

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
MARCOS VINICIUS MOREIRA DE MELO**

**ANÁLISE DO USO DA AEROFOTOGRAMETRIA NO CADASTRO TÉCNICO  
MULTIFINALITÁRIO ADOTANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA  
NO MUNICÍPIO DE PIEDADE DE CARATINGA MG.**

**CARATINGA  
2019**

**MARCOS VINICIUS MOREIRA DE MELO  
INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ANÁLISE DO USO DA AEROFOTOGRAMETRIA NO CADASTRO TÉCNICO  
MULTIFINALITÁRIO ADOTANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA  
NO MUNICÍPIO DE PIEDADE DE CARATINGA MG.**

**Trabalho de conclusão de curso  
submetido a Faculdades DOCTUM de  
Caratinga, como requisito para  
aprovação obtenção de título de  
bacharel em Engenharia Civil, área de  
concentração: Cadastro técnico  
multifinalitário**

**Orientador: Prof. Esp. Sidinei Silva  
Araújo.**

**CARATINGA**

**2019**

**TERMO DE APROVAÇÃO**


O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DO USO DA AEROFOTOGRAMETRIA NO CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO ADOTANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO MUNICÍPIO DE PIEDADE DE CARATINGA MG., elaborado pelo(s) aluno(s) MARCOS VINICIUS MOREIRA DE MELO e foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 10/07/2019

  
\_\_\_\_\_  
SIDINEI SILVA

Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
JOSÉ NELSON

Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
JOSÉ SALVADOR

Prof. Examinador 2

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 Contextualização.....	01
1.2 Objetivo.....	03
1.2.1 Objetivo Geral.....	03
1.2.2 Objetivos Específicos .....	03
1.3 Justificativa.....	04
1.4 Estrutura do trabalho.....	05
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO.....</b>	<b>05</b>
2.1 Cadastro Técnico.....	05
2.1.1 A importância do CTM para a estruturação de um planejamento consistente.....	07
2.2 Sistema de Informação Geográfica.....	10
2.3 Veículo aéreo não tripulado VANT.....	12
2.3.1 Legislação VANT no Brasil.....	13
2.4 Fotointerpretação.....	15
2.4.1 Escala/Tamanho Pixel.....	16
2.4.2 Geometria das fotografias.....	17
2.4.3 Mosaico fotogramétrico.....	21
2.4.4 Ortorectificação.....	23
2.5 Método de obtenção das informações espaciais.....	25
2.5.1 Avanços recente da topografia .....	25
2.5.2 Estação total.....	26
2.5.3 Sistema de navegação global por satélite GNSS.....	27
2.5.3.1 Sistema de posicionamento global GPS .....	28
2.5.3.2 Observáveis GPS .....	29
2.5.3.3 Erros nas observáveis GPS .....	31
2.5.4 Receptor GPS .....	32
2.6 Glonass .....	33
2.7 Controle de qualidade de produtos cartográficos.....	35
2.7.1 Validação da acurácia dos produtos cartográficos.....	36
<b>3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DE PESQUISA .....</b>	<b>38</b>

3.1 Classificação de pesquisa quanto aos fins .....	38
3.1.1 Classificação de pesquisa quanto aos meios .....	39
3.2 Procedimento metodológico.....	40
3.3 Área de estudo .....	40
3.4 Elementos cadastrados .....	41
3.5 Implantação dos pontos de controle .....	42
3.5.1 Referencias altimétricas .....	42
3.6 Levantamento planialtimétrico topográfico .....	43
3.7 Aerolevantamento com VANT .....	44
3.7.1 Determinação e coleta de pontos de apoio em campo.....	44
3.7.2 Características do VANT.....	45
3.7.3 Realização do plano de voo.....	47
3.8 Equipamento utilizados.....	49
3.9 Programas de computador utilizados.....	49
<b>4 ANÁLISE DE PRECISÃO.....</b>	<b>49</b>
4.1 Análise da qualidade geométrica das bases cartográficas.....	53
4.2 Análise da precisão pelo método computacional .....	53
4.2.1 Análise de precisão pelo método de distância .....	54
4.2.2 Síntese das análises de detecção de tendência e precisão.....	55
<b>5 RESOLUÇÃO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>59</b>
6.1 Sobre a qualidade geométrica das cartas cadastrais.....	60
6.2 Quanto as potenciais e restrições de uso dos produtos cartográficos para o cadastro técnico multifinalitário.....	61
6.3 Recomendações.....	62
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BCI	Boletim de Cadastro Imobiliário
CAD	Computer Aided Design
CTM	Cadastro Técnico Multifinalitário
CTMU	Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano
DEM	Digital Elevation Model
EMQ	Erro Médio Quadrático
ENVI	The Environment for Visualizing Images
EP	Erro Padrão
GCPs	Ground Control Points
GPS	Global Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	International Cartographic Association
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
PAN	Pancromático
PC'S	Pontos de Controle Terrestre
PDI	Processamento Digital de Imagens
PEC	Precisão e Exatidão Cartográfica
PI'S	Pontos de Controle Independentes
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RMS	Root Mean Square
RRCM	Rede de Referência Cadastral Municipal
RST	Resampling, Scaling and Translation
SAD-69	South American Datum, 1969
SEM	Sistema de Referência de Medição
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SGB	Serviço Geográfico Brasileiro

SIG	Sistemas de Informações Geográficas
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
UTLO	University of Texas Library Online
UTM	Universal Transverso de Mercator

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Principais distorções geométricas.....	23
Tabela 2 Fontes de erros observáveis.....	31
Tabela 3 Classe aplicação GPS.....	35
Tabela 4 Discrepância entre as amostras.....	50
Tabela 4.1.2 Cálculo de média aritmética.....	51
Tabela 4.1.3 Desvio padrão das discrepâncias.....	51
Tabela 4.1.4 Discrepâncias entre amostras.....	52
Tabela 4.1.5 Valor da média e desvio padrão.....	52
Tabela 4.2 Resultados obtidos resultados T.....	53
Tabela 4.2.1 Resultados das análises e detecção.....	54
Tabela 4.3 Resultado $\chi^2$ calculados.....	54
Tabela 4.4 Resultado $\chi^2$ calculados das distancias .....	55
Tabela 4.5 Síntese das análises de precisão .....	56
Tabela 5 Resumo dos valores do erro médio.....	59





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Relação Geométrica .....	18
Figura 2 Fotografia aérea de acordo com a inclinação.....	18
Figura 3 Relação Geométrica.....	19
Figura 4 Relação Geométrica terreno.....	20
Figura 5 Exemplo sobreposição.....	21
Figura 6 Exemplo de plano de voo.....	23
Figura 7 Geração ortoimagem.....	25
Figura 8 Levantamento topografico.....	25
Figura 9 Modelo diferente estações.....	27
Figura 10 Modelo Recepção de dados.....	29
Figura 11 Distribuição normal.....	37
Figura 12 Detalhamento linhas plano de voo.....	37
Figura 13 a Vista coleta pontos controle.....	42
Figura 13 b Taxa de sobreposição plano de voo.....	42
Figura 14 Cadastramento base GNSS.....	42
Figura 15 a Vista janela programa topograph.....	44
Figura 15 b Levantamento estação total .....	44
Figura 16 a Coleta de pontos .....	45
Figura 16 b Pré Sinalização.....	45
Figura 17 a Quadrimotor VANT .....	46
Figura 17 b Adaptação Eixo DRONE.....	46
Figura 17 c Bussola correção DRONE.....	46
Figura 18 a Janela Programa.....	47
Figura 18 b Resumo dos parâmetros.....	47
Figura 19 Vista programa DJI.....	48
Figura 20 a Vista janela programa.....	48
Figura 20 b Vista janela programa.....	48



## LISTA DE EQUAÇÕES E FORMULAS

<b>Equação 1 Semelhança de triangulo .....</b>	<b>19</b>
<b>Equação 2 Relação Geométrica.....</b>	<b>20</b>
<b>Equação 3 Relação espacial GSD.....</b>	<b>47</b>
<b>Equação 4 Média aritmética.....</b>	<b>50</b>
<b>Equação 4.5.1 Distribuição PEC.....</b>	<b>53</b>
<b>Equação 4.5.2 Erro médio quadrático planimétrica.....</b>	<b>58</b>
<b>Equação 4.5.3 Erro médio quadrático altimetria.....</b>	<b>58</b>

## RESUMO

Cadastro Técnico Multifinalitário, tornou-se indispensáveis para o planejamento, gerenciamento e ordenamento do território urbano. Atualmente, com o advento do VANT e da evolução tecnológica, novos procedimentos de levantamento de dados e representação cartográfica surgiram para facilitar a execução dos métodos já consagrados. A partir do Levantamento Topográfico, por GPS e da Aerofotogrametria, analisar a qualidade geométrica das bases cartográficas, através da realização de testes de detecção de tendências que verificaram a incidência de erros sistemáticos e da análise de precisão a partir da comparação de coordenadas e de medidas entre as feições extraídas dos produtos cartográficos analisados. Os resultados destacam a qualidade obtida nos produtos gerados a partir do levantamento topográfico e da restituição estereofotogramétrica, que obteve a melhor classificação no PEC para a escala 1: 2.000 em todos os métodos analisados. O estudo visa abordar o uso de Veículo aéreo não tripulado em serviços de aerofotogrametria para o cadastro urbano apoiado a procedimentos convencionais, otimizando o processo de levantamento e diminuição no custo dos serviços de cadastro técnico em municípios de pequeno porte.

## **ABSTRACT**

Multifinal Technical Cadastre, became indispensable for the planning, management and urban planning. Nowadays, with the advent of UAV and technological evolution, new data collection procedures and cartographic representation have emerged to facilitate the implementation of the already established methods. From the Topographic Survey, by GPS and Aerophotogrammetry, to analyze the geometric quality of the cartographic bases, by means of tests of detection of trends that verified the incidence of systematic errors and the analysis of precision from the comparison of coordinates and measurements between the features extracted from the analyzed cartographic products. The results highlight the quality obtained in the products generated from the topographical survey and the stereofotogramétrica restitution, which obtained the best classification in the PEC for scale 1: 2000 in all the analyzed methods. The study aims to address the use of unmanned aerial vehicle in aerial photogrammetry services for the urban cadastre supported by conventional procedures, optimizing the process of surveying and reducing the cost of technical registration services in small municipalities



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

O cadastro técnico multifinalitário (CTM) pode ser definido como um sistema de informações territoriais baseado em parcelas, projetado para servir tanto ao órgão público como ao privado, além de atender a um maior número de cidadãos possível (FIGUEIREDO, 2005). O CTM pode fornecer dados dos diferentes segmentos sociais, ou seja, ter multifinalidades, sendo de suma importância para vários níveis de planejamento urbano e ambiental.

A expansão urbana no Brasil, sem planejamento, resultou nos últimos anos em uma grande desordem espacial ocorrendo sérios problemas urbanos, desde a modificação do sistema viário até nas condições de saneamento básico à população. Este desordenamento decorre do desconhecimento territorial, sobretudo, pelos gestores municipais, pela inexistência de bases cartográficas atualizadas do ambiente urbano. Sendo assim, é indispensável que a administração pública procure aperfeiçoar os métodos utilizados para o ordenamento e qualidade de trabalho em diversas áreas da gestão pública do município.

Conforme Antunes (2009), um sistema cadastral atualizado possibilita desenvolver um cadastro técnico multifinalitário como ferramenta de apoio à gestão pública municipal. Este, que por sua vez, permite analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim uma melhor gestão dos recursos, gerando uma melhor condição de vida para toda a população.

Atualmente o uso de geoinformação tanto para o setor público e privado, tornou uns dos parâmetros mais importantes para tomada de decisão em diferentes níveis local, regional e nacional. O volume dessas informações cresce a cada dia graças a avanços tecnológicos importantes como o aumento do uso de Sensoriamento Remoto, Aerofotogrametria, Topografia e de Sistemas de Posicionamento Global (OLIVEIRA, 2014).

Dentre as técnicas desenvolvidas, destaca-se a aerofotogrametria, aplicado na realização do mapeamento cadastral, agricultura, mineração, entre outras como o da Cartografia adotada no Brasil. A Fotogrametria baseia-se no conceito de extração de medidas de objetos a partir de fotografias, sua aplicação no mapeamento da superfície



terrestre utiliza fotografias obtidas tanto por sensores aerotransportados quanto terrestres, e se apoia em diversas outras técnicas de obtenção de informações espaciais.

Assim, a aerofotogrametria, é definida como a ciência e a tecnologia de obter informações seguras acerca de objetos físicos e do meio, através de processos de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas (LOCH, 2014), permitindo obter de forma segura e precisa as informações sobre a existência da ocupação num dado momento, bem como suas formas e medidas.

Com isto, a aerofotogrametria atende para fins de comprovação e delimitações de áreas habitadas, apresentando uma série de vantagens sobre os processos diretos de medição (como por ex. Topografia e Geodésia), tanto para o mapeamento quanto para outras aplicações.

Silva e Costa (2010) apontam algumas aplicações da fotogrametria:

Os principais aspectos de vantagens da aerofotogrametria são relativos a grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis. (pág.212)

Considerando a situação atual dos municípios onde os índices de crescimento em obras de infraestrutura são essenciais e o conhecimento territorial é imprescindível, o planejamento e organização dos serviços tanto públicos quanto privados devem ser elaborados de forma eficiente, exigindo modelos atualizados que representem a superfície terrestre de maneira precisa e atualizada no planejamento e desenvolvimento urbano (LOCH, 2014).

Neste sentido, a utilização da aerofotogrametria, juntamente com outras variáveis, é capaz de gerar dados topográficos com mais detalhes e rapidez comparados aos levantamentos realizados de forma convencional como por exemplo, Estação Total ou GNSS RTK. Em pouco tempo realiza um trabalho que demoraria dias com equipamentos topográficos convencionais.

Sabendo que os municípios de pequeno porte se caracterizam pela falta ou desatualização de informações geográficas, como o uso do cadastro técnico influencia no planejamento urbano e tomada de decisões no desenvolvimento e tomada de decisões de projetos.

Desta forma avaliar o uso da aerofotogrametria no levantamento cadastral, na produtividade, qualidade e obtenção de dados técnicos, comparado a métodos tradicionais de levantamentos, com a geração de produtos cartográficos e cadastro em geral, surgindo indefinições quanto à escolha do método ou métodos mais adequados para cada situação.

Neste sentido, este trabalho propõe a utilização da aerofotogrametria na utilização do cadastro técnico para fins de avaliar a sua precisão, acurácia e volume de obtenção de dados técnicos, comparado a técnicas convencionais de cadastro, tais como o uso de equipamentos de topografia como estação total e receptores GNSS.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Analisar a eficácia da utilização da aerofotogrametria aplicado com uso de equipamento aéreo não tripulado (VANT), utilizando a fotogrametria, sistema de posicionamento global, estação total e diversos conceitos de cartografia, Geodésia e ajustamento de observações como métodos de obtenção de dados espaciais no cadastro técnico multifinalitário.

### **1.2.2 Objetivo específico**

- Identificar vantagens e desvantagens do uso da aerofotogrametria com uso de veículo aéreo não tripulado.
- Analisar qualitativamente e quantitativamente os resultados da vetorização obtida com a finalidade de avaliar a possibilidade de utilização de VANT no cadastro técnico.
- Analisar a precisão e exatidão dos documentos cartográficos gerados e coletados, de acordo com a legislação específica e, a partir da realização de testes de detecção de tendência e de precisão utilizando feições;

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A inexistência de cadastro e mapeamentos confiáveis é a realidade de grande parte dos municípios. E conhecendo espaço territorial municipal e suas características físicas e ambientais é requisito básico para uma boa gestão no planejamento, e tomada nas decisões de projetos e estudos no desenvolvimento do município. Porém suas características físicas e ambientais são desconhecidas, seja pela falta de dados ou material técnico, que representa um grande problema para gestores municipais e privados.

Neste contexto o Sistema de Informação Geográfica (SIG), é uma ferramenta que permitem a organização de informações dispersas, tornando possível construir e manter, de forma programada e sistemática, o mapeamento cadastral do município, tornando-as mais simples de entender, acessar e utilizar as informações cadastrais.

Os métodos tradicionais de levantamentos como a aerofotogrametria e a topografia clássica têm sofrido profundas modificações a partir do aparecimento de novas tecnologias. A aerofotogrametria tem apresentado significativos avanços no uso de equipamentos de Veículo aéreo não tripulado (VANT), a baixa nos valores de aquisição de equipamento e na automatização dos procedimentos, como orientação, aerotriangulação, restituição, geração de modelos digitais de terreno e produção de ortofotos, o que tem significado um aumento de produtividade e conseqüentemente uma redução de custos (SCHENK, 2013).

Por basear em medidas remotas, a Fotogrametria se torna um método rápido para mapeamento, esse método é utilizado em relação a outros que produzem resultados semelhantes. Essa rapidez se torna aliada ao planejamento para a gestão dos estudos é possível ter atualizações contínuas e rapidamente, inclusive com a geração de produtos parciais, mostrando o desenvolvimento de atividades.

Desta forma, o presente trabalho apresenta um aspecto técnico com o emprego de VANT para obtenção de um CTM, com isso a precisão e acurácia dos levantamentos realizados possam ser analisados todos os aspectos que possa servir como base para outros tipos de pesquisa e aprimorar aqueles em desenvolvimento na área de conhecimento, sob o ponto de vista da eficiência, qualidade, rapidez e viabilidade econômica.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, justificativa, objetivos geral e específico

No capítulo primeiro, são expostas as considerações iniciais, bem como o objetivo, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo aborda a fundamentação teórica, apresentando os principais conceitos necessários ao desenvolvimento do projeto, dissertando sobre os temas de Fotogrametria, Geodésia, Controle de Qualidade e Ajustamento de Observações.

A área de estudo e a região de interesse são descritas no capítulo três

No quarto capítulo serão abordados os dados e materiais utilizados no decorrer das atividades, como fotografias, rede geodésica de referência, modelo geoidal, *softwares* e equipamentos.

O quinto capítulo apresenta a metodologia aplicada para o desenvolvimento dos produtos que serão gerados.

No capítulo seis são descritos os resultados, bem como suas análises. Finalmente, as conclusões e recomendações são expostas no sétimo capítulo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são descritos a seguir os conceitos empregados para realização do presente trabalho, buscando o esclarecimento das definições aplicadas e que serviram de base para os procedimentos metodológicos aplicados.

### 2.1 Cadastro Técnico Multifinalitário

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) pode ser entendido como um sistema de banco de dados espaciais que representam a estrutura urbana, constituído por uma componente geométrica e outra descritiva que lhe conferem agilidade e diversidade no fornecimento de dados para atender diferentes funções, inclusive a de planejamento urbano (BLACHUT et al., 1974).

