

DIOGENES CARVALHO VIANA

**ANÁLISE DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DE MDS E MDE GERADOS
POR VANT E REFINADOS COM USO DE DADOS GNSS RTK**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V614a Viana, Diogenes Carvalho, 1992-
2017 Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados
por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK / Diogenes
Carvalho Viana. – Viçosa, MG, 2017.
xi, 56f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Nilcilene das Graças Medeiros.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 50-56.

1. Modelo digital de elevação. 2. Drone. 3. Sistema de
Posicionamento Global. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 629.045

DIOGENES CARVALHO VIANA

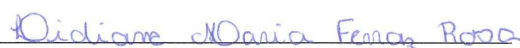
**ANÁLISE DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DE MDS E MDE GERADOS
POR VANT E REFINADOS COM USO DE DADOS GNSS RTK**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

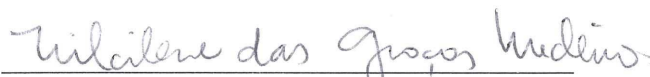
APROVADA: 19 de dezembro de 2017.



Júlio César de Oliveira



Lidiane Maria Ferraz Rosa



Nilcilene das Graças Medeiros
(Orientadora)

*Dedico o presente trabalho a minha Noiva e a
minha Família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela graça da vida, saúde e força para concretizar essa etapa da minha formação profissional.

À minha Família, em especial aos meu pais José Viana e Angela Viana, pelo apoio e incentivo e ao meu irmão Gabriel pela amizade.

À Paula Lemuchi minha noiva, por todo o amor, ajuda e incentivo, sem a sua presença não seria capaz de terminar esse trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Civil, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À professora D. Sc. Nilcilene pela orientação, paciência, amizade, dedicação que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento profissional.

Aos professores D. Sc. Afonso e Julio Cesar, pela amizade e ensinamentos, que foram de grande valia para a realização deste trabalho.

Ao professor D. Sc. Enoque, pela amizade, incentivo, ajuda e apoio na realização deste trabalho.

Aos amigos que contribuíram significativamente para a conclusão desta pesquisa, Tiago Lopes, Gabriel Passos e Luiz Márcio Junior, pela preciosa ajuda na coleta dos dados.

Ao amigo Wallace Lima pelas informações sobre a coleta de dados por VANT.

A todos que indiretamente contribuíram para a realização desta conquista.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sperry’s Aerial Torpedo, considerado o primeiro UAV do mundo.....	10
Figura 2 – V-1, UAV alemão utilizado na II Guerra Mundial.	11
Figura 3 – Evolução dos VANTs militares dos EUA. Fonte: LONGHITANO (2010).	12
Figura 4 – Fluxograma da metodologia empregada para geração de MDT utilizando VANT.	14
Figura 5 – Técnica RTK/NTRIP.	20
Figura 6 – Tipos de amostragem espacial. Na área (a) tem-se uma amostragem aleatória, em (b) uma amostragem sistemática e em (c) e (d) a junção da amostragem sistemática e aleatória.	23
Figura 7 – Limites da área de estudo.	28
Figura 8 – MDS.	30
Figura 9 – MDE gerado pela filtragem do MDS.	31
Figura 10 – Distribuição dos pontos amostrais coletados com Estação Total e receptor GNSS RTK.	32
Figura 11 – Fluxograma dos métodos realizados para refinar o MDS e o MDE.	33
Figura 12 – Dois, quatro e oito direções utilizados para amostragem.....	35
Figura 13 – Pontos amostrais selecionados nas proximidades das direções.	36
Figura 14 – Classificação do terreno quanto a declividade e pontos selecionados com base nas direções e observação da declividade.	37
Figura 15 – Malha regular usada como base para seleção dos pontos amostrais.	38
Figura 16 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo A.	41
Figura 17 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo B.....	43
Figura 18 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo C.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação das vantagens e desvantagens das técnicas RTK/UHFxRTK/GSM.	20
Quadro 2 – Resumo dos parâmetros estabelecidos no Decreto 89.817/ET-ADGV.....	25
Quadro 3 – Especificações da Estação Total utilizada no levantamento.	29
Quadro 4 – Especificações do receptor GNSS RTK utilizado no levantamento.....	29
Quadro 5 – Modelos analisados no grupo A.	34
Quadro 6 – Modelos analisados no grupo B.	37
Quadro 7 – Modelos analisados no grupo C.	39
Quadro 8 – Valores limites da PEC e do EP para suas respectivas classes.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes geométricas dos modelos do grupo A em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.	40
Tabela 2 – Classificação dos modelos do grupo A segundo Decreto 89.817/ET- CQDG.	41
Tabela 3 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes dos modelos do grupo B em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.....	42
Tabela 4 – Classificação dos modelos do grupo B segundo Decreto 89.817/ET- CQDG.	42
Tabela 5 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes dos modelos do grupo C em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.....	44
Tabela 6 – Classificação dos modelos do grupo C segundo Decreto 89.817/ET-CQDG.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BKG	<i>Bundesamt für Kartographie und Geodäsie</i>
CAA	<i>Civil Aviation Authority</i>
DDF	Dupla Diferença de Fase
DOD	<i>United States Department of Defense</i>
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
EP	Erro Padrão
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPSSR	<i>General Packet Radio Services</i>
GSM	<i>Global System of Mobile</i>
HTTP	<i>Hipertext Transfer Protocol</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno digital
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Erro Médio Quadrático)
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RRC	<i>Range Rate Correction</i>
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i>
TCP	<i>Transfer Control Protocol</i>
TTFA	<i>Time To Fix Ambiguities</i>
UAS	<i>Unmanned Aircraft System</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UFV	Universidade Federal de Viçosa
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

RESUMO

VIANA, Diogenes Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2017. **Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK.** Orientadora: Nilcilene das Graças Medeiros.

