em: 15 out. 2019.