De acordo com Antunes (2007), um sistema cadastral atualizado possibilita desenvolver um Cadastro Técnico Multifinalitário como ferramenta de apoio à gestão pública municipal, permitindo analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim uma melhor gestão dos recursos e desenvolvimento dos diversos processos econômicos, jurídicos e técnicos envolvidos na dinâmica das cidades. Loch (1998) complementa afirmando que, o Cadastro Técnico Multifinalitário é uma área de pesquisa interdisciplinar, que envolve conhecimentos desde as medidas cartográficas até o nível do imóvel, a legislação que rege a ocupação do solo, bem como uma avaliação rigorosa da melhor forma de ocupação deste espaço para se obter o desenvolvimento da área.

A principal característica de um Cadastro Técnico Multifinalitário – CTM é o suporte para o conhecimento do território, através da informatização de um banco de dados públicos sobre as propriedades municipais, permitindo visualização de forma gráfica e organizando-os em um sistema cartográfico preciso e de qualidade, possibilitando o desenvolvimento dos diversos processos econômicos, jurídicos e técnicos envolvidos na dinâmica das cidades.

De acordo Erba (2005) explica.

Com isso pode-se afirmar que o cadastro técnico urbano é composto por duas partes, a primeira são os produtos cartográficos e a segunda é o banco de dados. A cartografia deve ser composta por mapas de escala grande, 1:1.000, 1:2.000 até 1:5.000, visto que a unidade cadastral e o lote ou ainda a parcela urbana. O banco de dados deve ter registrado diversas informações referentes ao lote ou parcela, estas informações devem ser vinculadas ao lote por meio de um código único. Este código servirá também para relacionar a

representação gráfica do lote (na base cartográfica) as informações armazenadas no banco de dados. Vale a pena ressaltar que o lote ou parcela define-se como uma área delimitada (fisicamente ou não) a qual são impostos restrições, direitos e responsabilidades ao proprietário (pág.98).

Para Gripp Júnior et al. (2002), o Cadastro Técnico Multifinalitário de cidades de pequeno porte tem sido realizado por meio de mapas e tabelas impressos em forma analógica. Devido à burocracia ainda predominante em diversos setores no Brasil, principalmente no setor público, os mapas analógicos e fichários ainda são a realidade encontrada nos municípios. A implantação de sistemas digitais de banco de dados, bem como a sua manutenção e atualização apresenta custos relativamente elevados, desta forma causando resistência à modernização por parte dos administradores públicos.

Conforme Gripp Júnior et al. (2002), pode-se destacar, ainda, alguns pontos importantes do CTM:

- a) A qualidade e a confiabilidade da informação refletem-se na melhor definição das políticas públicas municipais, podendo contribuir também para maior eficácia na arrecadação dos tributos municipais, já que a sua maioria se origina da urbanização da propriedade e do solo urbano, sem a necessidade de aumento de alíquota por parte da Prefeitura;
- b) Além das múltiplas finalidades, subsidiando a prestação de serviços públicos, o planejamento municipal e a formulação de políticas setoriais, o Cadastro Técnico acaba por desempenhar um importante papel estratégico: do ponto de vista interno, fornece ao gestor um amplo panorama do Município e da informação pública, insumos valiosos para a tomada de decisão. O CTM poderá se tornar poderoso instrumento de promoção do Município, dando visibilidade às ações e programas de governo, auxiliando-o na busca por financiamento de suas políticas públicas de prestação de serviços. (GARCIA, 2007).

### **2.1.1 A Importância do CTM para a estruturação de um Planejamento Consistente**

O Cadastro Técnico Multifinalitário é criado com objetivo de entrar no mecanismo do planejamento e gestão, sobretudo para gerir, o que significa também conhecer, tornando-se desta forma a base para a análise da cidade. De acordo com

Loch (1998), somente com a execução do Cadastro Técnico Multifinalitário, será promovido um planejamento integrado de uma região.

Loch e Erba (2007) afirma que a gestão territorial precisa obrigatoriamente de um referencial geodésico e cartográfico, a qual permita que todos os demais produtos, progressos e futuros possam ser a ele correlacionados, por exemplo, através de software SIG. Blachut (1974) nos diz ainda que, um dado ou informação sobre um ponto contém pouco significado, se não for posicionado espacialmente na superfície terrestre global da área de interesse da pesquisa, seja um Município, Estado ou País.

Pode-se então concluir que o CTM através do conjunto de informações que o constituem, como a medida das parcelas, os aspectos legais das mesmas, conjuntamente com suas características econômicas, pode fornecer às esferas governamentais dados essenciais ao conhecimento mais preciso de seus territórios, sendo de fundamental importância ao gerenciamento territorial.

Conforme Ministério das cidades (2009) O CTM serve para inúmeros fins, tais como:

- a) Base para a cobrança racional de impostos, com a eliminação de lançamentos em duplicidade, que gera uma expectativa falsa de receita e insatisfação aos munícipes acionados judicialmente;
- b) Qualificação da tributação;
- c) Qualificar e agilizar o atendimento ao munícipe (ex: automação da consulta prévia);
- d) Classificar e visualizar problemas no âmbito da saúde, educação, habitação, assistência social, obras, etc.;
- e) Visualização de documentos e imagens;
- f) Subsidiar com mais eficácia a tomada de decisões;
- g) Acompanhamento dos resultados dos programas sociais e das políticas públicas, em razão da transparência proporcionada pelo cadastro, com possibilidade de ajustes e aprimoramentos de forma rápida;
- h) Criação de uma competência técnica, social e administrativa na forma de funcionários altamente qualificados, motivados e éticos no lidar com a coisa pública municipal;
- i) Reforma agrária e melhoramento do Registro de terras;

- j) Garantir a posse da propriedade;
- k) Identificação da degradação ao meio ambiente e monitoramento das ações de recuperação e dos seus resultados;
- l) Base para projetos de desenvolvimento: construção de estradas, projetos de economia hidrográfica (irrigação, drenagem, plantas hidroelétricas, águas subterrâneas, etc.), planejamento de novos povoados, planejamento para o desenvolvimento urbano, base para a geografia regional, base para planejamento na remodelação das propriedades (para construções, ruas, etc.).
- m) Possibilidade de aplicação dos instrumentos do Estatuto da Cidade e consequente mudança nas ações envolvendo questões fundiárias e de desenvolvimento urbano;

Para completar, Averbek et al (2002), coloca alguns pontos que ficariam prejudicados com a inexistência de um cadastro técnico:

- a) Não se conhece o que existe e onde existe, inclusive no tocante a redes de infra-estrutura pública, chegando-se a extremos de perfurar tubulações de água ou de óleo por simples carência de informação técnica;
- b) A carência dos municípios leva à contratações de projetos baratos, de baixa qualidade técnica e com pouca clareza, possibilitando interpretações dúbias durante a execução das obras, desvios de recursos públicos e geração de dificuldade de acompanhamento da sociedade, até mesmo de auditores de instituições públicas;
- c) Os próprios cadastros sócio-econômicos - ausentes ou deficientes - provocam impossibilidade ou dificuldade de participação e benefício da população carente nos projetos de nível federal, como bolsa-escola, bolsa-gás e outros;
- d) O adensamento urbano ocorre desordenadamente e com baixo índice de registro legal dos imóveis, provocando insegurança jurídica das propriedades, sobrecarga nas varas judiciais e reforço na atividade da economia informal;



- e) O meio ambiente é fortemente afetado pela ação do Homem e pela ocupação desordenada, com prejuízos de mananciais de água, margens de rios, áreas de inundação e de amortecimento de picos de cheias, encostas íngremes, áreas de vegetação de preservação, dunas e mangues etc.;
- f) Em consequência o meio ambiente reage às ações do Homem, causando maiores prejuízos à população carente, a exemplo de inundações, deslizamentos, contaminações de mananciais, proliferação de doenças transmissíveis por meio hídrico etc.
- g) A tributação imobiliária traz grave conteúdo de injustiças, devido aos valores desajustados, além de não abranger grande parte dos imóveis e não permitir o exercício de uma política tributária;
- h) Desenvolve-se na sociedade o sentimento de que burlar o poder público é interessante (sonegação) e não traz riscos (impunidade);
- i) O planejamento urbano e a gestão participativa ficam fragilizados pela ausência de instrumentos básicos – cadastro e planta de valores atualizados – gerando desinteresse e reduzidos resultados práticos;
- j) O exercício da cidadania, já afetado pelo modelo concentrador de renda e de exclusão social, nos diferentes níveis, fica ainda mais prejudicado.

A falta de instrumentalizar tem causado grandes problemas nos sistemas de publicidade territorial no Brasil. Geram comumente, as sobreposições de títulos de propriedade, conflitos de limites e dificuldade de inserção das propriedades e amarração com malha urbana (ROSENFELDT, 2012).

## **2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais que são usados para armazenar e manipular informações geográficas a partir de um banco único de dados que possibilita a manipulação de diferentes informações armazenadas (ARONOFF, 1989).

O SIG encontra presente em várias áreas do conhecimento, pois boa parte dos

dados coletados para determinado projeto tem alguma relação com o espaço geográfico. Exemplos do uso desta tecnologia estão em estudos relativos às engenharias, gestão de recursos hídricos, agricultura de precisão, planejamento urbano, Geomarketing etc.

De modo simplificado podemos dividir a operacionalização do sistema em cinco elementos básicos: recursos computacionais, dados de entrada, recursos humanos, informações úteis e tomada de decisão (THERIAULT,2002).

Segundo Davis e Zuppo (2002):

O verdadeiro ganho no uso da tecnologia de geoprocessamento está na sistematização das informações, tornando-as mais simples de entender, acessar e utilizar. Este ganho pode ser integralmente capitalizado pelo governo municipal, diretamente como incremento de arrecadação, ou indiretamente sob a forma de incremento na qualidade de seus serviços ou de aumento da produtividade de suas equipes. O bom administrador público sabe, melhor que ninguém, o valor da informação correta, confiável, atualizada, disponível com agilidade, apresentada de forma conveniente, no momento da tomada da decisão. Mas precisa tomar conhecimento, também, que não existem soluções mágicas para isto. Boas bases de informação, apoiadas ou não em um Sistema de Informações Geográficas – SIG são trabalhosas, tanto na coleta quanto na manutenção de informações. É necessário, portanto, investir em informações, e ter determinação política (...).(pág 78,79)

Conforme o Exército Brasileiro EB (2014) O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é indispensável para os usuários que trabalham na produção de dados geoespaciais. Em geral, o usuário técnico produz os dados geoespaciais básicos, enquanto o usuário operativo especializado produz os dados geoespaciais temáticos, a partir de análises baseadas nos dados básicos.

O SIG é uma ferramenta computacional utilizada para análise, manipulação, produção, consultas, visualização e arquivamento de dados geoespaciais vetoriais e seus atributos. Os SIG também possibilitam a manipulação de dados geoespaciais matriciais, porém com recursos computacionais mais limitados (LOCH,2007).

Um SIG pode, ainda, ser definido como um sistema provido de quatro grupos de aptidões para manusear dados georreferenciados: entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída. Os dados são georreferenciados quando estes possuem basicamente duas características: dimensão física e localização espacial, (Aronoff 1989).

Em resumo, as principais características de SIG's são:

- a) Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- b) Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados.
- c) Consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Os dados tratados em SIG's incluem: imagens de satélite, modelos numéricos de terreno, mapas temáticos, redes e dados tabulares. As características básicas é ter a capacidade de tratar relações espaciais entre objetos geográficos. Essa estrutura de relacionamentos espaciais que se pode estabelecer entre objetos geográficos, dentro da estrutura polivalente que caracteriza o cadastro (GARCIA 2007).

### **2.3 Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**

Para Einsebeiss (2009), os VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi-autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto, usando um controle remoto. Comparando os VANTs com uma aeronave tripulada, a principal diferença é que nos VANTs o piloto não está presente fisicamente na aeronave.

De acordo com o Departamento Norte Americano (DOD, 2005):

Veículo aéreo motorizado que não transportam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar de forma autônoma ou ser pilotado remotamente, podem ser dispensáveis ou recuperáveis, e podem transportar carga bélicas ou não bélicas. Veículos balísticos ou não balísticos como mísseis de cruzeiro e projéteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados (pág 29).

Bhardwaj et al. (2016) define os VANTs como um sistema composto por um segmento terrestre que controla remotamente o voo e por um segmento aéreo que consiste em um veículo aéreo não tripulado com sensores remotos para captura de

dados de alta resolução do terreno, permitindo ainda a possibilidade de aplicações fotogramétricas dos dados adquiridos.

O termo VANT é uma abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, nomenclatura em português correspondente à terminologia em inglês UAV - Unmanned Aerial Vehicle, adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (Department of Defense – DOD). Outras expressões podem ser encontradas na literatura, como Remotely Operated Aircraft – ROA (Aeronave Operada Remotamente), Remote Piloted Device – RPV (Veículo Pilotado Remotamente), Airborne Remotely Operated Device – AROD (Dispositivo Aéreo Remotamente Operado).

Nota-se que na bibliografia internacional adota-se a terminologia UAV. No Brasil, o termo VANT vem sendo o mais difundido e utilizado. Outra terminologia muito usada é “Drone” (em português: zangão, zumbido), termo informal e genérico para se referir a todo e qualquer objeto voador não tripulado, ou seja, que não tem amparo técnico ou legislativo. O termo VANT por outro lado, tem respaldo na legislação brasileira, que segundo a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2012) é definido da seguinte forma:

VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado): Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos (ANAC, 2012).

De acordo com a ANAC, o VANT é um tipo de aeromodelo, porém utilizado para outros fins. O aeromodelo difere do VANT pois tem como objetivo práticas de atividades recreativas ou de competição.

### **2.3.1 Legislação do VANT no Brasil**

O Brasil ainda não possui uma legislação oficial para o uso de VANT. O assunto encontra-se em análise pela Seção de Planejamento de Operações Militares do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e pela Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, na sigla em inglês) – agência ligada à Organização das Nações Unidas (ONU) que estabelece princípios de navegação

aérea internacional.

Atualmente, a regulamentação (em estudo na ANAC) para a operação de tais equipamentos é dada pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40/2015.

Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de VANT (DECEA, 2015a). Segundo a ANAC (2015a), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações dos VANT não autônomos (também considerado como Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAS), garantindo que haja segurança para as pessoas. Para tal, as regras que serão estabelecidas estão de acordo com o nível de complexidade e o risco envolvido nas operações (LINHARES, 2016).

Quando for publicado o Regulamento Brasileiro da Aviação Especial nº 94 (RBAC- E nº 94), intitulado nos “Requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados e aeromodelos”, proposta de regulamentação da ANAC, este será imposto aos usuários de VANT com a seguinte classificação e regras (LINHARES, 2016):

- **VANT Classe 1** (peso maior que 150 kg) – necessita de certificação pela ANAC; do registro no RAB (Registro Aeronáutico Brasileiro); pilotos necessitam de CMA (Certificado Médico Aeronáutico), licença e habilitação; e os voos necessitam de autorização e registro;
- **VANT Classe 2** (maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg) – não há necessidade de certificação pela ANAC; no entanto, o fabricante precisa observar os requisitos técnicos exigidos e ter o projeto aprovado pela agência registro no RAB (Registro Aeronáutico Brasileiro); pilotos necessitam de CMA (Certificado Médico Aeronáutico), licença e habilitação; e os voos necessitam de autorização e registro;
- **VANT Classe 3** (peso menor ou igual a 25 kg) – só podem voar até 400 pés (aproximadamente 120 m) do nível do solo, salvo se requerida licença para tal; em áreas urbanas ou aglomerados rurais, a distância máxima passa a ser de somente 200 pés (aproximadamente 60 m); necessitam apenas de cadastros (informações sobre o operador e o equipamento) junto a ANAC; não precisa de CMA ou registro para os voos; tem de ser operados com pelo menos 30 m de distância de uma

pessoa (salvo pessoas que concordem expressamente com a operação e/ou estão participando da mesma).

Em se tratando de regras gerais, válidas para todas as categorias de VANT, tem-se que:

- Idade mínima para uso (18 anos);
- Necessidade de um seguro para danos a terceiros;
- Atividades ilícitas ou ainda de invasão de privacidade serão tratadas pelas autoridades de segurança pública competentes;

A proposta da ANAC envolve ainda algumas regras a respeito dos aeromodelos, que não são considerados como VANT. Os aeromodelos são destinados para atividades de lazer; além do que, não necessitam de autorização da ANAC, e não possuem idade mínima para operação. A única regra que deve ser respeitada é não operar tais equipamentos em uma distância menor que 30 m de uma pessoa, a menos que haja anuência da mesma. Regra também aplicada a utilização do VANT (LINHARES, 2016).

## **2.4 Fotogrametria**

Wolf e Dewitt (2004) define o termo fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

Atualmente a técnica da aerofotogrametria é a mais utilizada para o mapeamento de áreas com grande dimensão, principalmente no mapeamento sistemático. Isso ocorre principalmente em razão de apresentar produtos precisos a custos relativamente baixos. (RIBEIRO, 2005).

Para Loch e Erba (2007):

A Fotogrametria pode ser definida como a ciência, arte e tecnologia de se obter informações confiáveis a partir de fotogramas aéreos ou terrestres.

Divide-se em duas áreas de especialização: métrica e interpretativa. A Fotogrametria métrica tem grande importância para a área de mensuração, pois permite a determinação de distâncias, elevações, volumes, etc., além de contribuir para a elaboração de documentos cartográficos, com as medidas realizadas nos fotogramas. A fotogrametria interpretativa tem por objetivo proporcionar o reconhecimento de alguns padrões de objetos (formas, comprimentos, tonalidades, texturas, etc.) baseados em imagens fotográficas. (pág.77)

Loch e Lapolli (2004) destacam as vantagens da fotogrametria em tempo e economia, comparando, a título de exemplo, as vantagens da aerotriangulação com a triangulação topográfica, onde deve ser levada em conta a equipe de trabalho, condições climáticas de acesso aos vértices para a triangulação, etc., fatos estes que não afetam a interpretação de fotos aéreas. A questão do baixo custo e tempo também é defendida por Hallert (1960).

Loch (2009) explica que com a fotointerpretação podem ser identificadas não só as construções, mas também o tipo de cidade, região de expansão e demais problemas de cada bairro, além de construções clandestinas ou diferentes das aprovadas. Em um imóvel rural, por exemplo, o mesmo autor informa que é possível analisar, dentre outros, a forma do terreno, o acesso a uma estrada, o cultivo da propriedade, etc... Os limites das propriedades rurais, como por exemplo, as cercas divisórias, são facilmente identificadas nas fotografias aéreas.

Entretanto, para uma melhor eficácia da aerofotogrametria, há que ser escolhida uma adequada escala do voo que atenda aos objetivos propostos, efetuando as devidas correções das aerofotos obtidas para geração das ortofotocartas, associadas à correta fotointerpretação e restituição, preferencialmente, inseridas em um bom Sistema de Informação Geográfica – SIG.