Dentre as técnicas utilizadas na aquisição de dados destacam-se os levantamentos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e levantamentos de posicionamento relativo em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*). O uso dessas duas tecnologias é de grande interesse na geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) pela praticidade e facilidade de aquisição de dados. O objetivo do estudo é avaliar a qualidade dos MDEs gerados com base nos dados de VANT e GNSS RTK, bem como propor e avaliar a integração de tais dados, visando o refinamento do MDE. A avaliação foi realizada através de coleta de dados com Estação Total e receptor GNSS RTK em uma área pertencente a Universidade Federal de Viçosa localizada na cidade de Viçosa-MG. O Modelo Digital de Superfície (MDS) foi filtrado utilizando o *software* LAStools para geração do MDE. Os dados de VANT foram refinados a partir dos dados de receptor GNSS RTK na tentativa de melhorar sua qualidade cartográfica. Na primeira abordagem foram adicionados pontos de controle obtidos por GNSS RTK nos locais onde foram geradas lacunas de dados pelo processo de filtragem. Já na segunda abordagem foram selecionados pontos de duas formas distintas: direções e malha regular. Após a seleção dos pontos calculou-se a discrepância entre os mesmos e os modelos (MDE e MDS). Assim, os valores das discrepâncias foram interpolados e cada modelo gerado foi subtraído dos modelos originais gerando um novo MDE ou MDS refinado. Todos os modelos foram validados com os pontos obtidos por topografia e classificados de acordo com o padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG. Ao avaliar os modelos gerados constatou-se que a integração dos dados obtidos por VANT com dados obtidos por receptor GNSS RTK apresentou melhoria na qualidade posicional na maioria dos modelos analisados indicando ser uma ferramenta promissora para alcançar modelos de maior qualidade cartográfica ou melhorar modelos já existentes.

ABSTRACT

VIANA, Diogenes Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2017. **Analysis of the cartographic quality of DSM and DEM generated by UAV and refined using GNSS RTK data.** Advisor: Nilcilene das Graças Medeiros.

Among the techniques used in the data acquisition, we highlight the surveys with Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Real Time Kinematic (RTK) positioning surveys. The use of these two technologies is of great interest in the generation of Digital Elevation Models (DEM) for the convenience and ease of data acquisition. The objective of the study is to evaluate the quality of the DEM generated based on the UAV and GNSS RTK data, as well as to propose and evaluate the integration of such data, aiming the refinement of the DEM. The evaluation was performed through data collection with Total Station and GNSS RTK receiver in an area belonging to the Federal University of Viçosa located in the city of Viçosa-MG. The Digital Surface Model (DSM) was filtered using the LAsTools software to generate the DEM. The UAV data were refined from GNSS RTK receiver data in an attempt to improve their cartographic quality. In the first approach were added control points obtained by GNSS RTK in the places where data gaps were generated by the filtering process. In the second approach, points were selected in two different ways: directions and regular mesh. After selecting the points, the discrepancy between them and the models (DEM and DSM) was calculated. Thus, the discrepancy values were interpolated and each generated model was subtracted from the original models generating a new refined DEM or DSM. All models were validated with the points obtained by topography and classified according to the positional accuracy pattern defined by Decree 89.817 / ET-CQDG. When evaluating the generated models it was verified that the integration of the data obtained by UAV with data obtained by GNSS RTK receiver showed improvement in positional quality in most of the analyzed models, indicating that it is a promising tool to reach models of higher cartographic quality or to improve existing models.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	4
2.1	Objetivo geral.....	4
2.2	Objetivos específicos	4
3	JUSTIFICATIVA.....	5
4	REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1	Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Elevação	7
4.2	VANT.....	10
4.3	GNSS RTK	15
4.4	Amostragem	22
4.5	Análise da Qualidade Cartográfica	24
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	Área de estudo.....	28
5.2	Equipamentos.....	29
5.3	Softwares.....	29
5.4	Geração do MDE a partir do MDS	30
5.5	Coleta de dados por Estação Total e receptor GNSS RTK.....	31
5.6	Processamento dos dados levantados por Estação Total.....	32
5.7	Métodos propostos para integração de dados VANT e RTK para refinar o MDE e MDS gerados por dados de VANT	33
5.6.1	Refinamento do MDE e do MDS corrigidos por modelo de discrepância gerados por pontos levantados por receptor GNSS RTK amostrados em direções	35
5.6.2	Refinamento do MDE e do MDS corrigidos por modelo de discrepância gerados por GNSS RTK amostrados em malha regular	38
5.8	Análise dos Modelos	39
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1	Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo A.....	40
6.2	Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo B	42

6.3	Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo C	44
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O desejo de representar e conhecer o espaço onde vivemos sempre esteve atrelado ao desenvolvimento humano. Desde os primórdios a humanidade busca modelar parte do espaço geográfico, através de estruturas abstratas a fim de se ter o registro e evolução desse ambiente, no intuito de obter meios que permitam representá-lo o mais fidedigno possível, além de elaborar produtos que auxiliem as mais diversas áreas do conhecimento.

Com a necessidade humana de representar a superfície da Terra e seus fenômenos surgiu a modelagem de superfície, termo geral utilizado para descrever o processo de representação física ou artificial da superfície por meio de uma expressão matemática. De acordo com Petrie e Kennie (1990), a modelagem de terreno é uma categoria particular de modelagem de superfície, que lida com os problemas específicos de representação da superfície da Terra. O termo "Modelo Digital de Terreno" foi originalmente formulado em 1958 por Miller e Laflamme. Desde então, o assunto desenvolveu-se consideravelmente e é atualmente uma área de atividade dentro da cartografia, agrimensura, geologia e geofísica, engenharia civil, mineração e outras áreas da ciência (PETRIE e KENNIE, 1990).

São várias as nomenclaturas utilizadas para definir a representação de modelagem do terreno, caracterizando as situações onde somente o solo é considerado, ou caracterizando também as edificações e objetos naturais.

Para a modelagem de terreno existem, dentre outros, os termos Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Superfície (MDS). Segundo Chaplot (2006), o MDE consiste numa representação numérica do relevo desconsiderando a cobertura vegetal e objetos artificiais acima deste, com uma amostragem regular que representam valores de elevação do terreno. Para Correia (2008), um MDS é similar ao MDE, embora corresponda ao modelo utilizado para descrever a superfície topográfica representada pelas elevações do terreno e de qualquer objeto existente sobre ela, como cobertura vegetal, edificações e outras estruturas.

Segundo Felgueiras e Câmara (2004) o primeiro passo para realizar uma modelagem digital é a etapa de aquisição de dados. Várias são as técnicas para esta aquisição, seja por meio de levantamentos topográficos, levantamentos por Sistema Global de Navegação por Satélite – *Global Navigation Satellite System* (GNSS), levantamentos fotogramétricos, levantamentos batimétricos, etc. Dentre elas, uma técnica que pode ser utilizada para este fim, são os levantamentos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

A tecnologia VANT pode ser apropriada para a execução de projetos de engenharia que visam à extração de informações atualizadas da superfície terrestre, exigindo a elevada

resolução espacial das imagens, associada com a necessidade de avaliações frequentes (MITISHITA et al., 2014).

Além da elevada resolução espacial que MDSs gerados por VANT oferecem, outro diferencial é a resolução temporal, pois permite a escolha do período de revisita e facilita o acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (ISIOYE e JOBIN, 2012; FIGUEIRA e OLIVEIRA, 2013). A facilidade de revisita permite o monitoramento rápido de diques, dunas, deslizamento de terra, construção civil, mina a céu aberto, colheitas, inundações, uso da terra, eventos e muitos outros objetos feitos pelo homem.

Em suma, o produto final de um levantamento feito por VANT é formado por um mosaico de ortoimagens e o MDS da área coberta pelo voo. Este mosaico é constituído por um conjunto de ortoimagens (variando em quantidade, conforme a especificação da resolução espacial escolhida), unidas sistematicamente por um ajuste e sobreposição das margens vizinhas, formando uma representação contínua da superfície sobrevoada (GALVÃO e ROSALEN, 2014).

Além dos VANTs, dentre as possibilidades existentes para geração de modelos tridimensionais de superfície tem-se o uso de receptor GNSS no levantamento de dados amostrais para a geração de MDE.

O GNSS possibilita que a posição de um ponto na superfície da Terra seja determinada em um sistema de coordenadas geodésicas. Entre as técnicas que empregam o sistema GNSS está o *Real Time Kinematic* (RTK) (MELO et al., 2011). O RTK permite ao usuário determinar a sua posição acurada em tempo real, e pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados, desde que a solução das ambiguidades obtida seja confiável (DAI et al., 2003).

Em qualquer levantamento é indispensável tratar a incerteza relacionada ao processo, seja ela proveniente da aquisição de novas feições ou gerada pelo processamento dos dados, onde está incerteza não é eliminada, mas sim tratada com o propósito de minimizá-la (ARONOFF, 1995). Para classificar as incertezas posicionais em produtos cartográficos no Brasil, tem-se como referência o Decreto 89.817, que classifica o produto em uma determinada escala e classe. O controle de qualidade é indispensável visto que informa a qualidade e assim, proporciona o emprego correto da informação (seja posicional, de atributos ou temporal) (SANTOS, 2010).

De acordo com Elmiro, Dutra e Mura (2007) pode-se distinguir duas formas gerais de correção para melhorar a qualidade posicional de Modelos Digitais de Terreno. A primeira forma baseia-se no conhecimento preciso e na modelagem adequada da natureza e magnitude

das fontes de erros envolvidas no processo de aquisição. A segunda forma geral de correção é baseada no estabelecimento de relações matemáticas de mapeamento entre coordenadas de feições imageadas (pixels) e as correspondentes coordenadas cartesianas dessas mesmas feições no terreno referenciadas a um sistema cartográfico (ELMIRO, DUTRA e MURA, 2007).

Com isso, o uso do VANT e receptor GNSS, é de grande interesse na geração de modelos digitais de elevação pela praticidade e facilidade de aquisição de dados. Se por um lado, os modelos gerados por VANT podem não apresentar a qualidade exigida para a sua empregabilidade necessitando que outra técnica seja empregada no levantamento e geração dos modelos. Por outro lado, a coleta de amostras por meio de técnicas mais precisas (GNSS RTK/Estação Total) para se atingir níveis de qualidade superior é muito onerosa. Assim, será empregado o termo refinamento para as ações que visam melhorar a qualidade posicional dos modelos obtidos por VANT com o uso de dados coletados por técnicas de coleta de dados posicionais mais precisas (GNSS RTK) que os dados coletados por VANT.

Para se ter conhecimento quanto ao potencial dessas abordagens, suas limitações, e a qualidade dos modelos gerados a partir de cada técnica, visando apresentar a indicação do uso mais adequado para tais modelos o presente estudo tem por finalidade avaliar os modelos digitais de elevação gerados pelas duas técnicas (VANT e GNSS/RTK) e propor meios de integração entre elas visando obter um modelo que apresente a melhor qualidade cartográfica possível.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor métodos de integração de dados obtidos por VANT e dados coletados por receptor GNSS RTK para geração de um MDE de melhor qualidade posicional.

2.2 Objetivos específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos são:

- Avaliar a qualidade posicional altimétrica do MDS, gerado a partir de dados de aerolevanteamento utilizando VANT.
- Avaliar a qualidade posicional altimétrica do MDE gerado após filtragem do MDS gerado utilizando VANT.
- Avaliar a qualidade posicional altimétrica de MDEs gerados a partir de uma nova filtragem do MDS, considerando a inserção de pontos obtidos por receptor GNSS RTK no processo de interpolação para locais onde a filtragem gerou lacunas na nuvem de pontos.
- Propor métodos de integração de dados obtidos por VANT com dados obtidos por receptor GNSS RTK para a geração de um MDE de melhor qualidade posicional.
- Avaliar a qualidade posicional dos modelos gerados pelos métodos propostos.

3 JUSTIFICATIVA

A modelagem tridimensional digital da superfície terrestre possui em diversas áreas do conhecimento uma gama de aplicações, como a simulação de cheias, delimitação e análise de bacias hidrográficas e redes de drenagem, a erosão do solo e transporte de sedimentos, a avaliação geomorfológica do relevo, aplicações militares, correção do efeito da altitude no processo de ortorretificação de imagens, entre outras (PECKHAM e JORDAN, 2007).