#### **2.4.1 Escala/tamanho do pixel**

Relativamente à escala da fotografia aérea, Temba (2000) descreve:

A escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal da câmera e altura de vôo da aeronave. Entende-se ainda que quando a distância focal aumenta a escala das fotografias, torna-se maior do que

outrora. Logo, para qualquer altura de vôo, as câmaras com lentes de distância focal longas podem produzir fotografias de escala maior do que as de distância focal curta. Se uma fotografia for reduzida ou ampliada, a distância focal será também mudada em proporção direta com o valor da ampliação ou redução. (pág 51)

Andrade (2003) explica que a escala das aerofotos limita a precisão do produto, bem como interfere na questão econômica, razão pela qual há de se ter equilíbrio entre a precisão e a economia, efetuando-se o cálculo que levará em conta o desvio padrão do terreno. Definida a escala, calcula-se a altura do voo conforme figura 1.

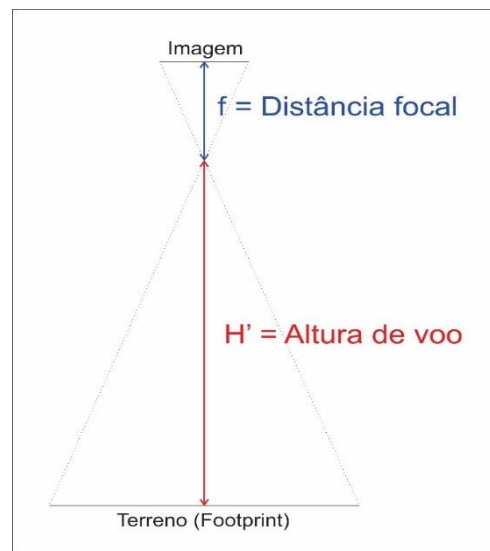


Figura 1. Relação geométrica entre a distância focal e altura de voo (Fonte REISS, 2008).

Há uma variedade de escalas disponíveis para medições fotográficas, dessa forma a escolha dos instrumentos de medição irá depender da precisão necessária para o problema em questão (WOLF, 2004). Fundamental, portanto, a correta escolha da escala levando em conta a exata finalidade do levantamento.

#### 2.4.2 Geometria das fotografias

Ao tomar a fotografia de um objeto qualquer, esta pode ser classificada de acordo com a sua geometria (WOLF, 2004):

- fotografia vertical: é tomada quando o eixo ótico da câmara se encontra na vertical ou aproximadamente na vertical. Normalmente uma fotografia vertical é tomada com o eixo ótico ligeiramente inclinado; refere-se a



esta foto como inclinada. Esta inclinação acidental do eixo ótico deve ser menor que três graus;

- fotografia baixa-oblíqua: é tomada com o eixo ótico inclinado, mas não o suficiente para mostrar o horizonte;
- fotografia alta-oblíqua: é uma foto tomada com o eixo ótico suficientemente inclinado para mostrar o horizonte terrestre.

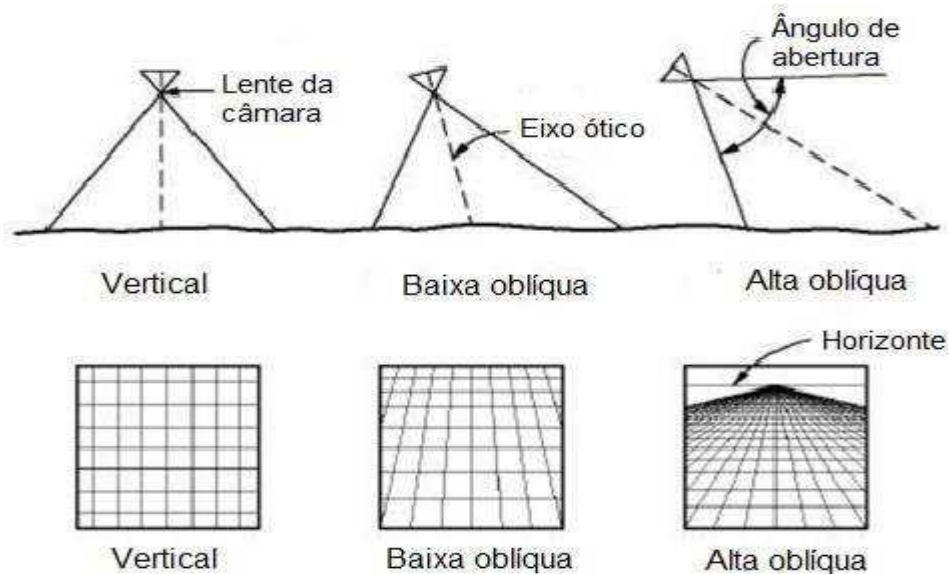


Figura 2. Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor. Fonte: Adaptado de Wolf (2004).

As fotografias oblíquas, apesar de haver uma limitação geométrica que dificulta seu uso para o mapeamento, são úteis por representarem uma área extensa e pelo realce do relevo fotografado, que são itens importantes para o reconhecimento do terreno. As fotografias convergentes, segundo Ruy (2008), têm maior utilização na Fotogrametria terrestre, dada a difícil adequação para obtenção das fotografias por sensores aerotransportados.

Quando a foto é vertical, pode-se, através de uma relação geométrica (Figura 3), determinar uma relação entre a fotografia e a cena fotografada (objeto).

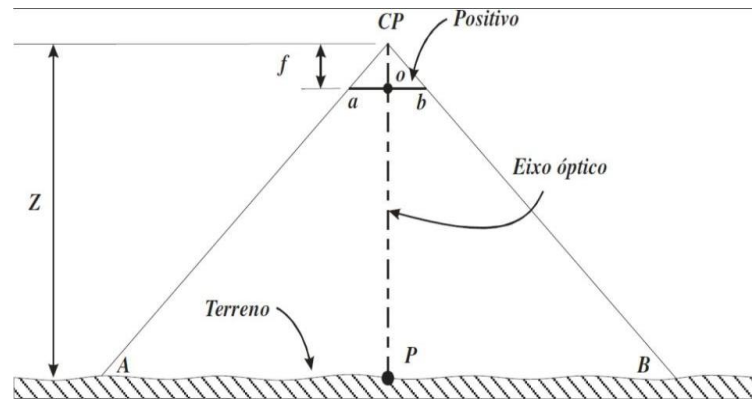


Figura 3. Relação geométrica entre a foto e a cena (Fonte REISS, 2008).

Onde os parâmetros envolvidos nessa relação são apresentados a seguir:

$f$  é a distância focal, obtido nas propriedades da imagem;

$AB$  é a distância conhecida no terreno;

$ab$  é a distância medida na imagem;

$Z$  é a distância câmara-objeto (altura de vôo).

Desta forma, por semelhança de triângulos,  $f$  está para  $Z$  assim como  $ab$  está para  $AB$ , ou seja,

$$\frac{f}{Z} = \frac{ab}{AB} \quad (1)$$

Assim, qualquer medida na fotografia pode ser relacionada com a cena. Entretanto as medidas realizadas na foto e na cena possuem diferentes sistemas de coordenada. Os parâmetros apresentados estabelecem a relação entre os dois sistemas (foto e objeto).

No exemplo anterior se considera que a superfície da cena é plana. Quando esta é irregular (Figura 4), utiliza-se a seguinte expressão:

$$\frac{f}{H-h_{AB}} = \frac{ab}{AB}$$

(2)

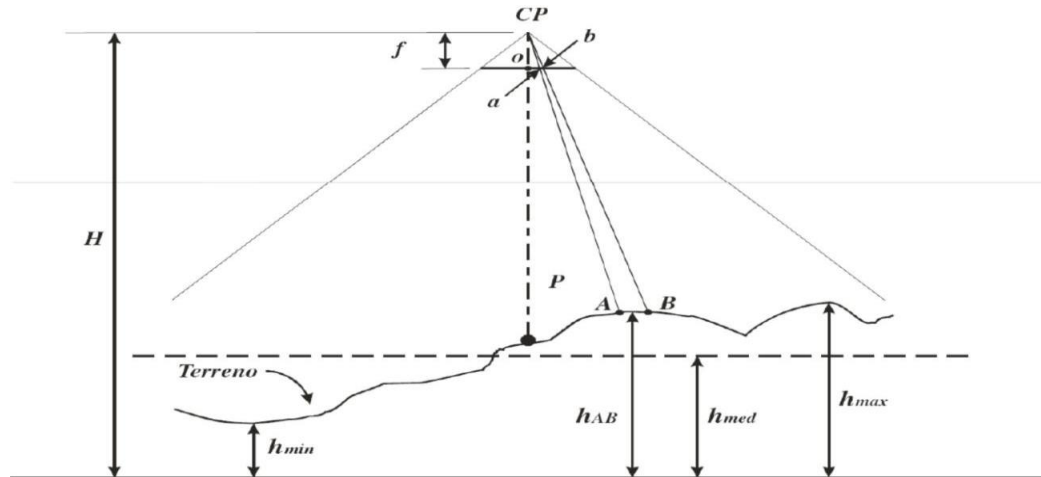


Figura 4. Relação geométrica entre a foto e a cena quando o terreno é irregular (Fonte REISS, 2008).

Onde,

$H$  é a altitude de câmara no momento da tomada da fotografia;

$h_{AB}$  é a média da altitude dos pontos A e B.

Os procedimentos apresentados se referem a apenas uma fotografia, no entanto, quando se tem duas ou mais fotografias de uma mesma feição ou objeto, tiradas de diferentes posições, pode-se gerar modelos tridimensionais destes, além de extrair suas medidas.

### 2.4.3 Mosaicos Fotogramétricos

A montagem das fotografias gerando um mosaico é realizada muitas vezes para se formar uma vista ampla da área fotografada. Esse procedimento causa a impressão de continuidade entre as fotografias, podendo se entender como uma única fotografia formada por todas as outras.

Para compreensão da montagem dos mosaicos é necessário entender as sobreposições que acontecem em um recobrimento aéreo. Segundo Brito e Coelho Filho (2007), tal efeito permite que haja maior operacionalidade das fotografias

obtidas, apesar de a quantidade de fotografias ser maior. As sobreposições podem ser de dois tipos: lateral e longitudinal. A lateral acontece entre as faixas do bloco, e seu valor na maioria dos casos é de aproximadamente 30%. A sobreposição longitudinal ocorre entre as fotografias e é normalmente superior a 60%. A Figura 5 apresenta um exemplo de fotografias com sobreposição lateral e longitudinal.

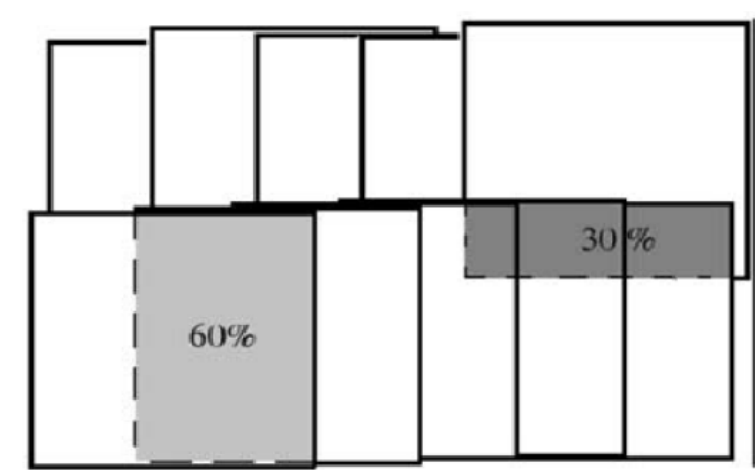


Figura 5. Exemplo de sobreposições lateral e longitudinal (Fonte BRITO; COELHO FILHO, 2007).

Segundo Wolf (2004) os mosaicos podem ser classificados de acordo com o processo de produção e com o nível de controle, sendo dessa maneira: controlados, semi-controlados e não-controlados.

Os mosaicos controlados são preparados a partir de fotografias retificadas na mesma escala. Para tanto, são usados pontos de controle, que são impressos em uma folha base sobre a qual são ajustadas as fotografias retificadas. Segundo Andrade (2008), retificar uma imagem consiste em modificar os ângulos referentes à atitude da câmera, bem como a distância focal, resultando em projetá-la, segundo seu feixe perspectivo, para um plano horizontal. Em fotografias aéreas esse processo é interessante para transformar as imagens, tornando-as perfeitamente verticais.

Segundo Meneses (2007), a diferença entre retificação e ortorretificação está no fato de que a segunda também elimina as distorções causadas pelo relevo da área fotografada, visto que há transformação da perspectiva cônica para a ortogonal.

Mosaicos não-controlados são preparados pela justaposição das fotografias, simplesmente pela observação de seus detalhes, e dessa maneira esse é um método rápido para a elaboração de mosaicos que não necessitam de grande precisão.

Já os mosaicos semi-controlados combinam características dos mosaicos controlados e não-controlados. É possível gerar esses produtos a partir de fotografias

aéreas não retificadas e pontos de controle ou através de fotografias retificadas, porém sem os pontos de controle. Esse tipo de mosaico é uma alternativa quando há a necessidade de economia e precisão.

Outro tipo de mosaico bastante utilizado é o fotoíndice, que é um mosaico não-controlado especial, onde se apresentam identificações referentes a cada fotografia que compõem o bloco. É possível, para uma ilustração melhor, que seja inserida a toponímia das principais feições da área fotografada.

A Figura 6 apresenta um plano de voo com sobreposição longitudinal em relação a cobertura da imagem para elaboração do mosaico e plano de controle.

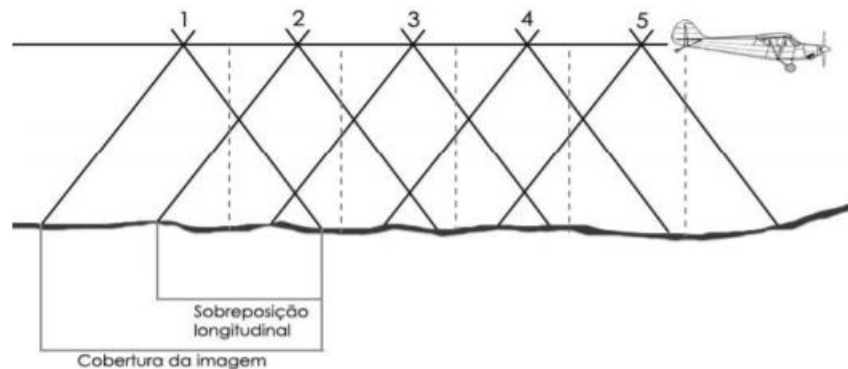


Figura 6. Exemplo de voo para controle do levantamento (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

#### 2.4.4 Ortorretificação

Com o avanço tecnológico possibilita a fotogrametria para geração direta de mapas topográficos, quando essas são devidamente tratadas (ortorretificadas). De acordo com Lima et al. (2010) as fotografias originais, não podem substituir mapas topográficos de maneira ideal, devido representar uma realidade de projeção cônica central, enquanto que o mapa topográfico é gerado em projeção ortogonal à superfície mapeada.

Gripp Jr. (2009) define correção geométrica como sendo a correção das distorções da imagem, o termo georreferenciamento quando é atribuído algum sistema de coordenadas à imagem e trata o conceito de ortorretificação relacionado às correções geométricas do sensor, assim como os efeitos do relevo na imagem. De acordo com a Tabela 4, verificam-se principais distorções geométricas no processo de aquisição de imagens.

Tabela 1 – Principais distorções geométricas no processo de aquisição de imagens.

<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Descrição da fonte de erros</b>
Observador/Sistema de Aquisição	Plataforma	Variação do movimento
		Variação da Altitude da plataforma
	Sensor	Variação mecânica do sensor
		Ângulo de visada
		IFOV/EIFOV
Instrumento de Medição	Variação na medida do tempo	
Observado	Atmosfera	Refração e Turbulência
	Terra	Efeitos de curvatura, rotação e relevo
	Mapa ou Carta	Superfície física da terra para elipsóide e do elipsóide para o plano cartográfico

*Fonte. Adaptado de Toutin, 2007.*

O princípio da produção de ortofotos consiste no processo de transformação da projeção central na imagem em projeção ortogonal ao plano, assim, as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições. Essa tarefa exige o conhecimento da inclinação, posição e distorção da câmera aérea no instante da tomada das fotografias além de informações do terreno obtidas através de um modelo digital (ANDRADE, 2008).

O processo de ortorretificação, transforma a visada cônica do sensor em imagens com perspectiva ortogonal e escala uniforme corrigida do deslocamento devido ao relevo e à inclinação da câmera, pode originar produtos utilizáveis cartograficamente, permitindo medições confiáveis de ângulos e distâncias (TAMAMARU et al., 2004).

Segundo Gripp Jr. (2009) uma imagem encontrara ortorretificada, se forem realizadas as correções relacionadas ao relevo, e os elementos que são visualizados sobre esta imagem, encontrarem segundo linhas de visadas perpendiculares ao plano da mesma. Segundo o autor, no processo de ortorretificação primeiramente é realizado um ajustamento de observações a partir das coordenadas da imagem e das coordenadas dos pontos de controle terrestre. Após a realização do ajustamento de observações, onde são obtidos os parâmetros de transformações, passa-se para a próxima etapa, onde cada pixel é extraído do MDE á correspondente altitude, e efetuado o cálculo matemático da posição corrigida do pixel, como ilustrado na Figura 7. Em seguida procede-se uma interpolação para os valores de cinza dos pixels fazendo uso de algum método de reamostragem, gerando a matriz da ortoimagem.

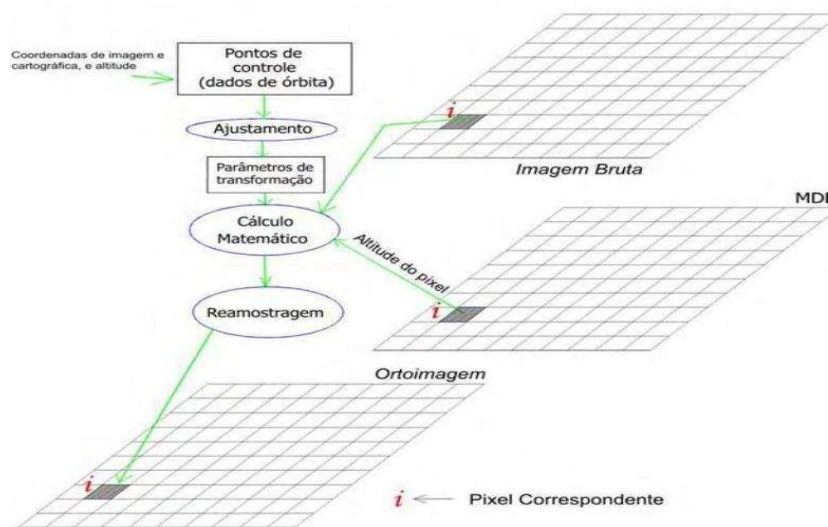


Figura 7- Geração de ortoimagem a partir de pontos de controle e MDE. (Fonte: Gripp Jr. 2009).