Dentre as possibilidades para obtenção de MDEs, atualmente tem-se o uso dos VANTs que em pouco tempo ganhou representatividade na aquisição de dados na fotogrametria. Os VANTs se tornaram equipamentos amplamente utilizados para coleta de dados fotogramétricos no Brasil, entretanto, existe uma carência de estudos que avaliem a qualidade posicional dos modelos digitais gerados por tais equipamentos.

A ausência de mapas atualizados em grandes escalas de representação tem impulsionado a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados para a geração de mapas por diversos profissionais (BRAZ et al., 2015).

Em concomitância com os VANTs, a tecnologia de obtenção de dados por GNSS RTK se popularizou por permitir ao usuário coletar dados posicionais em tempo real alcançando precisão centimétrica, mostrando ser mais produtiva que o posicionamento GNSS estático ou um levantamento topográfico tradicional. A grande utilização do RTK está associada ao aumento da demanda por informações espaciais de alta qualidade e em tempo real (BARBOSA et al., 2010).

No processo de construção da modelagem digital da superfície terrestre, uma amostragem mais fidedigna do terreno a ser modelado depende da precisão de observação, densidade e distribuição dos pontos (LI et al., 2005). Logo, o número de pontos amostrados está diretamente relacionado a qualidade do modelo gerado, e tendo em vista, que a utilização da tecnologia GNSS RTK possibilita rapidez e precisão no levantamento realizado, o mesmo apresenta-se com elevado potencial na geração de MDEs em pequenas áreas.

Segundo Santos (2010), dados cartográficos inúmeras vezes são utilizados sem o conhecimento de sua qualidade cartográfica, o que leva ao uso inapropriado e compromete os produtos gerados. Tais produtos são a base para eventuais planejamentos territoriais que exigem determinado padrão de qualidade, e caso o padrão exigido não seja adequado, todos os resultados alcançados a partir dos produtos serão comprometidos.

Os modelos gerados por VANT podem não apresentar a qualidade posicional exigida para a sua empregabilidade necessitando que outra técnica seja empregada para melhorar a

qualidade posicional dos modelos originais obtidos por VANT. Assim, o refinamento de modelos obtidos por VANT com o uso de dados coletados por técnicas de coleta de dados posicionais mais precisas que os dados coletados por VANT é uma importante estratégia a ser estudada.

Com base no exposto, este estudo se justifica por avaliar a qualidade dos MDEs gerados com base nos dados de VANT e GNSS RTK, bem como o refinamento dos modelos obtidos por VANT com pontos obtidos por receptor GNSS RTK, visando a melhora da qualidade posicional do MDE final.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Elevação

Existe uma necessidade crescente de obter modelos tridimensionais para várias aplicações, como no planejamento de cidades, investigação de microclima, planejamento de transmissores de telecomunicações, simulação de ruído, cidades virtuais realistas, etc. Tradicionalmente, a fotogrametria é uma importante ferramenta na aquisição de dados 3D, e durante a última década, os métodos fotogramétricos digitais para o fornecimento de Modelo Digital de Superfície digital (MDS), ou Modelo Digital de Terreno digital (MDT) têm se tornado amplamente utilizados devido a eficiência e rentabilidade do processo de produção (ZHOU et al., 1999).

São vários os termos utilizados para definição de um modelo digital tridimensional. O primeiro termo, Modelo Digital de Terreno (MDT), foi utilizado por dois engenheiros americanos do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) no final da década de 1950. O MDT é uma representação estatística da superfície contínua do terreno, a partir de um grande número de pontos selecionados com coordenadas tridimensionais conhecidas, num sistema de coordenadas arbitrário (MILLER e LAFLAMME, 1958).

Vários outros termos, como o Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Altura (MDA), Modelo Digital de Superfície (MDS) e Dados de Elevação Digital do Terreno (DEDT) foram combinados para descrever e representar o terreno (PETRIE e KENNIE, 1990).

Não existe uma terminologia padronizada para se referir aos diferentes modelos, cada país ou organização se refere aos termos de diferentes formas. Assim, são apresentadas abaixo, as terminologias adotadas neste trabalho:

Modelo Digital de Terreno (MDT) – o termo ‘terreno’ pode apresentar diferentes significados e diferentes interpretações. Do ponto de vista de agrimensores e cartógrafos o estudo do MDT visa à interpretação do relevo e dos objetos localizados sobre este. O termo MDT é utilizado em outras áreas das ciências, pois emprega informações topográficas e não topográficas para sua construção de acordo com o enfoque de seu estudo, podendo conter informações de solos, clima, temperatura, dentre outras (OLIVEIRA, 2011). Li et al. (2005) propõem uma definição geral de MDT como: “Um MDT é um conjunto ordenado de pontos amostrais que representam a distribuição espacial de diferentes tipos de informação sobre o terreno”.

Modelo Digital de Elevação (MDE) – é uma particularização do MDT, onde a informação é a elevação do relevo (LI et al., 2005). Segundo Maune et al. (2001), é um modelo para representação digital de superfícies topográficas ou batimétricas do terreno, sem quaisquer edificações ou cobertura vegetal, e é utilizado como sinônimo de MDT em alguns países.

Modelo Digital de Superfície (MDS) - segundo Correia (2008) um MDS é similar ao MDE, embora corresponda ao modelo utilizado para descrever a superfície topográfica representada pelas elevações do terreno e de qualquer objeto existente sobre ela, como cobertura vegetal, edificações e outras estruturas.

De modo geral, o processo para obtenção de uma modelagem digital é custoso e demorado. Muitos estudos nos campos da fotogrametria e visão computacional já foram realizados para desenvolver um sistema abrangente e de alta confiabilidade, com automação completa ou semiautomática para facilitar a interação homem-computador. No entanto, a extração automática de informações ainda é um problema não resolvido. Muitos esforços para solucionar os problemas acima mencionados ainda são necessários (ZHOU et al., 2004).