Segundo Pereira e Tamamaru (2013) no processamento de imagens VANT utiliza-se de técnicas automáticas implementadas em softwares baseados em algoritmos SfM (Structure from Motion Procedures, da sigla em inglês) que possibilitam a segmentação de pontos chave em imagens tomadas pelas câmeras, em angulações distintas. Tais pontos são então representados nos planos X, Y e Z. Posteriormente são gerados automaticamente o mosaico georreferenciado e ortorretificado.

A principal diferença em relação à fotogrametria convencional consiste na capacidade de resolver automaticamente a geometria da cena, os parâmetros da orientação interior (OI) e orientação exterior (OE) das imagens. Estes são resolvidas simultaneamente através de um procedimento iterativo altamente redundante de ajuste fundamentado em uma base de dados extraída automaticamente de um conjunto de imagens sobrepostas. Este método apresenta melhor funcionamento em um conjunto de imagens com grandes áreas de sobreposição (WESTOBY et al. 2012).

## 2.5 Métodos de obtenção das informações espaciais

O estudo está inserido na parte cartográfica do Cadastro técnico enfocando os métodos de obtenção das informações espaciais para o cadastro básico e para o cadastro dos suplementos multifinalitários.

A obtenção de dado espacial georeferenciado para construir ou atualizar plantas básicas cadastrais pode ser realizada a partir da transformação de dados já existentes ou a partir da fonte primária, ou seja, adquiridos no ambiente através de métodos indiretos (sensoriamento remoto) ou de métodos diretos (Geodésia); (CARNEIRO 2003).

Conforme Tavares (2008) os métodos de obtenção de dados de campo, ou seja, da fonte primária, dos quais estudamos a topografia (estação total) e o sistema de posicionamento global (GPS) como método direto e a fotogrametria digital e o sensoriamento remoto como métodos indiretos.

### **2.5.1 Avanços Recentes da Topografia**

Apoiados no desenvolvimento eletrônico e da computação nas últimas décadas, surgem equipamentos eletrônicos aprimorados, proporcionando um grande avanço nas tecnologias de obtenção e processamento dos dados de campo (TAVARES, 2008). O aparecimento das estações totais e do sistema de posicionamento global (GPS) é considerado como um marco extremamente significativo em toda a história da topografia. O aparecimento desses equipamentos aliados à automação de cálculos e desenhos fundamentam o conceito de “Topografia Digital” permitindo que todas as etapas necessárias à elaboração de uma carta topográfica sejam efetuadas utilizando softwares que aumenta a produção e qualidade do serviço (VEIGA, 2003).

### **2.5.2 Estação Total**

Uma estação total (total station) combina três componentes básicos: um MED, um teodolito eletrônico e um microprocessador, formando um equipamento único (WOLF & BRINKER, 2004). As estações totais medem automaticamente ângulos horizontais, verticais, distâncias inclinadas e calcular instantaneamente as distâncias horizontais e verticais apresentando os resultados em um visor de cristal líquido. Os dados podem ser armazenados em dispositivos do próprio equipamento ou em coletores de dados externos (RIBEIRO, 2002).



VEIGA (2003), relaciona a função de levantamento com estações totais, que permitem ao usuário realizar o levantamento de determinadas áreas conforme figura 8 apresentando um método de coleta de pontos.

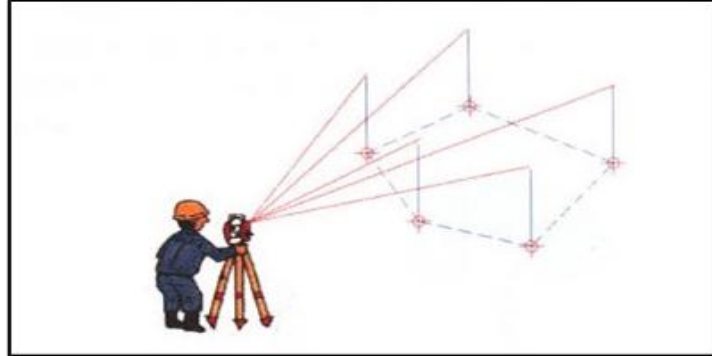


Figura 8- Levantamento topográfico (Fonte Veiga, 2003).

Existem no mercado estações totais "robóticas" equipadas com servo- motores, possuindo funções de reconhecimento e busca automática de prismas o que possibilita a realização da pontaria sem a intervenção do operador, estes instrumentos podem ser operados remotamente possibilitando a realização de levantamentos com apenas uma pessoa.

A figura 9 apresenta algumas das estações totais existentes no mercado

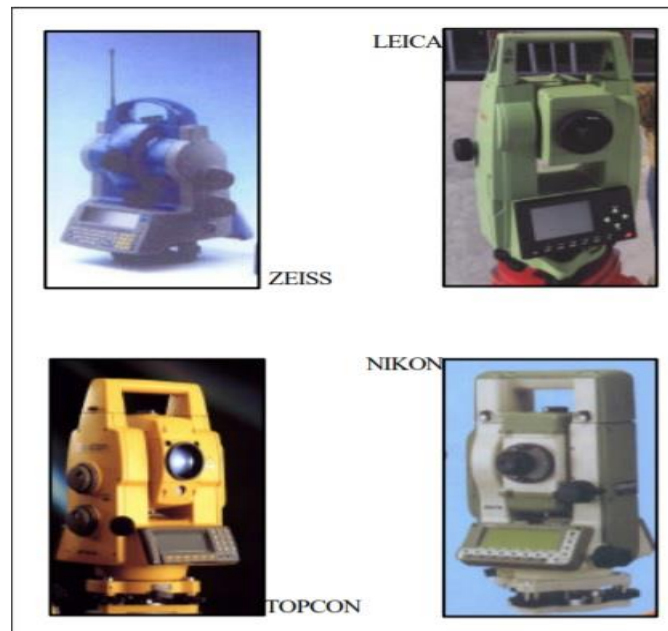


Figura 9 - Modelos diferentes de estações totais no mercado (Fonte Ribeiro, 2002).

### 2.5.3 Sistema de Navegação Global por Satélite GNSS

Saber sua exata localização e como se deslocar de um lugar ao outro sem errar o caminho de volta sempre foi um dos desafios do ser humano. Antigamente os astros eram muito usados como referenciais de navegação, entretanto as posições obtidas eram sempre aproximadas. Com o advento da eletrônica alguns sistemas de posicionamento foram desenvolvidos como o *Long-Range Navigation System* (Loran), o *Low frequency continuous wave phase comparison navigation* (Decca) e o *Global low frequency navigation system* (Omega). Esses sistemas utilizam ondas de rádio, entretanto possuem algumas limitações de operação, como a não cobertura global.

De forma a melhorar a navegação e o posicionamento global, surgiram os sistemas baseados no uso de satélites artificiais, o primeiro dele foi o *Navy Navigation Satellite System* (NNSS), mais conhecido como Transit, cujas medidas eram baseadas no efeito Doppler (Seeber, 1993). Nesse sistema, as órbitas dos satélites eram muito baixas e não havia quantidade elevada destes equipamentos. Como consequência, não se tinha como obter posições com muita frequência. Mesmo assim, o NNSS foi muito utilizado em posicionamento geodésico. Entretanto, faltava uma solução que oferecesse boa precisão, facilidade de uso e custos acessíveis para os usuários (MONICO, 2008).

Assim, na década de 1970 nos Estados Unidos da América (EUA), surgiu uma solução para este problema: o *Global Positioning System* (NAVSTAR-GPS). Paralelamente, a antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) apresentava um sistema similar, o *Global Orbiting Navigation Satellite System* (GLONASS). No fim da década de 1990 a Agência Espacial Européia propôs o desenvolvimento do Galileo, que atualmente encontra-se em fase de testes. Outros países também estão desenvolvendo seus próprios sistemas de navegação por satélites artificiais, é o caso da China e Índia. Dessa forma, adotou-se um termo genérico para se referir a todos sistemas de navegação por satélite, denominado *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS).

#### 2.5.3.1 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL GPS

O GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de

Defesa dos EUA visando ser o principal sistema de navegação das Forças Armadas norte-americanas. Esse sistema resultou da fusão de dois programas financiados pelo governo norte-americano para desenvolver um sistema de navegação de abrangência global (LEICK, 1994). Devido a alta acurácia obtida por este sistema surgiu uma grande comunidade usuária dos mais variados segmentos da comunidade civil.

O GPS é dividido em 3 segmentos (MONICO, 2008):

- espacial – segmento que está associado à constelação dos satélites e seus sinais;
- de controle – monitora e faz a manutenção do sistema e;
- de usuários – é o segmento destinado aos usuários em geral e está em constante ampliação.

O sistema proporciona dois tipos de serviços de posicionamento: *Standard Positioning Service* (SPS – Serviço de Posicionamento Padrão) o qual é disponível a todos os usuários, fornecendo uma precisão horizontal de aproximadamente 100m e; *Precise Positioning Service* (PPS – Serviço de Posicionamento Preciso) cujo acesso é somente para pessoas autorizadas pelo governo norte-americano. Este serviço proporciona precisão horizontal 15 metros.

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e, no mínimo, quatro satélites. Sabendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência adequado é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites (MONICO, 2008).

Considerando apenas geometria do sistema somente três distâncias (não pertencentes ao mesmo plano) seriam suficientes para determinar a posição do receptor, entretanto uma quarta medida é necessária devido ao não sincronismo entre o relógio do usuário e o dos satélites. Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras que estão na banda L do espectro eletromagnético, são elas:

- L1: 1575,42 Megahertz,  $\lambda = 19$  cm
- L2: 1227,60 Megahertz  $\lambda = 24$  cm, onde  $\lambda$  é o comprimento de onda.

Nestas ondas portadoras são modulados, em fase, os códigos que formam o *Pseudo Random Noise* (PRN – Códigos pseudo aleatórios) os quais permitem a

realização das medidas de distância a partir da medida de tempo de propagação da modulação.

Dois diferentes códigos PRN são transmitidos por cada satélite: o código C/A (*Coarse Acquisition* – fácil aquisição) e o código P (código preciso). O código C/A é gerado com base no produto de duas seqüências pseudo-aleatórias. Esse código é transmitido apenas na L1, sendo que cada satélite transmite um código C/A único. Já o código P é gerado por meio do produto de dois outros códigos, e é transmitido tanto na L1 (P1) quanto na L2 (P2). Outra diferença em relação ao código C/A é que o código P é mais preciso que o anterior e pode ser criptografado, tornando-se o código Y. Por razões de segurança, usuários civis não podem acessá-lo.

### 2.5.3.2 Observáveis GPS

As observáveis básicas do GPS que possibilitam a determinação de posição, velocidade e tempo, segundo Seeber, 1993 e Langley, 1996a podem ser classificadas em Pseudodistância e Fase da onda portadora que serão descritos a seguir:

#### a) Pseudodistância

Os códigos PRN transmitidos pelos satélites são usados para determinar a pseudodistância que é distância entre a antena do satélite e a antena do receptor. Esta distância é chamada de *pseudo* devido ao não-sincronismo entre o relógio do usuário e o dos satélites. O receptor gera uma réplica do código produzido no satélite e o atraso entre a chegada de uma transição particular do código gerado no satélite e sua réplica gerada no receptor é o tempo de propagação do sinal no trajeto satélite-receptor. A pseudodistância é esse tempo de propagação multiplicada pela velocidade da luz. Além do não-sincronismo entre o relógio do usuário e o dos satélites, a pseudodistância também é afetada por outros efeitos como o atraso troposférico e ionosférico, multicaminho e ruído no receptor.

Dependendo do tipo do receptor, pode-se obter uma, duas ou três pseudodistâncias, através dos códigos C/A e P1 modulados em L1 e do código P2 modulado em L2 (MONICO, 2008).

#### a) Fase da onda portadora

As ondas portadoras L1 e L2 também podem determinar distâncias, sendo que esta é uma observável muito mais precisa e é dada em ciclos de onda. A diferença de fase do sinal recebido pelo satélite e sua réplica gerada pelo receptor é a medida de fase da portadora. Na primeira medida obtém-se apenas a parte fracional do ciclo e por isso não se sabe na primeira época de observação a quantidade de ciclos entre o satélite e o receptor, essa incógnita é denominada Ambigüidade e é solucionada no processo de ajustamento. A partir da primeira época o receptor passa a contar o número de ciclos inteiros que entra.

Assim como a pseudodistância, a solução da Ambigüidade é afetada pelos efeitos ionosféricos, pela refração troposférica, pelo multicaminho e por outros erros que não são modelados. A geometria dos satélites também afeta a solução da Ambigüidade. No ajustamento a Ambigüidade é representada como um vetor de números reais, associado a uma Matriz Variância-Covariância, denominando esta solução como flutuante. Quando o vetor das Ambigüidades é composto por números inteiros, chama-se de solução fixa. É importante ressaltar que quando há uma solução fixa incorreta prefere-se a solução flutuante, mesmo que esta tenha sua qualidade degradada devido à introdução de erros sistemáticos no valor das coordenadas. A solução da Ambigüidade e também o controle de qualidade desta solução são assuntos muito discutidos e pesquisados na área de posicionamento GPS. (TEUNISSEN, 1998).

### **2.5.3.3 Erros nas observáveis GPS**

Assim como qualquer medida, as observáveis GPS estão contaminadas por erros. Estes podem ser grosseiros, sistemáticos e aleatórios. Os erros grosseiros provêm de falhas humanas e/ou de equipamentos. Os erros sistemáticos geralmente podem ser parametrizados (modelados como novas incógnitas) no processo de ajustamento ou reduzidos por técnicas especiais de observação (no momento da coleta). Além disso, os erros sistemáticos podem ser determinados por modelos apropriados e retirados (minimizados) das observações antes da realização do ajustamento para a obtenção das coordenadas. Os erros aleatórios são inevitáveis e, portanto, são considerados como sendo uma propriedade inerente da observação (MONICO, 2008). A Tabela 2 apresenta os diversos tipos de erros que contaminam as observáveis GPS.

Tabela 2. Fontes de erro nas observáveis GPS (Fonte IBGE, 2008).

Fontes	Efeitos
Satélite	Erros orbitais
	Erros no relógio do satélite
	Atraso instrumental do satélite
	Centro de fase da antena do satélite
Propagação do sinal	Refração troposférica
	Refração ionosférica
	Multicaminho ou sinais refletidos
	Perdas de ciclo
Receptor e Antena	Erro do relógio do receptor
	Centro de fase da antena
	Atraso instrumental do receptor
	Ruído do receptor

Fonte adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE 2012

## Efemérides

A determinação da posição e do vetor velocidade dos satélites no referencial terrestre são necessários três conjuntos de dados: dados de almanaque, efemérides transmitidas e efemérides precisas. Estes dados diferem quando se trata da acurácia e da disponibilidade, se em tempo real ou com algum atraso (HOFMANN-WELLENHOF *et al*, 2008).

- Efemérides Transmitidas

As efemérides transmitidas contêm informações sobre as órbitas dos satélites calculadas previamente, ou seja, são produzidas efemérides de referência baseadas em modelos que consideram as forças que atuam nos satélites através do uso de programas computacionais. Com base nestas efemérides e nas observações coletadas nas estações monitoras, calculam-se as discrepâncias determinando as efemérides transmitidas (MONICO, 2008). Este tipo de informação é utilizado quando o objetivo é obter a posição instantânea do receptor. A acurácia é da ordem de um metro (HOFMANN-WELLENHOF *et al*, 2008).

- Efemérides Precisas

São as efemérides pós-processadas, ou seja, corrigidas dos efeitos de perturbação da órbita após a passagem dos satélites. Estas informações são disponibilizadas para os usuários no site do International GNSS Service (IGS) e se destinam a usuários que pretendem obter melhor precisão no posicionamento. Segundo Hofmann-Wellenhof (2008), a acurácia deste tipo de efeméride é de aproximadamente 0,05 a 0, 20 metros.

Mais informações podem ser encontradas em Monico (2008), Hofmann-Wellenhof (2008), Leick (1994) e Teunissen (1998).

#### 2.5.4 Receptores GPS

Geralmente os receptores GPS são classificados segundo o tipo de observação que pode realizar:

- código C/A e portadora L1;
- código C/A e portadoras L1 e L2;
- códigos C/A e P2 e portadoras L1 e L2;
- códigos C/A, P1 e P2 e portadoras L1 e L2; e
- códigos C/A, L2C, P2 e portadoras L1 e L2.

Outra classificação comumente utilizada é a seguinte:

- navegação: código C/A e portadora L1;
- topográfico: código C/A e portadora L1;
- geodésico: códigos C/A e P e portadoras L1 e L2.

Os receptores GPS podem fornecer as seguintes precisões:

- navegação: métrica;
- topográfico: decimétrica;
- geodésico: centimétrica.

## 2.6 GLONASS

Os princípios de funcionamento do sistema GNSS russo são similares ao do sistema norte-americano, ou seja, baseia-se na medida de distâncias entre o usuário e os satélites para determinar a posição do receptor. Assim como o GPS, o GLONASS transmite dois tipos de sinais, conhecidos como *Standard Precision (SP)* e *High Precision (HP)*, sendo que este último sofre degradação similar à técnica utilizada no código C/A do GPS para dificultar sua interpretação e conseqüentemente inibir o uso de maneira inapropriada.

Enquanto que os satélites GPS transmitem os dados utilizando a mesma freqüência, mas códigos diferentes, os satélites GLONASS enviam o mesmo código no sinal SP, porém em freqüências distintas. A técnica utilizada para transmissão dos sinais é a *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*, assim, há 15 canais de transmissão com freqüências variando de 1602,5625 a 1615,5 MHz. Essa faixa de freqüências é conhecida como banda L1. O sinal HP transmite na banda L2 que compreende as freqüências de 1240 a 1260 MHz utilizando a mesma técnica de transmissão FDMA. A precisão obtida através do GLONASS é de 5-10 metros na componente horizontal e de aproximadamente 15 metros na componente vertical.

Desde 2008, está em pesquisa e desenvolvimento a técnica de transmissão *Code Division Multiple Access (CDMA)* a ser empregada nos satélites GLONASS, de modo a compatibilizá-lo com o sistema GPS, que utiliza esta tecnologia.

### Aplicação do funcionamento da rede GNSS

Atualmente se dispõe do método cinemático em tempo real, que combina diferencial de código e fase da portadora em conjunto com um sistema de transmissão dos dados do receptor da base para o receptor móvel e um processamento em tempo real (SCHAAL,2008)

Conforme A figura 10 apresenta o sistema de medição do receptor em ponto fixo com os satélites presente na orbita terrestre.