De modo específico, a modelagem digital do relevo da superfície terrestre é onerosa por necessitar de aquisição em campo de informações da superfície do terreno. Dessa forma nos últimos anos tecnologias surgiram para minimizar o custo operacional do levantamento em campo em contrapartida ocorre o aumento no custo dos equipamentos.

Geralmente, a qualidade do modelo diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta, levando em conta que os pontos têm a mesma qualidade posicional. Isso ocorre, porque o interpolador utiliza as informações dos pontos mais próximos para inferir sobre os demais pontos que não contém dados amostrais. Segundo a Primeira Lei da Geografia (TOBLER, 1970, p.236) “Tudo está relacionado com tudo, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas entre si do que as mais distantes”, ou seja, quanto maior a distância entre os pontos amostras e os pontos onde o interpolador precisará inferir sobre sua posição altimétrica, menor será a correlação entre eles, aumentando a incerteza da coordenada altimétrica estimada.

Um MDS pode ser construído digitalizando mapas topográficos existentes (GAO, 1995), usando fotografias aéreas estereoscópicas (SMITH e SMITH, 1996), imagens orbitais ou através da interpolação de pontos amostrados no terreno por diferentes técnicas de coleta de dados posicionais. Com o avanço da fotogrametria digital, os MDSs puderam ser gerados utilizando imagens obtidas através de VANTs.

A modelagem digital de elevação pode ser resumida em quatro etapas (LI et al., 2005): 1) Aquisição de dados, 2) computação e modelagem dos dados brutos, 3) gerenciamento e manipulação dos dados, e 4) Aplicação dos modelos gerados. Na primeira fase da aquisição de dados para geração de um MDE, são efetuados levantamentos de “pontos notáveis” do terreno por meio de técnicas pontuais de aquisição de dados, digitalização de mapas com informações de relevo ou então se levanta a área por meio de sensores ou radares (SANTOS et al., 2008). Os pontos são coletados para representar feições topográficas importantes, normalmente representativas de discontinuidades na inclinação do terreno. Em cada ponto levantado, são coletados dados para se obter as informações planimétricas (X,Y) e as altimétricas (Z)(SANTOS et al., 2008).

A segunda etapa consiste na interpolação da amostra para toda a área de interesse, ou seja, recriação digital da superfície. A terceira etapa consiste na manipulação dos dados para melhor atender a finalidade para a qual o modelo foi gerado. E a última etapa consiste na utilização dos modelos e aplicações em diversas finalidades (LI et al., 2005). Pode-se acrescentar outra etapa que é a análise da qualidade cartográfica do modelo gerado para se determinar em quais aplicações o mesmo poderá ser aplicado.

Deve-se coletar uma amostra de dados ajustada em número e distribuição espacial com a precisão solicitada para a modelagem do terreno, no levantamento. Segundo Santos et al. (2008), quanto maior a complexidade da topografia, maior deve ser o número de pontos notáveis levantados. Os maiores problemas na interpolação são ocasionados por erros observacionais, subamostragem (amostragem insuficiente) e superamostragem (amostragem redundante). A subamostragem, por ausência de informação, origina modelos pobres, com tendência de suavizar o terreno. A superamostragem, por excesso de informação, sobrecarrega o sistema e encarece desnecessariamente o levantamento (SANTOS et al., 2008).

Os dados com distribuição espacial podem ser distribuídos de duas maneiras: em malha, com espaçamento regular, geometria e origem definidas, ou, aleatoriamente, sem um arranjo geométrico preferencial. De acordo com Yamamoto (1998), os dados podem ser submetidos a processos determinísticos de interpolação (triangulação com interpolação linear, inverso ponderado da distância, curvatura mínima, etc.) ou probabilísticos (estimadores krigagem). Ao realizar a interpolação, os dados que eram pontuais servem como base para o cálculo do modelo (superfície) digital de elevação. O MDE gerado está sujeito aos erros de amostragem e incertezas geradas no processo de interpolação. Como todo modelo sujeito a erros faz-se necessário a avaliação da qualidade cartográfica do modelo gerado.

O uso do VANT e receptor GNSS, é de grande interesse na geração de modelos digitais de elevação pela praticidade e facilidade de aquisição de dados.

4.2 VANT

4.2.1 História dos VANTs

Os primeiros registros de VANTs na história mundial é bastante antiga. Segundo Brandão et al. (2007), o primeiro registro sobre a criação de um VANT foi no início do século XVIII, quando o Padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão construiu um balão de ar quente, e realizou o primeiro voo demonstrativo em outubro de 1709, em Lisboa, Portugal.

Já a utilização de VANTs em operações de guerra possui o seu primeiro relato em 22 de agosto de 1849, quando os Austríacos lançaram cerca de 200 balões não tripulados com explosivos contra a cidade de Veneza, Itália. Os balões estavam armados com bombas controladas por fusíveis cronometrados, e eram direcionados pela ação do vento. Alguns dos balões explodiram, outros tiveram seu percurso modificado pelo vento (RPAV, 2003).

Em 1883, um inglês chamado Douglas Archibald anexou um anemômetro à linha de uma pipa e mediu a velocidade do vento em altitudes até 1.200 pés. Já em 1887, Archibald anexou câmeras às pipas, fornecendo um dos primeiros UAVs de reconhecimento do mundo (FAHLSTROM e GLEASON, 2012).

Entretanto, acredita-se que o primeiro VANT que tenha levantado voo com sucesso no mundo tenha sido o *Sperry's Aerial Torpedo* (Figura 1), construído no ano de 1917 por Lawrence e Elmer Sperry. O veículo realizou vários voos bem-sucedidos no aeródromo de Long Island, New York (FAHLSTROM e GLEASON, 2012).



Figura 1 – Sperry's Aerial Torpedo, considerado o primeiro UAV do mundo.
Fonte: ALVES NETO (2008).

As vantagens da utilização de um veículo aéreo não tripulado para as forças militares gerou um crescimento na utilização desses sistemas. Neste sentido, os perigos relacionados à vida do piloto, acidentes e captura pelo inimigo, são excluídos, tornando os VANTs melhores para missões de ataque, espionagem, reconhecimento e etc (OLIVEIRA, 2009).