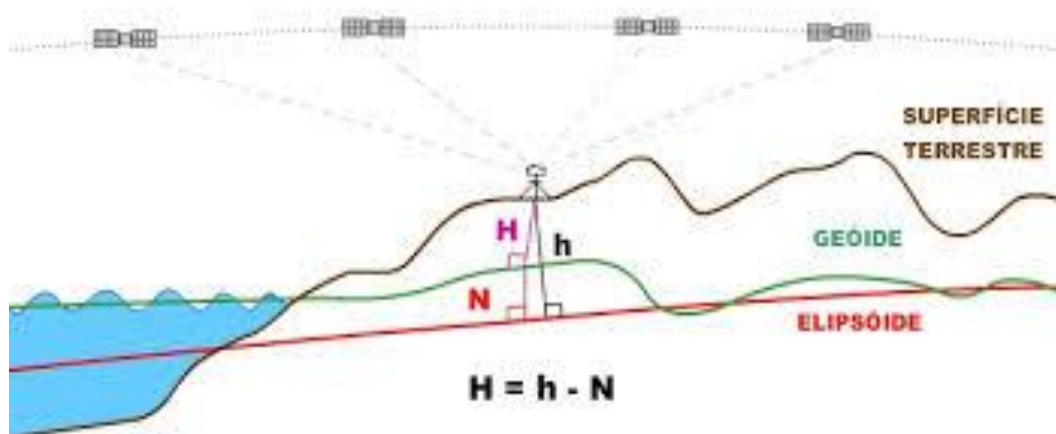


Figura 10 – Modelo de recepção de dados de satélites. (Fonte IBGE 2012.)

As utilizações do GPS são extremamente amplas para usos em geodesia, topografia, navegação e áreas afins. Pode ser usado em controle de levantamentos, levantamentos cadastrais, geodinâmica, problemas de engenharia, navegação de precisão, fotogrametria entre outros.

A tabela 3 apresenta as várias classes de aplicações do GPS e as precisões exigidas de acordo com SEEBER, 2003:

CLASSE	PRECISÃO MÉDIA RELATIVA REQUERIDA (ppm)	EXATIDÃO CORRESPONDENTE (m)
Explorações geofísicas e sist. de inf. geográfica (SIG).	100	1 – 50
Mapas em pequenas escalas, sistemas de controle de veículos.	10	0,2 – 1
Levantamentos cadastrais e levantamentos de engenharia de média precisão.	5 – 1	0,01 – 0,05
Geodésia, controle de levantamentos de alta precisão.	1 – 0,5	<0,01 – 0,05
Geodinâmica e levantamentos de engenharia de alta precisão.	0,1	0,001 – 0,02

Fonte adaptada IBGE 2009

A acurácia e precisão adequada com um curto período de observação faz do GPS um excelente instrumento para a densificação de redes em distâncias (1 a 10

km) e aplicações no cadastro urbano e rural quando combinado com estações totais (SEEBER, 2003).

O maior problema do GPS nos levantamentos cadastrais urbanos é a obstrução do sinal dos satélites por edifícios, árvores, torres, pontes, entre outros. Desta forma a utilização do GPS em áreas urbanas está restrito a áreas abertas. No caso de áreas com amplas ruas e edificações baixas, métodos semi-cinemáticos podem ser utilizados (SEEBER, 2003).

Conforme Peixoto (2006) o GPS é um potente meio para aquisição de dados para Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como por exemplo o cadastramento de ruas, edifícios, dutos, elementos da infra-estrutura urbana, limites de propriedades entre outros. Têm contribuído muito para a uniformização de sistemas de referência, como por exemplo a implantação de redes de referências cadastrais.

## **2.7 CONTROLE DE QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS**

Um produto pode ser identificado como satisfatório ou não para o fim a que se destina quando submetido a um teste de controle de qualidade. Porém, a inspeção completa não elimina o risco de existirem itens defeituosos, nem mesmo permitirá uma avaliação dos riscos de ambas as partes, tanto do usuário como do produtor Matsuoka (2003).

Para Schenini (2006), é natural que tanto consumidor como o produtor desejem fixar, com base em sua experiência anterior e razões econômicas, os riscos a que estarão expostos ao adotarem um critério de decisão; isso é alcançado na inspeção por amostragem, portanto, a qualidade de uma carta pode ser abordada considerando dois pontos distintos: o do usuário e do produtor.

Segundo Leal e Dalmolin (1999), na literatura estrangeira observa-se que os procedimentos adotados para aferir a qualidade de uma carta consideram estas duas posições e analisam o risco do usuário e do produtor.

O risco do usuário é a probabilidade de aceitação de um produto cartográfico com qualidade abaixo de suas necessidades, a partir da execução de testes de controle de qualidade no qual se utilizou uma amostra de boa qualidade.

O risco do produtor é dado pela existência da possibilidade de se rejeitar uma carta qualificada, a partir da execução do teste de controle de qualidade com uma amostra de qualidade ruim.

Existem inúmeras técnicas de avaliação dos produtos cartográficos no Brasil há normas estabelecendo o procedimento a ser aplicado na classificação de mapas, levando a uma padronização no controle de cartas.

### **2.7.1 VALIDAÇÃO DA ACURACIA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS**

Assim como em outro tipo de produção técnica, o processo de mapeamento deve possuir leis e normas específicas que garantam a qualidade do produto cartográfico ao usuário. Em nosso país, o decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 estabelece as instruções reguladoras e normas técnicas da cartografia nacional, em BRASIL (1984), se destinando a tratar temas como: o controle do processo e do produto final, a classificação das cartas, os elementos obrigatórios de uma carta, especificações gerais das normas cartográficas brasileiras, entre outros.

O capítulo II do decreto nº 89.817 de junho de 1984, trata do controle de qualidade do produto cartográfico final. Este capítulo é apresentado nos dois próximos tópicos conforme a norma:

Classificação de uma carta quanto à exatidão: os documentos cartográficos devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), que se refere a um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, ou seja,  $PEC = 1,6449 * EP$ , onde o EP corresponde ao Erro-Padrão (equivalente aos termos desvio padrão ( $\sigma$ ) e erro médio quadrático, segundo afirmação da própria norma). A norma estabelece que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido. Em termos altimétricos, 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido (Figura 11).

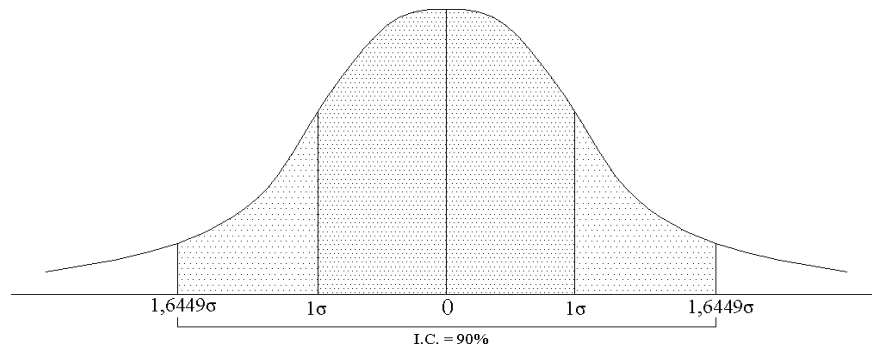


Figura 10. Distribuição normal. (fonte EMBRAPA 2012)

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma de qualidade geométrica de documentos cartográficos. O resumo dos parâmetros do PEC e seus respectivos EP para planimetria e altimetria são apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Resumo das classes pertencentes ao PEC.

CLASSE	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 Equid	1/3 Equid
B	0,8 mm	0,5 mm	3/5 Equid	2/5 Equid
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 Equid	1/2 Equid

FONTE (IBGE 2012).

A tabela, apresenta na primeira coluna, com as letras A, B e C, as possíveis classes segundo o decreto nº 89.817 de junho de 1984, enquanto as demais colunas mostram os parâmetros quantitativos de PEC e EP estabelecidos para planimétrica e altimetria. Para o cálculo do valor planimétrico do PEC no terreno, deve-se multiplicar o valor da tabela pela escala da carta, já no caso da altimetria pela equidistância das curvas de nível.

O decreto ainda menciona a obrigatoriedade da indicação da classe da carta no rodapé. No caso do produto não atingir o valor mínimo das classes, o valor do PEC obtido ainda deve ser indicado na folha.

### **3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA**

O Estudo apresenta dados que possam contribuir para um método mais eficiente dos levantamentos cadastrais urbanos. Para que os resultados obtidos contribuam para respostas e dúvidas em questões dos avanços tecnológicos com uso de novos equipamentos e softwares aplicado no cadastro técnico, em especial a utilização de veículos aéreos não tripulado VANT.

No processo de levantamento aerofotogramétrico apresenta um relatório com o uso de equipamentos, plano de voo, trabalho de campo, procedimentos e metodologia que atesta a confiabilidade do uso da ferramenta no cadastro técnico.

Com os resultados obtidos reafirmar características dos métodos de levantamento estudados já conhecidos na literatura, apresentando novas informações quanto as suas potencialidades, precisão e produtividade com o uso de novos equipamentos e programas que venha beneficiar no uso do cadastro.

#### **3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins**

O estudo é realizado por meio pesquisa explicativa, aprofundando no uso da aerofotogrametria com uso de veículo aéreo não tripulado VANT, aplicado ao cadastro técnico multifinalitário.

A pesquisa explicativa tem como preocupação fundamental identificar fatores que contribuem ou agem como causa para a ocorrência de determinados fenômenos. É o tipo de pesquisa que explica as razões ou os porquês das coisas.

Segundo Galliano (1979) considera:

Os cientistas não se limitam a descrever detalhadamente os fatos, tratam de encontrar as suas causas, suas relações internas e suas relações com outros fatos. Seu objetivo é oferecer respostas às indagações, aos porquês. Antigamente acreditava-se que explicar cientificamente era expor a causa dos fatos. No entanto, hoje reconhece-se que a explicação causal é apenas um dos tipos de explicação científica [...] (pág 128)

Assim o estudo apresenta uma revisão bibliográfica e metodológica profunda, utilizando diferentes análises, técnicas e processamentos, apresentando vantagens e desvantagens em cada estudo no cadastro técnico.

### 3.1.1 Classificação da pesquisa quanto aos meios

O trabalho tem como finalidade aplicada no estudo de caso em uma determinada área que apresenta, diferentes condições e tipologias que aborda ao máximo os fatores que dificultam problemas para a elaboração do cadastro técnico multifinalitário.

De acordo com GIL (2007) estudo de caso pode ser definido com um estudo exaustivo, profundo e extenso de uma ou de poucas unidades, empiricamente verificáveis, de maneira que permita seu conhecimento amplo e detalhado

Conforme Fonseca (2002):

Um estudo de caso pode ser caracterizado como um estudo que visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico. O pesquisador não pretende intervir sobre o objeto a ser estudado, mas revelá-lo tal como ele o percebe. O estudo de caso pode decorrer de acordo com uma perspectiva interpretativa, que procura compreender como é o mundo do ponto de vista dos participantes, ou uma perspectiva pragmática, que visa simplesmente apresentar uma perspectiva global, tanto quanto possível completa e coerente, do objeto de estudo do ponto de vista do investigador (pág.45).

A abordagem do estudo se classifica como quali-quantitativa, utilizando livros, normativas, manuais, teses e dissertações, para identificar profundamente os conceitos e parâmetros em diferentes meios de procedimentos com o uso da aerofotogrametria aplicada no cadastro técnico e no levantamento em campo com a apuração dos dados levantados quanto as suas características que venha diferenciar de cada metodologia de levantamento empregado.

### 3.2 Procedimento metodológicos

Descrição do projeto, apresentando a área de estudos, metodologia empregada, materiais e métodos com o processamento dos dados levantados, análises e observações referente a utilização do uso da aerofotogrametria no cadastral técnico.

Com o trabalho de campo para reconhecimento do local que melhor apresenta As diversas condições que possa contribuir com diferentes variáveis foi elaborado o plano de voo, que configura a área de estudo para aplicar o uso do VANT e dos equipamentos tradicionais para obtenção de dados, estação total e receptor GNSS.

Figura 12 representa a área do levantamento aerofotogramétrico com o seu plano de voo a ser executado em campo



Figura 12 detalhamento das linhas do plano de voo da área de estudo (FONTE O AUTOR 2019)

### 3.3 Área de estudo

A área de estudo constituiu-se em um loteamento urbano, situada na zona central da cidade de Piedade de Caratinga - MG. Trata-se de área completamente urbanizada e dotada de total infraestrutura de abastecimento d'água, esgoto, drenagem, energia elétrica e outros, o que permitiu exercitar a execução de cadastro com a finalidade de confecção da planta cadastral e de sistemas de infraestrutura urbana.

Outro fato que contribuiu para a escolha, foi a necessidade urgente de revisão cadastral e inexistência de um sistema de referência cadastral para apoiar os serviços topográficos de demarcação, implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, urbanização e outros.

A área em questão possui uma grande cobertura de árvores e edificações, que dificulta os levantamentos por fotogrametria e GPS, o que possa melhor avaliar o desempenho desses métodos nessas situações.

### 3.4 Elementos cadastrados

Para o trabalho, serão definidos para serem cadastrados os seguintes elementos, que normalmente constam de plantas cadastrais municipais e plantas indicativas de sistemas de cadastro técnico (ABNT, 1998):

- Edificações existentes;
- Caixas de inspeção de rede elétrica, esgoto, drenagem e outros;
- Limites de quadra e lotes;
- Passeios e vias;
- Árvores;
- Cursos d'água;

Esses elementos foram definidos a partir de uma inspeção visual na área de estudo para verificação dos elementos da infraestrutura existentes, para melhor escolha do local que apresente todas as características que venha influenciar no emprego da aerofotogrametria aplicado no cadastro técnico, com o objetivo de coletar o maior número de informações cadastrais existente.

### 3.5 Implantação dos pontos de controle

Com resultados dos levantamentos e métodos estudados implementará uma rede de referência cadastral de acordo com as prescrições de NBR 13133: Execução de levantamento topográfico (ABNT, 1994) e NBR 14166: Rede de referência cadastral municipal (ABNT, 1998).

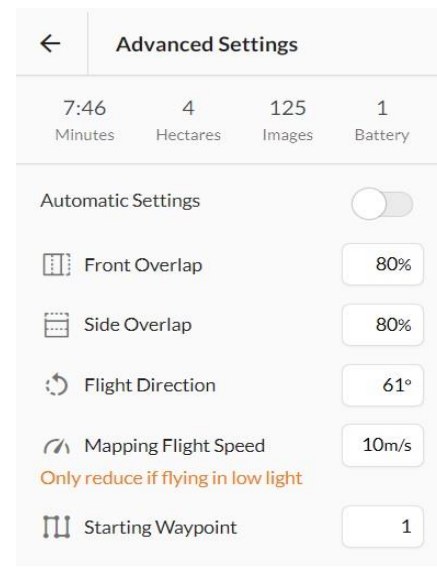
Primeiramente foram implantados os marcos pré-sinalizados (Figura 13 a) da rede de pontos de apoio ao bloco de imagens e marcos de checagem (*Check Points*), posteriormente suas altitudes ortométricas e coordenadas foram determinadas através de medições em campo com nível e receptores GNSS. Para que pudéssemos realizar o voo, foi idealizado o plano de voo, utilizando o *software* de desenho gráfico *MicroStation*, juntamente com imagens georreferenciadas do banco de dados do *Google Earth*, posteriormente foi feita a implantação dos marcos em campo, quando foram tomadas as imagens com o VANT modelo DJI Phantom Vision 4, utilizando câmera própria embarcada ao quadrimotor. Após coleta das imagens foi iniciado o processamento dos dados, sendo utilizadas as informações de rastreamento da estação



RBMC, localizadas no município de Piedade de Caratinga. juntamente com os dados coletados em campo, para o processamento das coordenadas dos pontos de apoio e com isso possibilitando a montagem dos mosaicos das duas faixas levantadas, para a taxa de sobreposição de voo conforme (figura 13 b).



(a)



(b)

Figura 13 – Vista da coleta dos pontos de controle em campo (a) e informações técnicas sobre a sobreposição do plano de voo executado com tempo de voo e número de imagens (b).  
(Fonte o Autor 2019)

### 3.5.1 Referências Altimétricas

A rede de referência altimétrica por nivelamento geométrico, utilizamos uma estação total, modelo LEICA TS06 seguindo a norma NBR 13133 para nivelamento classe I N.

Uma "referência de nível de apoio imediato" (NBR 14166) implantada no ponto definido da rede de referência planimétrica, a partir de equipamento GPS RTK, utilizando processamento da RMGB do IBGE.

O marco de base para implantação processado pela Rede de Monitoramento Geodésico Brasileiro, para a coleta dos pontos de controle e verificação e os pontos de coleta cadastral pelo método convencional com uso de GPS RTK

Figura 14 apresenta o ponto de coleta da base próximo a elevatória da Copasa no município de Piedade de Caratinga.



### 3.7 Aerolevanteamento com VANT.

Etapa dos levantamentos de campo para uso dos serviços de aerofotogrametria aplicada com o uso de veículo aéreo não tripulado modelo multimotor.

#### 3.7.1 Determinação e Coleta de Pontos de Apoio em Campo

As dimensões da pré-sinalizações implantadas em campo foram definidas considerando o parâmetro “d” (dimensões físicas do pixel no sensor CCD), que é estabelecido em função da escala de voo na fotogrametria analógica ou em função do GSD (tamanho do pixel no terreno). Como a recomendação é que essa dimensão assuma valor igual a um múltiplo ímpar da dimensão do GSD (de 3 a 5 vezes), conforme REDWEIK (2007) e COSTA et al (2012) o valor escolhido foi 80x10 cm para a pré-sinalização de faixas de tecido brancas (Figura 16 a) utilizados em terreno natural e uma circunferência com diâmetro de 25 cm pintados com tinta quando pré-sinalizados no asfalto (Figura 16 b).