Durante a Segunda Guerra Mundial a Alemanha construiu um VANT, o *Vergeltungswaffe*, a bomba voadora mais conhecida como V-1 (BONE e BOLKCOM, 2003). O V-1 (Figura 2) era um veículo aéreo não tripulado com uma vida útil muito curta. Ele era capaz de realizar somente um voo de forma eficaz. Segundo Alves Neto (2008), o V-1 conseguia voar a uma velocidade de 750 km/h e “em seu primeiro voo, essa aeronave fez um voo programado de 240 quilômetros, matando mais de 900 pessoas e ferindo outras 35000 em cidades inglesas no ano de 1944” (ALVES NETO, 2008, p.5).

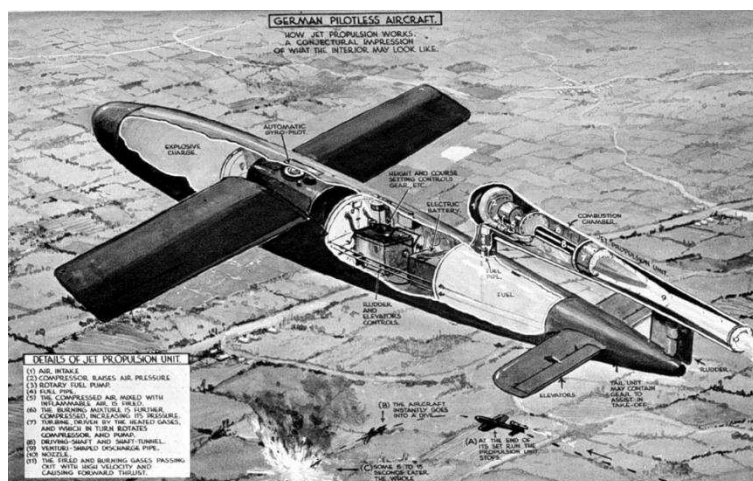


Figura 2 – V-1, UAV alemão utilizado na II Guerra Mundial.
Fonte: ALVES NETO (2008).

A era de modernização dos VANTs ocorreu na década de 70. Foi nesse período que o Estados Unidos e Israel começaram a desenvolver VANTs mais baratos e menores. Ao longo da década de 1970 e 1980, a Força Aérea israelense foi pioneira em vários veículos novos que foram eventualmente utilizados nas frotas de outros países no final dos anos 80 e início dos anos 90, incluindo os EUA (DEGARMO, 2004).

De acordo com DeGarmo (2004), foi durante a década de 1990 que os UAV ganharam ampla aceitação como uma ferramenta militar útil. A Figura 3 ilustra a representação da evolução cronológica dos VANTs militares dos EUA.

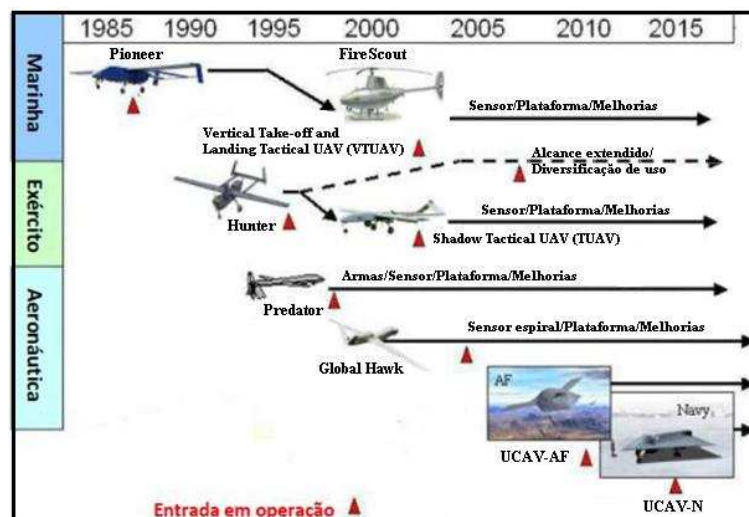


Figura 3 – Evolução dos VANTs militares dos EUA.
Fonte: LONGHITANO (2010).

A tendência é que a tecnologia não pare de avançar tanto na área militar quanto na área de uso civil. Com o emprego dos VANTs na área civil os modelos se diversificaram podendo ser classificados quanto a sua concepção como: dirigíveis, helicópteros, aviões ou quadricóptero, hexacóptero ou multicóptero (prefixo determinado pela quantidade de motores).

As aeronaves não tripuladas tiveram um grande desenvolvimento na última década disseminando-se pelo mundo. A evolução dos sistemas de navegação por satélite, a redução do tamanho dos sistemas inerciais, câmeras digitais leves e compactas e programas computacionais capazes de gerar ortomosaicos em processos semiautomáticos foram os responsáveis pela popularização dos VANTs (ALVES JÚNIOR, 2015).

4.2.2 Definições

VANT é uma abreviatura em português para o termo Veículo Aéreo Não Tripulado, sendo na literatura mais recorrente o termo em inglês para *Unmanned Aerial Vehicle* ou *Unmanned Airborne Vehicle* – (UAV). Os VANT são pequenas aeronaves que de forma remota realizam múltiplas funções como mapeamento, monitoramento, vigilância entre outras (MEDEIROS, 2007).

A definição de VANT ou UAV segundo o relatório do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD, 2005) é entendida como:

“Um veículo aéreo motorizado que não possui um operador humano, usa forças aerodinâmicas para ganhar altitude, pode voar de forma autônoma ou ser pilotado remotamente, pode ser descartável ou recuperável, e pode carregar uma carga letal ou não letal (DOD, 2005, p.1).”

A Instrução Suplementar - IS Nº 21-002A da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), publicada em outubro de 2012, define VANT como:

“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, p.3).”

Outro termo utilizado é *Unmanned Aircraft System* (UAS) definido pela Federal Aviation Administration do EUA (FAA) que abrange tanto a aeronave quanto os elementos associados, tais como estação de controle, *links* de comunicação, equipamentos de navegação, entre outros componentes necessários para operar a aeronave não tripulada (FAA, 2017).

Enquanto o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e a Civil Aviation Authority (CAA) do Reino Unido preferem o termo "UAS" (Colomina e Molina, 2014), a International Civil Aviation Organization (ICAO) adotou para esse tipo de aeronave o termo RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). A ICAO (2011) define RPAS como:

"Um conjunto de elementos configuráveis que consistem em aeronaves pilotadas remotamente, suas estações de controle remoto associadas, os enlaces de comando e controle necessários e quaisquer outros elementos do sistema que possam ser necessários, em qualquer ponto durante a operação de voo (ICAO, 2011, p.10). ”

São diversas as nomenclaturas existentes na literatura para o termo “veículos aéreos não tripulados”. O termo “drone” que origina do inglês, em português significa “zangão” segundo Longhitano (2010), e normalmente apresentam uma robótica mais acentuada e maior autonomia na operação. Embora existam diferentes nomenclaturas, para o presente estudo, será utilizado o termo brasileiro Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

4.2.3 Etapas do levantamento realizado por VANT

As etapas de levantamento realizado por VANT, descritas por Silva et al. (2015) como sendo: planejamento de voo, execução do voo, pós-voo e avaliação, podem ser visualizadas na Figura 4.

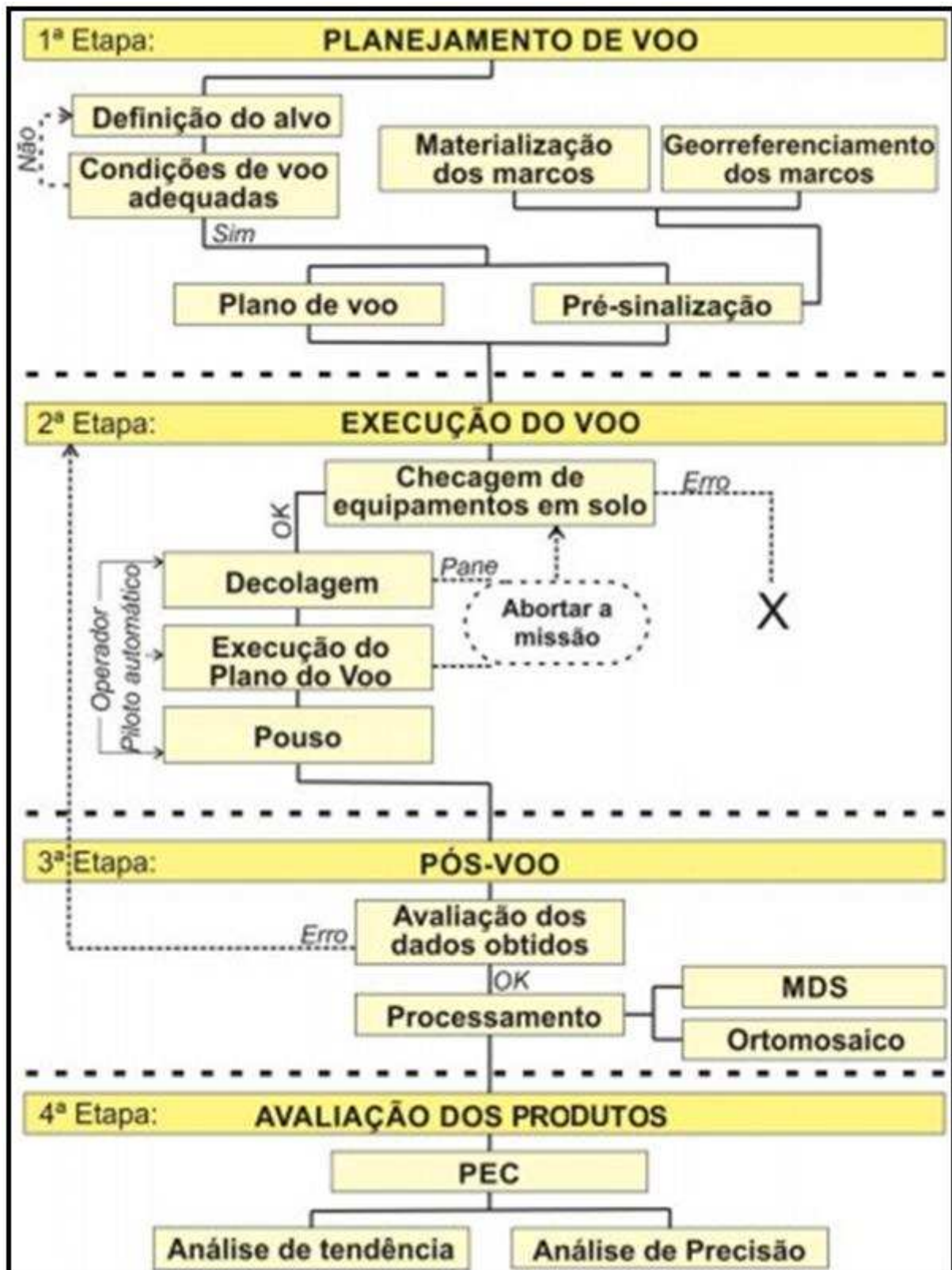


Figura 4 – Fluxograma da metodologia empregada para geração de MDT utilizando VANT.
Fonte: SILVA et al. (2015).

A 1ª etapa de levantamento realizado por VANT é o planejamento do voo em que se define o alvo a ser sobrevoado, analisando se o local apresenta condições necessárias para

realizar o voo e solicita-se uma autorização das autoridades competentes. Logo que as condições para realização do voo estejam adequadas, é realizado então o plano de voo a ser executado pelo VANT e a sinalização da área de cobertura, na qual se materializa pontos do terreno possíveis de serem identificados nas fotos aéreas, para que sejam utilizados para uma orientação mais precisa das aerofotos (SILVA et al., 2016).