Figura 16 – Coleta dos pontos de controle (a) pré-sinalização em campo marcos de apoio e checagem e dimensões dos marcos de apoio e checagem (b)

(Fonte o Autor 2019)

### 3.7.2 Características do VANT

Foi utilizado o quadricóptero do modelo da DJI Phantom Vision 4 (Figura 4a) com as seguintes características: câmera integrada 20MP, sistema de voo autônomo; sistema que transmite vídeo em tempo real para sistema em solo com alcance de 300 m; *gimbal* motorizado e autonomia de voo de até 25 minutos lente ultra violeta nível 8 para correção do efeito da luz solar na imagens captadas. Foi necessário realizar três adaptações no quadrimotor:

O sistema autônomo foi elaborado pelo software Dronedeploy instalado em um dispositivo móvel junto ao rádio que possibilita a acompanhada da execução de todo o plano de voo

- I. Colocar a visada da câmera para Nadir.
- II. Acoplar um receptor GPS de Navegação, para coleta das coordenadas da linha de voo e centro projetivo das imagens (Figura 17b).
- III. Ajustar a Bússola. Isto foi necessário para proporcionar maior estabilidade porque foi constatado em testes que havia uma deriva não controlada, motivada pela configuração original de fábrica em que o ângulo de orientação da Bússola (Figura 17c) estava ajustada para o hemisfério norte. O problema foi

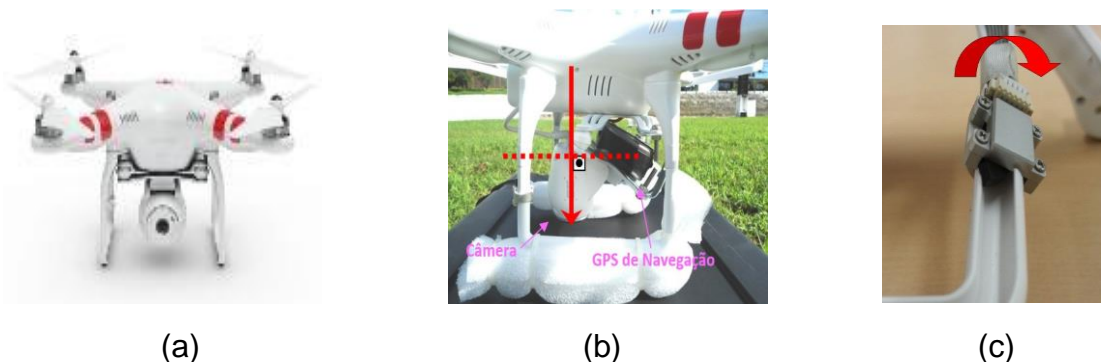


Figura 17 – (a) Quadricóptero do modelo da DJI Phantom Vision 4. (b) adaptação do eixo de projeção para a posição a Nadir. (c) rotação da Bússola do VANT de 22º graus.  
(Fonte o Autor 2019)

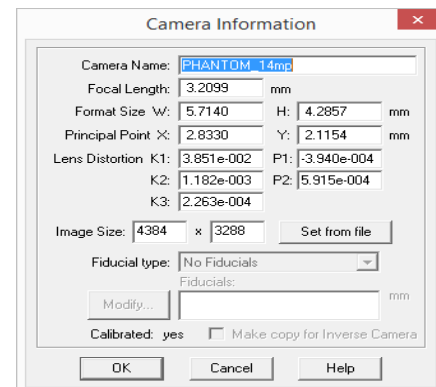
A câmara utilizada foi a do próprio fabricante do equipamento DJI Phantom Vision 2 de 14.0 *Megapixels*. Esta câmara trabalha com uma matriz de sensores CCD (*Charge Coupled Device*) com largura ( $w$ ) de 5,714 mm e altura ( $h$ ) de 4,286 mm e em pixels 4384 ( $w$ ) x 3288 ( $h$ ). As imagens podem ser gravadas em cartão de memória, no formato JPEG ou RAW. Neste trabalho todas as imagens foram sempre tomadas

com a distância focal fixada para o infinito.

Para a determinação dos parâmetros geométricos da lente da câmera usada no levantamento (Figura 18a e 18b), foi utilizado o *software PhotoModeler Pro*. Foram determinados os parâmetros de orientação interior (Figura 5a), a distância focal  $f$ ; a escala cartográfica do ponto principal no sistema de coordenadas da câmara  $x_0$ ,  $y_0$ ; os coeficientes de distorção radial  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ; os coeficientes de distorção descentrada  $P_1$  e  $P_2$ .

Dados da Câmera		Parâmetros	
Tamanho do sensor		5,714 mm	-
Tamanho do Elemento Sensor		0,0013 mm	1 pixel
Distancia focal (f)		3,210 mm	2463 pixel
Formato da imagem	Lado maior: LG	5,714 mm	4384 pixel
	Lado menor: LP	4,286 mm	3288 pixel
Altura de Voo		110,00 m	-
Tamanho do pixel no terreno (GSD)		5 cm	-
Escala Cartográfica		1/500	-

(b)



(a)

Figura 18 – (a) Janela do *software PhotoModeler Pro* mostrando os resultados da calibração (b) resumo dos parâmetros para a definição da Escala Cartográfica

(Fonte o Autor 2019)

Com os dados do tamanho do elemento sensor e distância focal obtidos através da calibração da câmera, informações do alcance e autonomia de voo do quadricóptero, foi estabelecida altura de voo e conseqüentemente a escala cartográfica a ser obtida, através do cálculo GSD (*Ground Sample Distance*).

A resolução espacial GSD, corresponde ao tamanho do pixel no terreno, podendo ser calculado por:

$$\frac{f}{h_v} = \frac{d}{\text{GSD}} \quad (1)$$

SENDO;

$h_v$  = Altura de Vôo,

$f$  = Distância Focal da Câmera,

Para os dados da tabela, temos que o GSD foi de 0,045 m, portanto segundo tabela 1 a escala cartográfica a ser obtida é de 1/500. O recomendado para imagens digitais é Denominador da escala = GSD (em metros) x 10000, então  $M=0,045 \times 10000 = 450$  então escala 1/450).

Quadro 3 – Correlação tamanho do Pixel e Escala Cartográfica (Fonte: LEICA, 2014)

Média GSD com ADS40	Escala da Foto	Mapa Padrão		Comparativo de Filmes Fotográficos	
		x-y acurácia RMSE	Intervalo de Contorno	Escala da Foto	Tamanho do Pixel no Terreno digitalizado
5 - 10 cm	1:500	0.125 m	0.25 m	1:3000 à 1:5500	2,5 - 5 cm
10 - 15 cm	1:1000	0.25 m	0.5 m	1:5000 à 1:8000	5 - 7,5 cm
15 - 20 cm	1:1500	0.4 m	0.75 m	1:6500 à 1:10.000	7,5 - 10 cm
20 - 30 cm	1:2000	0.5 m	1 m	1:8000 à 1:11.000	10 - 15 cm

(Fonte Adaptada EMBRAPA, 2014)

Com a escala cartográfica estabelecida foram calculados os dados referentes aos parâmetros do Plano de Voo para a tomada das imagens aéreas. Sendo estabelecida a altura média de voo para a coleta das imagens de 110 m, com superposição longitudinal 80% e lateral 80%, resolução espacial média resultante foi de 5cm, área recoberta por uma imagem no terreno de 147 m x 196 m, intervalo de tomadas das imagens de 5 segundos e velocidade de cruzeiro 10,00 m/s.

### 3.7.3 Realização do Voo

A cobertura aérea foi realizada nos dias 11 e 12 de março de 2019, numa altura média de voo de 100 m, desta forma cada fotografia aérea possui resolução nominal de 0,05 m x 0,05 m e cobriu uma área aproximadamente de 4 hectares. As faixas de voo 1 e 2 foram configuradas no programa DJI Vision no módulo *GroundStation* (Figuras 19) instalado em um Tablet com sistema operacional iOS, e por meio de sinal de rádio e de rede *Wifi* própria do sistema de controle do Phantom Vision 4, o Quadrirotor executou as faixas de voo de forma autônoma.



Figura19 – Vista do programa DJI Vision no módulo *GroundStation* mostrando faixa de vôo (Fonte o Autor 2019)

De posse do fotoíndice, das coordenadas dos marcos de apoio e checagem e das imagens, foi realizado o processamento fotogramétrico no *software photoscan* (Figura 20a). Foi realizada a inserção de dados no programa *photoscan*, sendo os dados das coordenadas do centro das fotos, altura de voo em que as fotos foram coletadas, distância focal e o tamanho da imagem digital na unidade de microns. Posteriormente foi inserida, os dados dos marcos pré-sinalizados (*Control Points*) e por meio de processo de análise de pixel a pixel, o programa *photoscan* realizou a identificação automática dos pontos homólogos, também denominados de pontos de amarração (*Tie Points*). Neste projeto foram usadas as coordenadas do GPS embarcado no Quadrirrotor (Figura 20b) e pontos de apoio de campo.

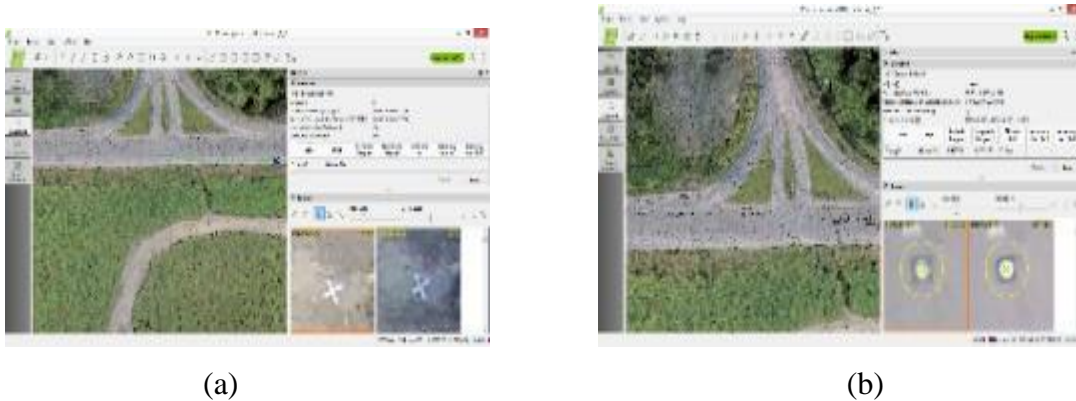


Figura 6 – Vista da janela do software photoscan, marco de controle pré-sinalizado, (a) e (b).

(Fonte o Autor 2019)

### 3.8 Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados nas fases de planejamento, levantamento e processamento de dados para quantificar e qualificar os equipamentos necessario para o presente trabalho.

- a) 01 Estação Total Leica TS06
- b) 01 Receptor GPS Trimble Pro-XR;
- c) 02 Receptores GPS Topcon Legacy;
- d) 01 Drone Phantom 4 P
- e) Acessórios (calculadora, trena, bastão, tripé, prisma, pinos, tinta, mochila e materiais de expediente).
- f) 01 Notebook Pedrador – 3,5 Ghz / 24 ram / 200GB HD / 15,6”;

### 3.9 Programas de Computador Utilizados

Os equipamentos utilizados nas fases de planejamento, levantamento e processamento de dados para quantificar e qualificar os programas necessário para o presente trabalho.

- a) Droneploy (planejamento de voo autônomo)
- b) Topcon Tools (processamento dados GNSS)
- c) Topograph (processamento dos dados estação total e cadernetas)
- d) AutocadCivil3D (elaboração das plantas e croquis)
- e) Agisoft Photoscan (elaboração do ortomosaico)
- f) ArcGIS10.5 (classificação e correção do produto cartográfico)
- g) Geopac 3.5 (Acurácia posicional e qualitativa do produto cartográfico)
- h) Microsoft Office (criação de planilhas, tabelas para apresentação)

### 4.0 Análise de Precisão

A partir das coordenadas dos pontos de amostragem foi possível calcular as discrepâncias entre as coordenadas de cada produto em relação à base cartográfica de referência, sendo:  $OE = E_{bcx} - E_{bcte}$  e  $ON = N_{bcx} - N_{bcte}$ , onde bcx é a base cartográfica a ser analisada (obtida pelas técnicas: GPS, Ortofoto, Restituição e Método Híbrido – Levantamento Topográfico Estação) e bcte é a base cartográfica de referência ( obtida por levantamento topográfico eletrônico). A tabela 4.1 mostra essas discrepâncias.

CLASSE							MODO	
A	GPS		Ortofoto		Restituição		Método Híbrido	
	(OE)	(ON)	(OE)	(ON)	(OE)	(ON)	(OE)	(ON)
01	0,1408	-0,1732	-0,3244	-0,1467	0,1231	-0,6866	1,7955	0,9957
02	-0,5893	0,0381	-0,4001	-0,8560	0,0389	-0,6779	0,6790	-0,6309
03	0,0329	0,0010	0,3420	-0,7036	-0,4731	0,1950	-1,7610	1,2531
04	0,2918	-0,1456	-0,0701	-0,7535	0,3658	-0,8236	-1,9495	1,5314
05	0,0946	-0,1990	-0,0248	-0,4444	0,1226	-0,7630	-0,8888	-0,2803
06	-0,0998	0,0978	-0,6963	-0,2218	0,3402	-0,2552	0,3584	-0,8891
07	0,0330	-0,1882	-0,6266	-0,3917	-0,1840	-0,5822	-0,0173	0,6278
08	0,1528	-0,1588	-0,5058	-0,4289	-0,2145	-0,5980	-0,7272	-0,2104



09	0,0982	-0,0004	-0,2201	-0,5141	-0,5848	-0,2534	-0,7903	-0,5172
10	-0,1847	-0,1544	-0,9692	-0,5467	-0,0096	-0,5533	-0,4640	0,5926
11	-0,0540	0,4324	-0,1804	-0,3771	-0,2040	-0,4886	-0,1043	-0,1865
12	0,0870	-0,2538	-0,5656	-0,6427	-0,3850	-0,8108	0,0999	-0,4737
13	0,5684	0,2151	-1,0214	-0,1324	-0,7768	-0,3194	0,2222	-0,6818

TABELA 4.1- Discrepâncias entre as amostras das bases cartográficas de referência com os demais produtos gerados nesta pesquisa. (Fonte o Autor 2019)

A partir das discrepâncias encontradas, calculou-se a média e o desvio padrão. A média ou média aritmética é uma medida de tendência central, sendo calculada somando-se todas as observações em um conjunto de dados e dividindo-se o total pelo número de itens envolvidos, como apresenta a equação eq (4.4).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{eq (4.4)}$$

CLASSE						MODO	
GPS		Ortofoto		Restituição		Método Híbrido	
E	N	E	N	E	N	E	N
0,0440	-0,0376	-0,4048	-0,4738	-0,1416	-0,5090	-0,2729	0,0870

TABELA 4.1.2- Cálculo da média aritmética das discrepâncias obtidas para cada base cartográfica

(Fonte o Autor 2019)

O desvio padrão pode ser calculado de acordo com a equação eq (4.5).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad \text{eq (4.5)}$$

A tabela 4.1.3 apresenta o desvio padrão entre as discrepâncias para cada base cartográfica.

CLASSE						MODO	
GPS		Ortofoto		Restituição		Método Híbrido	
E	N	E	N	E	N	E	N
0,2660	0,1970	0,3845	0,2270	0,3487	0,2875	0,9990	0,8092

TABELA 4.1.3- Desvio Padrão calculado a partir das discrepâncias obtidas entre os produtos analisados. (Fonte o Autor 2019)

A partir das equações, foram calculadas as estatísticas para a análise da precisão dos produtos cartográficos pelo método posicional.

O exemplo a seguir apresenta o cálculo efetuado para a base cartográfica gerada através da restituição estereofotogramétrica.

- a) Cálculo das Discrepâncias entre as coordenadas da Base Cartográfica de Referência (Levantamento Topográfico Eletrônico) e da Base Cartográfica obtida por restituição.

TABELA 4.1.4- Discrepâncias entre as amostras da base cartográfica de referência com a base cartográfica obtida por restituição.

Estação		Restituição		OE	ON
E	N	E	N		
659352,0969	6826026,9566	659352,2200	6826026,2700	0,1231	-0,6866
659266,2611	6826061,2079	659266,3000	6826060,5300	0,0389	-0,6779
659198,1531	6826056,2250	659197,6800	6826056,4200	-0,4731	0,1950
659250,6242	6826098,0236	659250,9900	6826097,2000	0,3658	-0,8236
659198,1474	6826121,4930	659198,2700	6826120,7300	0,1226	-0,7630
659226,4398	6826006,4152	659226,7800	6826006,1600	0,3402	-0,2552
659282,1940	6826040,3522	659282,0100	6826039,7700	-0,1840	-0,5822
659230,1745	6826108,9380	659229,9600	6826108,3400	-0,2145	-0,5980
659227,9248	6826069,4934	659227,3400	6826069,2400	-0,5848	-0,2534
659226,6096	6826050,9833	659226,6000	6826050,4300	-0,0096	-0,5533
659324,3040	6825998,4186	659324,1000	6825997,9300	-0,2040	-0,4886
659377,9350	6826071,7208	659377,5500	6826070,9100	-0,3850	-0,8108
659290,1768	6826112,0594	659289,4000	6826111,7400	-0,7768	-0,3194

TABELA 4.1.4- Discrepâncias entre as amostras da base cartográfica de referência com a base cartográfica obtida por restituição.

- B) Cálculo da Média e Desvio Padrão das discrepâncias obtidas.

TABELA 4.1.5- Valores de média e desvio padrão calculados a partir das discrepâncias para a base cartográfica obtida por restituição.

Estatística	Direção	
	E	N
Média	-0,1416	-0,5090
Desvio-Padrão	0,3487	0,2875

TABELA 4.1.5- Valores de média e desvio padrão calculados a partir das discrepâncias para a base cartográfica obtida por restituição. (Fonte o Autor 2019)

C) Cálculo da estatística “ $\chi^2$ ” na direção E e N para a classe A do PEC.

Da equação 2.9, obtemos:  $X_E^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta E}^2}{\sigma_E^2}$  onde,

$\chi^2$  = distribuição Qui-quadrado;

$S_{OE}^2$  = quadrado do desvio padrão das discrepâncias das coordenadas na direção Este;

$\sigma$  = desvio padrão resultante na direção Este; n

= número de amostras.

Sendo:

$$S_{OE}^2 = 0,1216 ; S_{ON}^2 = 0,0826$$

$$\sigma = 0,424264069 \text{ e}$$

$$n = 13$$

obtemos:

$$X_E^2 \leq (12) \frac{0,1216}{0,1800} \quad X_E^2 \leq 8,1084$$

$$X_N^2 \leq (12) \frac{0,0826}{0,1800} \quad X_E^2 \leq 5,5089$$

#### 4.1 Análise da Qualidade Geométrica das Bases Cartográficas

Análise do produto cartográfico com a sua precisão e acurácia geométrica para classificação da PEC que atribui a qualidade do produto final.

Esta análise tem por objetivo apresentar a discrepância entre os produtos cartográficos gerados, para classificar de acordo com a sua classe que atribui o resultado final que o produto cartográfico atende de acordo com a legislação vigente.

#### 4.1.1 Detecção de Tendência

A tabela 4.2 apresenta os valores calculados de “t” para cada base cartográfica.

CLASSE						MODO	
GPS		Ortofoto		Restituição		Lev. E.T + Recp GNSS	
E	N	E	N	E	N	E	N
0,5962	-0,6886	-3,7962	-7,5243	-1,4643	-6,3842	-0,9849	0,3876

TABELA 4.2- Resultados obtidos para o cálculo de “t”. (Fonte o Autor 2019)

Da tabela dos valores críticos de “t” (Anexo IV), obtêm-se para  $t_{\alpha(12; 0,05)} = 1,7823$ . Analisando os resultados, observa-se a presença de erros sistemáticos para as bases cartográficas amostradas, de acordo com a tabela 5.5.

Base Cartográfica	Análise			
	E		N	
	$t_E < t$	$t_N < t$	Condição E	Condição N
GPS	$t_E < t$	$t_N < t$	Sem Tendência	Sem Tendência
Ortofoto	$t_E > t$	$t_N > t$	Apresenta Tendência	Apresenta Tendência
Restituição	$t_E < t$	$t_N > t$	Sem Tendência	Apresenta Tendência
Lev. ET + Recp GNSS	$t_E < t$	$t_N < t$	Sem Tendência	Sem Tendência

TABELA 4.2.1- Resultado da análise de detecção de tendências. (Fonte o Autor 2019)

Ausência de tendência indica a aceitação da hipótese nula para o nível de significância estabelecido (90%).

Já a detecção de tendência aponta a existência de erros sistemáticos em alguma direção.

SILVA (1999), aponta que os erros sistemáticos podem ser provenientes de alguma influência ambiental, como por exemplo, a medida eletrônica de uma distância ou uma tendenciosidade do operador quando faz uma observação.

De acordo com ISHIKAWA & SILVA (2002), neste caso, pode-se tomar o valor médio do intervalo de influência, com o sinal contrário e introduzi-las em todas as coordenadas, diminuindo-se as discrepâncias.

#### 4.2 Análise de Precisão pelo Método Posicional

Considerando um grau de liberdade equivalente a 12, a um nível de significância de 90%, o valor teórico encontrado para  $\chi^2$  (12,10%), é igual a **18,549**. A tabela 4.3 apresenta os valores de  $\chi^2$  calculados para os produtos cartográficos.

Classe	CLASSE						MODO	
	GPS		Ortofoto		Restituição		Lev. ET + Recp GNSS	
	X <sup>2</sup> E	X <sup>2</sup> N	X <sup>2</sup> E	X <sup>2</sup> N	X <sup>2</sup> E	X <sup>2</sup> N	X <sup>2</sup> E	X <sup>2</sup> N
A	4,7159	2,5864	9,8559	3,4367	8,1084	5,5089	66,5343	43,6484
B	1,6977	0,9311	3,5481	1,2372	2,9190	1,9832	23,9523	15,7134
C	1,1790	0,6466	2,4640	0,8592	2,0271	1,3772	16,6336	10,9121

TABELA 4.3- Resultados de  $\chi^2$  calculados para a análise posicional das bases cartográficas. (Fonte o Autor 2019)

Observando os resultados calculados de  $X^2$  e comparando com o valor tabelado (18,549), notamos que a base cartográfica obtida a partir de levantamento por GPS atende a precisão exigida para a classe A do método de avaliação do PEC planimétrico.

A base cartográfica construída com o auxílio da ortofoto e o produto da restituição, obtido pelo processo fotogramétrico, também atendeu a precisão suficiente para alcançar a classe A.

A base cartográfica gerada a partir de dados do levantamento topográfico à trena e da imagem de satélite de alta resolução não possui precisão exigida para as classes A e B, porém, os resultados do cálculo de qui-quadrado para a classe C apresentam um índice de precisão adequado.

##### 4.2.1 Análise da Precisão pelo Método das Distâncias

Os cálculos de  $X^2$  efetuados para um nível de significância de 90%, foram determinados de acordo com as equações descritas no item 2.3.4.2 e com os

valores do PEC descritos na tabela 5.6, estabelecidos para a escala 1:2.000. O valor tabelado de  $X^2$  (12,10%) é **18,549**, e os resultados são apresentados na tabela 4.4.

Classe	Criciúma			Indaial
	GPS	Ortofoto	Restituição	Lev. Trena + Imagem Satélite
	$\chi^2D$	$\chi^2D$	$\chi^2D$	$\chi^2D$
A	21,2330	28,4317	11,7416	79,7431
B	7,6439	10,2354	4,2270	28,7075
C	5,3082	7,1079	2,9354	19,9358

TABELA 4.4- Resultados de  $X^2$  calculados para a análise das distâncias. (Fonte o Autor 2019)

De acordo com a condição de precisão estabelecida, podemos observar que pelo método das distâncias, a base cartográfica produzida a partir do levantamento por GPS, desta vez pode ser enquadrada apenas na classe B do PEC.

A base cartográfica obtida através da vetorização da ortofoto também não possuem precisão suficiente para a classe A, seus índices permitem apenas o enquadramento na classe B.

A base cartográfica gerada pela restituição estereofotogramétrica foi o método que alcançou os melhores índices de precisão neste teste, sendo o único produto classificado como padrão A no PEC, com um valor de  $X^2 = 11,7416$ .

#### 4.2.2 Síntese das Análises de Detecção de Tendência e de Precisão

As análises de detecção de tendência e de precisão dos produtos cartográficos gerados nesta pesquisa podem ser observadas sinteticamente na tabela 4.5. A classificação segue os padrões estabelecidos pela legislação cartográfica nacional, considerando o uso das cartas na escala 1:2.000.

Base Cartográfica	Análise				
	Erros Sistemáticos	Precisão Posicional	Método das Distâncias	Método das Distâncias Geradas	Erro de Área (%)
GPS	Não	Classe A	Classe B	Classe B	0,55
Ortofoto	Sim	Classe A	Classe B	Classe B	0,70
Restituição	Sim	Classe A	Classe A	Classe A	0,45

Lev. Estação TOTAL	Não	Classe C	Sem Classe	Sem Classe	2,25
-----------------------	-----	----------	------------	------------	------

TABELA 4.5- Síntese das análises de precisão e exatidão dos produtos cartográficos gerados nesta pesquisa.

(Fonte o Autor 2019)

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os produtos finais foram gerados e analisado a área levantada, obtido por funções próprias que o classifica quanto a sua precisão, acurácia e qualidade posicional coma a análise e síntese de tendências de precisão superfície do MDS com dados obtidos por levantamento topográfico convencional usado como referência quanto a qualidade dos produtos extraídos por levantamento aerofotogrametrico.

Com base nas superfícies processadas, levantadas por topografia convencional e aerofotogrametria, verificou-se uma relativa diferença entre os dados conforme é de conhecimento a aerofotogrametria não obtém as informações das altitudes ortométricas no solo e sim no topo da vegetação existente, já a topografia convencional o operador define a posição de coletada no solo e não na vegetação, com isso determinando o Modelo Digital do Terreno (MDT) e não o MDE (Modelo Digital de Elevação), sendo necessário o um novo processamento no programa, pois não é possível comparar essas superfícies, por isso a implantação dos pontos de controle aplicado a rede de referencia municipal se mostrou de extrema importância no cruzamento dos dados levantados.

As diferenças verticais de terreno obtidos da topografia convencional e da Aerofotogrametria variaram de 0,00 m a +0,49 m. Essa diferença ficou caracterizada devido a classificação da nuvem de pontos quanto ao uso do modelo digital de superfície que considera todo e qualquer objeto quanto ao modelo digital de elevação que considera o elipsoide terrestre.

A fórmula utilizada no cálculo do Erro Médio Quadrático entre as coordenadas obtidas pelo GPS e as medidas na ortofotocarta, para a planimetria:

$$RMS_{XY} = EMQ_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{iT} - X_{iC})^2 + (Y_{iT} - Y_{iC})^2}{n}} \quad (1)$$

SENDO,

n – é o número de pontos da amostra

$X_{iT}$ ,  $Y_{iT}$  – Coordenadas planimétricas obtidas em campo, para o ponto i

$X_{iC}$ ,  $Y_{iC}$  – Coordenadas planimétricas do mesmo ponto na Ortoimagem.



As fórmulas utilizadas no cálculo do Erro Médio Quadrático entre as coordenadas obtidas pelo GPS e as medidas no MDS para a altimetria

$$RMS_z = EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{iT} - Z_{iC})^2}{n}} \quad (2)$$

SENDO,

n – é o número de pontos da amostra

$Z_{iT}$  – Cota altimétrica obtida em campo, para o ponto  $i$

$Z_{iC}$  – Cota altimétrica do mesmo ponto na Ortoimagem.

Apresentou a confrontação dos diferentes modelos de levantamento utilizado no estudo para validar a qualidade posicional e acurácia do produto cartográfico final quanto a sua finalidade que é o cadastro técnico multifinalitário.

Tabela 5 apresenta o resumo dos valores do Erro Médio Quadrático para a planimetria e Altimetria que foi usado para a classificação da carta cartográfica quanto ao cadastro técnico.

PONTO	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	(Erro X) <sup>2</sup> [m]	(Erro Y) <sup>2</sup> [m]	Erro Z [m]	(Erro Z) <sup>2</sup> [m]
E10	0,01192	0,00084	0,04130	0,00171
E18	0,01543	0,00029	0,26340	0,06938
E26	0,18542	0,03423	-0,08670	0,00752
M25	0,55368	0,10956	-0,15530	0,02412
M24	0,03474	0,14654	-0,11650	0,01357
E29	0,36603	0,03094	-0,39180	0,15351
Média (m)	0,056	0,181	-0,074	
Desvio Padrão (m)	0,437	0,145	0,199	
RMS = EMQ (m)	0,441	0,232	0,212	
RMS = EMQ <sub>xy</sub> (m)	EMQ <sub>xy</sub> (m) = 0,498		EMQ <sub>z</sub> (m) = 0,212	

Quadro 5 – Resumo dos valores do Erro Médio Quadrático para a planimetria e Altimetria. (Fonte o Autor 2019)

Para a classe I, indicada para altas precisões em engenharia, o RMS é igual ao GSD, para a classe II, indicada para mapeamento de alta precisão, o RMS = GSD x 2, e as demais classes são para produtos geoespaciais de menores precisões. Então para este artigo com GSD = 0,0654 m e RMS = 0,498 m a classe seria VIII (resultado de 0,498/0,0654=7,6). Este valor está de acordo com resultados de Silva et al (2014).

Esta ordem de classe obtida aqui, ou por Silva et al (2014), mostram que os resultados de mapeamento com imagens de VANT não atingem as classes I ou II usuais para produtos de alta qualidade definida para a fotogrametria convencional digital.

A mesma norma relaciona os padrões para mapas vetoriais. Para a classe I o RMS em cm deve ser igual a  $0,0125 \times (\text{módulo da escala})$ . Considerando a escala desejada de 1/1000 o RMS deve ser inferior ou igual a 12,5 cm. Para as classes II em diante o RMS (cm) =  $0,0125 \times N \times (\text{módulo da escala})$ . O RMS obtido neste projeto, 49,8 cm, permite enquadrar o mapeamento na escala 1/1000 classe IV ( $0,0125 \times 4 \times 1000=50$  cm) ou escala 1/2000 classe II ( $0,0125 \times 2 \times 2000= 50$  cm).

Usando os valores para enquadramento na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Digitais (DSG, 2015), o produto obtido estaria na escala de 1/1000 categoria “B, mas vale ressaltar que a norma não faz referência a classificação para escalas maiores que 1/1000. Porém como a Norma do DNIT (2006), admite levantamento nas escalas cartográficas de 1:1000 e 1:2000 para levantamento aerofotogramétrico de projetos executivo rodoviários, o levantamento se enquadra nas normas do DNIT.

Como método de avaliação e classificação da precisão planimétrica e altimétrica, utilizou-se o Erro Médio Quadrático, com base em normas de ASPRS (2014). Esta norma estabelece os valores de classificação para produtos cartográficos digitais para as Classes I, II e III com relacionando o EMQ com o tamanho do pixel. Neste experimento o GSD, foi de  $GSD= 6,54$  cm, calculado pelo programa *PIX4D Mapper*, temos que a escala topográfica sugerida conforme a ASPRS (2014) seria de 1/600 (Tabela 3), mas analisando o  $EMQ_{xy} = 49,8$  cm e  $EMQ_z = 21,2$  cm (relatório do *PIX4D Mapper*), o valor seria de 1/2.400 para a Classe II, segundo análise do  $EMQ_{xy}$  e  $EMQ_z$ , mas tendendo para 1/1200 Classe III cujo o valor para o RMS =  $EMQ_{xy}$  (m) é de 45 cm.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso da aerofotogrametria aplicada no cadastro técnico multifinalitário obtidas pelo VANT, mostraram-se eficientes para identificar os limites de edificações e elementos na área de estudo do município de Piedade de Caratinga MG, apresentando informações com riqueza de detalhes. Cabe ressaltar que o estudo foi realizado para a escala de 1:2000, sendo possível o estudo de diversas escalas e fatores que possam diminuir as distorções e erros na imagem RASTER gerada pela unificação das fotos.

As informações mostram-se confiáveis quando comparadas a um levantamento topográfico, na questão da regularização fundiária e de projetos de engenharia, pois apresentou distorções dentro dos limites estabelecido pelas legislações.

A pesquisa mostrou-se eficaz para oferecer informações cartográficas até o nível B da NBR 14.166 que regulamenta o cadastro, que propiciam um suporte para prefeituras de pequeno porte que buscam sua atualização cadastral. Vale ressaltar que a imagem não substitui a necessidade de ir a campo, pois para realizar um cadastro eficaz além dos limites das propriedades são necessários outros dados que está imagem não proporciona, exemplo o imóvel é uma residência ou comércio.

A busca por atualização do cadastro deve ser frequente, pois, as transformações de núcleos urbanos e rurais crescem em cada ano e precisam de infraestrutura que deve ser fornecida pelo gestor público.

Os resultados encontrados nesta pesquisa reforçam a necessidade de discussões e publicações sobre a importância dos cuidados que devem ser tomados na produção de documentos cartográficos, principalmente, observando os objetivos almejados e a qualidade alcançada.

É importante destacar a necessidade da realização de testes de precisão dos produtos cartográficos a partir de métodos mais rigorosos, e não apenas a análise posicional. O método da distância gerada, proposta nesta pesquisa, apresentou ótimos resultados, pois realiza a comparação de feições que percorrem toda a base cartográfica, estimando melhor as discrepâncias entre dois ou mais produtos.

## **6.1 Sobre a Qualidade Geométrica das Cartas Cadastrais**

Os resultados indicaram a base cartográfica obtida pelo processo de restituição aerofotogramétrica como sendo o produto de maior precisão geométrica, em comparação com a base cartográfica de referência gerada a partir do levantamento topográfico estação total ou GPS, sendo classificada com padrão A em todos os testes e atendendo a qualidade exigida para o Cadastro Técnico Multifinalitário.

A base cartográfica obtida a partir do levantamento por GPS apresentou discrepâncias pequenas em comparação com o levantamento topográfico estação total, sendo enquadrada na classe B das análises realizadas com feições, mas com índices bem próximos da classificação máxima. Certamente, os resultados seriam melhores se o período de rastreamento fosse um pouco maior, talvez 5 minutos, como prevê o manual técnico do INCRA para o cadastramento de imóveis rurais. Por outro lado, o aumento do período das observações provocaria uma redução considerável na produtividade, tornando-se o método pouco viável se comparado com o levantamento topográfico estação total (Cerca de 1000 pontos/dia com GPS contra aproximadamente 3500 pontos/dia com estação total).

## **6.2 Quanto às Potencialidades e as Restrições de Uso dos Produtos Cartográficos para o Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano.**

Dentre os produtos analisados nesta pesquisa, as bases cartográficas geradas a partir do Levantamento Topográfico por estação total, do Levantamento por GPS e da Restituição aerofotogramétrica, possuem precisão suficiente para atenderem as necessidades de um cadastro fiscal.

Uma desvantagem do método topográfico e por GPS, é que o produto gerado é constituído por uma carta de traço (delineamento das feições por linhas, polígonos e símbolos), não dispondo de uma imagem que permita visualizar e identificar outros elementos, importantes para o monitoramento e gerenciamento dos recursos ambientais e para o planejamento urbano.

As atividades envolvidas no monitoramento e gerenciamento de recursos naturais e no planejamento urbano dependem fundamentalmente de imagens que possibilitam a identificação de novas áreas para expansão urbana, centros esportivos

e de lazer, espécies de vegetação, nascentes e recursos hídricos, áreas de preservação ambiental, mapeamento temático dos tipos de solo, geologia, áreas de risco e outras variáveis ambientais. Nesse caso destacasse o uso a aerofotogrametria pois o seu uso se destina de imagens de alta resolução que favorece a esses estudos.

### **6.3 Recomendações**

Na elaboração do plano de voo, alguns cuidados devem ser tomados para evitar erros no processamento. Um deles diz respeito à sobreposição das imagens, que podem impedir a interpolação das imagens de até 20% da área. Outros problemas estão associados à qualidade geométrica e radiométrica das imagens, que podem ser prejudicadas se forem realizadas a partir de pontos de controle insuficientes ou de baixa sobreposição, a altura de voo é algo a ser estudado na fase de pré projeto pois a altitude interfere em todas as fases, em número de imagens, tempo de voo, processamento, qualidade do produto final, pontos de controle.

A escolha de um determinado método para a confecção de um produto cartográfico deve ser cuidadosamente analisada, pois a questão central que deve nortear a solução apontada deve considerar a finalidade da qual se destina, a qualidade técnica a ser alcançada e, principalmente, a relação custo-benefício de acordo com os objetivos do projeto, desta forma o uso de estação total, equipamentos GPS ou uso da aerofotogrametria utilizando VANT deve se fazer por um estudo amplo que venha compor uma planilha de viabilidade técnica e econômica com o uso de cada ferramenta no cadastro técnico multifinalitário.

Outro ponto a ser considerado na escolha do método a ser utilizado para o mapeamento urbano é o tamanho da área, o número de unidades imobiliárias e as características de uso e ocupação do solo. Esses fatores influenciam principalmente no custo dos levantamentos e na confecção dos produtos cartográficos, tornando-se necessária uma análise da relação custo-benefício antes de uma tomada de decisão definitiva.

## Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.133 – **Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, RJ. 1994. 35p.

NBR 14.166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal**. Rio de Janeiro, RJ. 1998. 23p.

DALLARI, Adilson Abreu; FERRAZ, Sérgio (coord.). **Estatuto da Cidade** (Comentários a Lei Federal 10.257/2001). São Paulo: Malheiros Editores, 2002, 440p.

FERNANDES, Edésio. **Regularização da Terra e Moradia**: O que é e como implementar. Instituto Pólis, ago-out 2002, 175p.

BASSUL, José Roberto. Estatuto da Cidade: **A Construção de uma Lei**. In O Estatuto da Cidade Comentado. São Paulo: Ministério das Cidades, 2010.

EMBRAPA **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3** ISSN 0100-9915

MINISTÉRIO DA DEFESA EXÉRCITO BRASILEIRO **GEOINFORMAÇÃO EB20-MC-10.209 2012**.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários**. Coord. Geral: Júnia Santa Rosa. Brasília-DF, 2010, 82p.

NASCIMENTO, Daniel Trento et al. **Estatuto da Cidade**: Um Instrumento para Participação Social na Gestão Urbana. Revista Kalysis, v. 6, n. 2, jul/dez. 2003, p. 181/192.

OLIVEIRA, Isabel Cristina Eiras. **Estatuto da Cidade para Compreender**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, 2001, 64p.

ASSAD, E. D. **Sistema de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura. 2ª Ed., ver. E amp. – Brasília: Embrapa-SPI, 2088. 434p.

BORGES, P. A. F.; VIEIRA, C. A. O. **Métodos para Controle da Acurácia e Qualidade Geométrica de Imagens Digitais**. Universidade Federal de Viçosa. MG. 2002. 4p.

[http://www.faed.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/891/introducao\\_a\\_fotogrametria.pdf](http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf)

f. Acesso em: 15 de junho de 2019.

BRITO, J.; COELHO, L. **Fotogrametria Digital**. Instituto Militar de Engenharia. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ. 2002.

LIMA, O. P.; LOCH, C. **O Uso de Câmaras Fotográficas de Pequeno Formato nos Levantamentos Cartográficos Destinados ao Cadastro Técnico Multifinalitário**. COBRAC, Florianópolis, 2008.

Furtado, V. H.; Gimenes, R.A.V.; Camargo.; J. B. J.; Almeida, J. R. J. **Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não Tripulados (vant) no espaço aéreo brasileiro**. Grupo de Análise de Segurança – GAS, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. VII Simpósio de Transporte Aéreo -Sitraer, Rio de Janeiro, 2008.

SATO, Simone Sayuri. **Aplicação e Análise da Ortofoto Digital na Definição dos Limites de Propriedade Imobiliárias** – Estudo de Caso: Imóveis da Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Florianópolis - SC, UFSC, 2006, 152p.

SCHENINI, Pedro Carlos; LOCH, Carlos. **SIG como suporte técnico para a gestão pública sustentável in Planejamento, Gestão e Legislação Territorial Urbana: Uma Abordagem Sustentável**. Florianópolis – SC: Ed. Papa-Livro, 2006, 160p.

SCHULER, Carlos Alberto Borba et al. **Fotointerpretação de Anaglifos Utilizando Imagens Digitalizadas a Partir de Scanners de Mesa e Fotogramétrico**. COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC: Florianópolis, 2006, 8p.

LOCH, Carlos. **Noções Básicas para a Interpretação de Imagens Aéreas, bem como Algumas de suas Aplicações nos Campos Profissionais**. Florianópolis, Ed. da UFSC, 1989. 2ed. 103p.

LOCH, Carlos. LAPPOLI, Edis Mafra. **Elementos Básicos da Fotogrametria e sua Utilização Prática**. Florianópolis, Ed. da UFSC, 1994.

LOCH, Carlos. ERBA, Diego Alfonso. **Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano**. Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, MA, 2007, 142p.

TEIXEIRA JUNIOR, J. B; SILVA, D.C. **Integração GPS/Câmera para um sistema de georreferenciamento Direto de Baixo Custo**. Revista Brasileira de Cartografia. N. 63. P.507-514. 2011.

KRUMENNAUER, Clóvis Ernesto et al. **Análise qualitativa e comparativa entre o Georreferenciamento de um Limite de Propriedade Rural por Carta topográfica e por Imagem de Satélite**. COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC: Florianópolis, 2006, 8p.

LEMOS II, Dalton Luiz. **Potencialidades da Fotogrametria Digital para a Delimitação e Avaliação de Unidades de Conservação**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Florianópolis - SC, UFSC, 2003, 91p.

CARDOSO, Beatriz Kauduinski. **Efeitos da Regularização Fundiária: Estudo de Caso em Assentamentos Precários de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Florianópolis - SC, UFSC, 2010, 298p.

COELHO, Luiz. BRITO, Jorge Nunes. **Fotogrametria Digital**. EdUERJ. Rio de Janeiro, 2007, 196p.

MOURO, R.C **Avaliação de produtos fotogramétricos obtidos por um veículo aéreo não tripulado (vant)**. Trabalho de graduação – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 2013.



ANEXO RELATORIO AEROFOTOGRAMETRICO PHOTOSCAN













# ANÁLISE DO USO DA AEROFOTOGRAMETRIA

RELATORIO PARA USO NO TCC

01 July 2019





# Survey Data

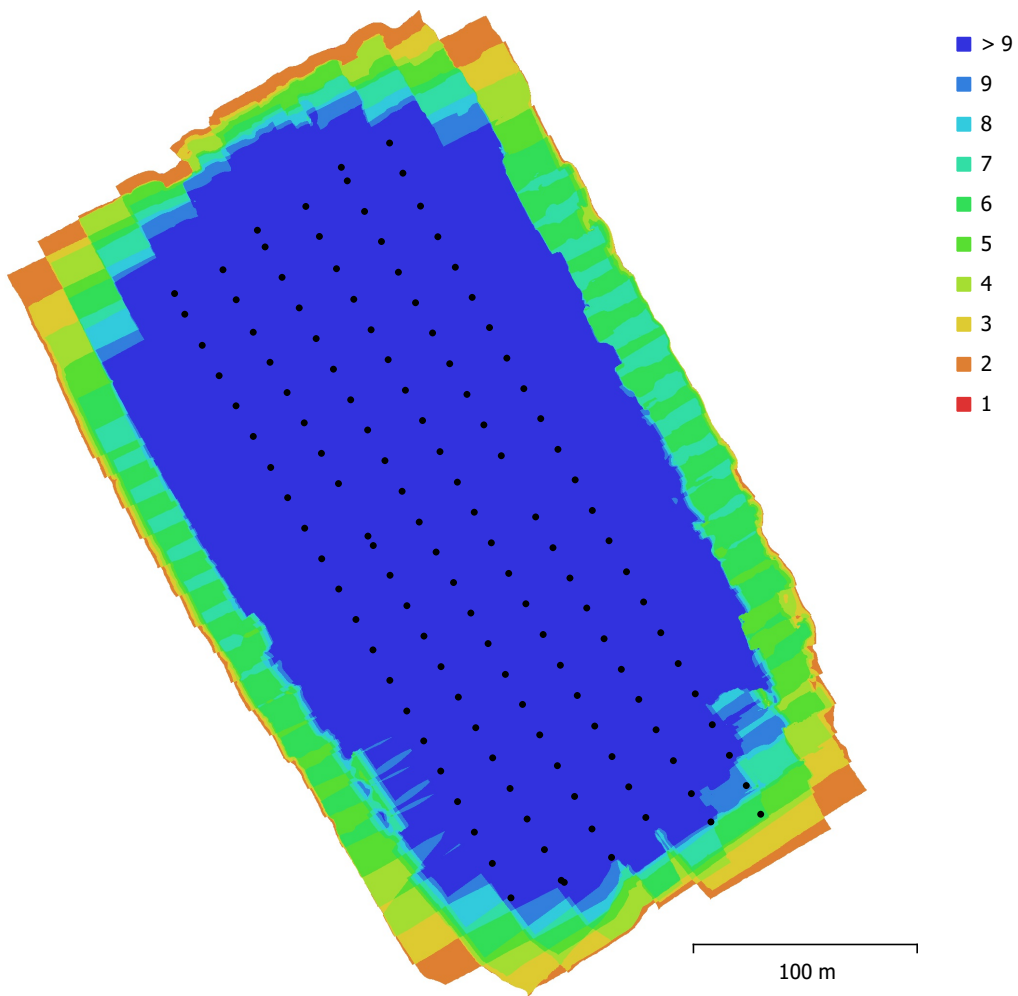


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	131	Camera stations:	131
Flying altitude:	93.5 m	Tie points:	55,975
Ground resolution:	2.5 cm/pix	Projections:	297,152
Coverage area:	0.0957 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	2.01 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

# Calibração da Câmera

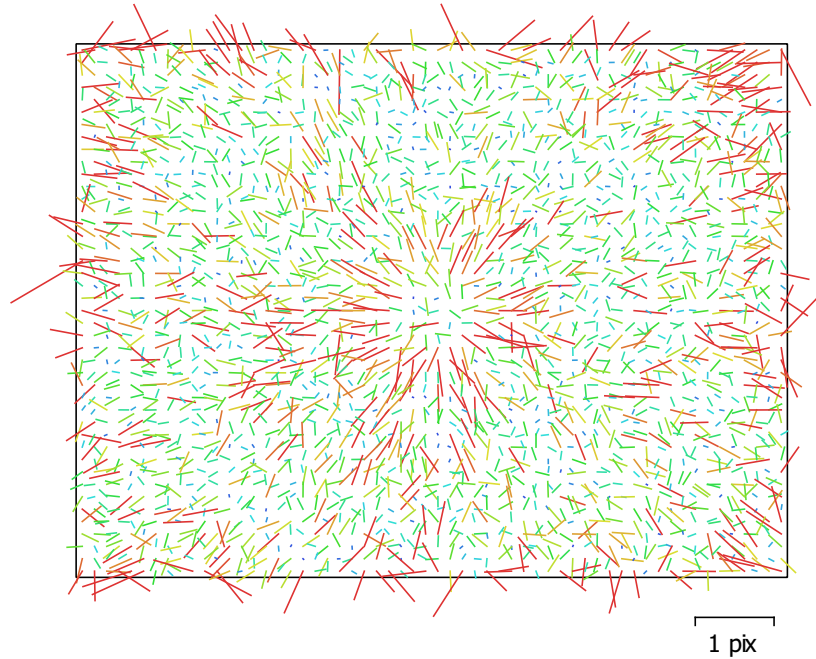


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

131 images

Type  
**Frame**

Resolution  
**4864 x 3648**

Focal Length  
**8.8 mm**

Pixel Size  
**2.61 x 2.61 um**

	Valor	Error	Cx	Cy	P1	P2
<b>F</b>	<b>3372.58</b>					
<b>Cx</b>	<b>7.67555</b>	0.09	1.00	-0.01	0.56	-0.02
<b>Cy</b>	<b>14.7734</b>	0.078		1.00	-0.00	0.48
<b>P1</b>	<b>0.000880187</b>	6.4e-006			1.00	0.00
<b>P2</b>	<b>-0.000116749</b>	5.2e-006				1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Locations

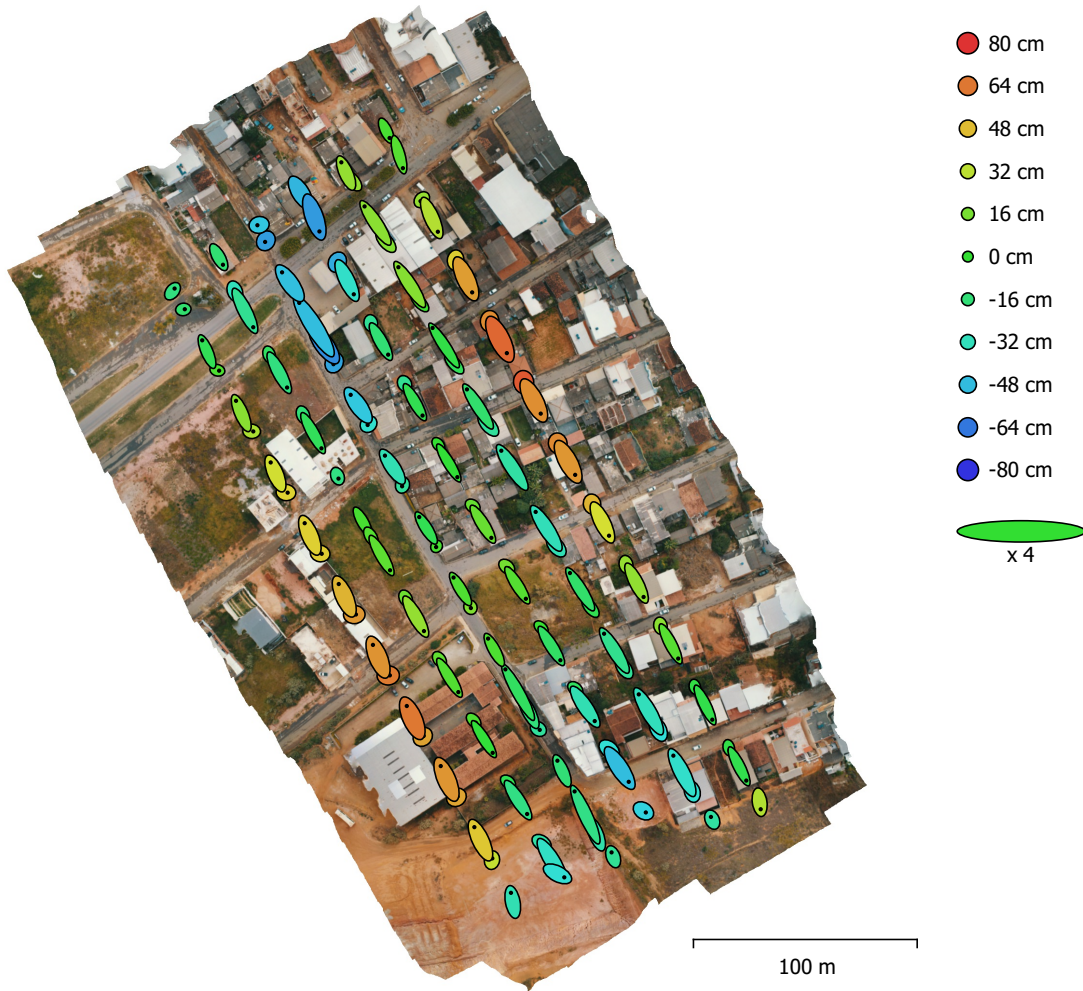


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.31205	2.29714	0.324366	2.64544	2.66525

Table 3. Average camera location error.  
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

# Digital Elevation Model

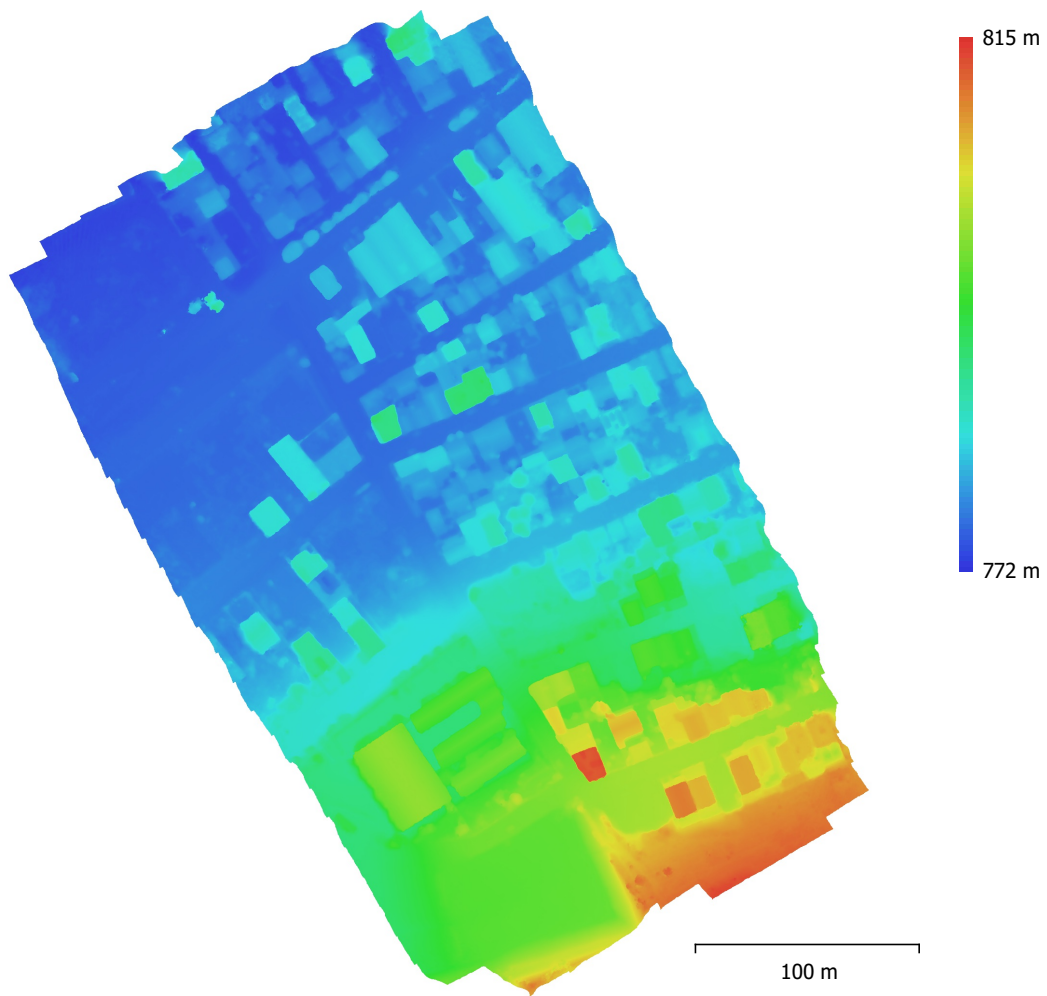


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 20 cm/pix  
Point density: 25 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

## Geral

Câmaras	131
Aligned cameras	131
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

## Nuvem de Pontos

Pontos	55,975 of 66,372
RMS reprojection error	0.129202 (2.01393 pix)
Max reprojection error	0.394825 (59.707 pix)
Mean key point size	13.6607 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	5.99559

## Parâmetros de alinhamento

Precisão	Baixa
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	30,000
Tie point limit	3,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	39 seconds
Alignment time	35 seconds

## Dense Point Cloud

Pontos	3,213,774
Cores dos pontos	3 bands, uint8

## Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	4 minutes 34 seconds
Dense cloud generation time	1 minutes 48 seconds

## Modelo

Faces	71,416
Vértices	36,448
Cores dos vértices	3 bands, uint8

## Parâmetros de reconstrução

Surface type	Arbitrário
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	71,417
Tempo de processamento	2 minutes 16 seconds

## Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

## Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	2048
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	18 minutes 42 seconds

## DEM

**Geral**

Tamanho 2,674 x 3,142  
Coordinate system WGS 84 (EPSG::4326)

**Parâmetros de reconstrução**

Source data Dense cloud  
Interpolation Enabled  
Tempo de processamento 7 seconds

**Orthomosaic**

Tamanho 15,368 x 17,640  
Coordinate system WGS 84 (EPSG::4326)  
Colors 3 bands, uint8

**Parâmetros de reconstrução**

Modo de combinação Mosaico  
Surface DEM  
Enable hole filling Sim  
Tempo de processamento 4 minutes 32 seconds

**Software**

Version 1.5.0  
Platform Windows 64