A 2ª etapa é a execução do voo iniciada com a verificação dos equipamentos em solo. Após essa verificação realiza-se a decolagem e ao atingir a altura de voo pré-estabelecida, o piloto automático é acionado, passando a executar o plano de voo elaborado na etapa anterior. Todo o voo é controlado pela base em solo, que em tempo real contempla o vídeo da câmera frontal do VANT juntamente com os dados de telemetria (altitude, velocidade, localização, número de satélites captados pelo receptor GNSS e carga da bateria). Após o plano de voo ser finalizado a aeronave sobrevoa a base em círculo até que o operador realize o pouso de forma manual (SILVA et al., 2016).

No pós-voo é feita uma verificação dos dados coletados, com o intuito de averiguar a qualidade da imagem quanto ao contraste e nitidez, além disso, verifica-se toda a trilha do voo foi registrada sem interrupções e também se durante o voo devido ao vento, o VANT não se distanciou demais da linha de voo, acarretando consequentemente, na perda do recobrimento lateral das fotografias. Caso tudo tenha corrido dentro do esperado, inicia-se a fase de processamento onde é gerada uma nuvem de pontos necessária para geração dos MDSs, MDTs e ortoimagens, utilizando o *software* de pós-processamento (SILVA et al., 2016).

A 4ª e última etapa é a classificação dos produtos gerados quanto a qualidade cartográfica. Para isso é necessária uma amostra de pontos coletados por uma técnica de coleta de dados posicionais mais precisa que o VANT. Geralmente são utilizados pontos coletados por receptor GNSS, com isso são geradas as discrepâncias entre os valores obtidos pelas duas técnicas e calculado o valor do RMS. A partir dos valores de discrepância e erro padrão o produto gerado é classificado segundo o padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG e testado quanto a tendência e precisão.

4.3 GNSS RTK

O *Real-Time Kinematic* (RTK) é a técnica de posicionamento relativo em tempo real que tem sido muito utilizada, pois permite ao usuário determinar a sua posição acurada em tempo real. O RTK surgiu no início dos anos 90, na época a fase da onda portadora era utilizada

para se obter um posicionamento com alta acurácia em tempo real fazendo uso de receptores em movimento (LANGLEY, 1998).

Nos anos 80 a técnica *Differential Global Positioning System* (DGPS) já era capaz de oferecer um posicionamento em tempo real, porém devido ao uso da pseudo distância, os resultados estavam sujeitos a erros que variavam de 0,5 a 5m. A alta acurácia no posicionamento em tempo real foi possível devido a transmissão de dados de uma estação de referência para o receptor em movimento, por meio de um link de rádio ou conexão de internet, princípio esse utilizado na técnica denominada RTK (PINTO, 2000).

Segundo Monico (2008), posicionamento é a determinação da posição de objetos com relação a um referencial. O posicionamento é absoluto quando as coordenadas são determinadas diretamente por um único receptor, e quando as coordenadas são determinadas com relação a um ou mais vértices materializados de coordenadas conhecidas, o posicionamento é denominado relativo. Mônico (2008) classifica o posicionamento em:

- Posicionamento pelo método absoluto: simples ou preciso;
- Posicionamento pelo método relativo: estático, estático rápido, semi-cinemático, cinemático e cinemático em tempo real.

Por possibilitar a determinação de posição em tempo real sem a necessidade de um pós-processamento, o posicionamento relativo em tempo real (RTK) se difundiu e tornou-se muito popular no ramo da geodésia. O RTK pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um pós-processamento dos dados, uma vez que a solução das ambiguidades obtida for confiável (DAI et al., 2003).

Para realizar o posicionamento pela técnica RTK são utilizados no mínimo dois receptores coletando dados contínua e simultaneamente. Um dos receptores é denominado receptor de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. A base é responsável por enviar correções ao receptor móvel através de um *link* (sinal de rádio ou internet). O outro receptor (receptor móvel) é posicionado no ponto de interesse para fornecer suas coordenadas em tempo real considerando as correções recebidas através do *link* (BARBOSA et al., 2010).

A tecnologia RTK é baseada nas seguintes características (SEEBER, 2003):

- Transmissão em tempo real dos dados da fase da onda portadora e pseudodistância da estação base para a estação móvel ou as correções das mesmas;
- Resolução da ambiguidade para a estação móvel com solução quase que em tempo real (*on the way* ou *on the fly*);

- Determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real ou quase em tempo real.

Conforme Seeber (2003), em uma configuração RTK, o receptor de referência de GNSS (geralmente estacionário) transmite dados de pseudodistância e fase da onda portadora através de um *link* para o receptor móvel. Os receptores GNSS podem ser de frequência única ou dupla. Os equipamentos de dupla frequência facilitam a resolução da ambiguidade (mais rápido e mais confiável).

Para se realizar um levantamento através do RTK, o RTCM SC-104 (*Rádio Technical Commission for Maritime Services Special Commite 104*), que delineou o formato de mensagens DGPS, acrescentou quatro novos tipos de mensagens. Esses quatro tipos de mensagens consistem em dois pares de mensagens. Os tipos 18 e 19 contém as medidas das fases da portadora e da pseudodistância na forma original, feitas na estação de referência. Mensagens tipo 20 e 21, contém as correções correspondentes baseadas nas posições conhecidas da estação de referência, das posições dos satélites, e o comportamento de seus relógios em comparação com as mensagens transmitidas. Os efeitos da refração atmosférica não são considerados (SEEBER, 2003; MONICO, 2007).

De acordo com Silva (2014) o posicionamento por RTK exige que os dados sejam transmitidos do receptor base para o receptor móvel, esta transmissão se dá no formato de mensagem RTCM nas versões 2.3, 3.0 e 3.1. A versão 2.3 admite correções ou a transmissão de dados entre uma estação de referência base e uma estação móvel. A versão 3.0 foi cogitada para desempenho do RTK em rede, levando em conta as atualizações dos sistemas GPS e GLONASS e incorpora os sinais L5 e L2C. A versão 3.1 introduz as correções em rede, tendência atual nos países que possuem uma ampla rede de estações de referência ativa (SILVA, 2014).

Os receptores da base e da estação móvel podem ser de simples ou dupla frequência, um conjunto de rádio e suas respectivas antenas de transmissão e recepção. As altas precisões obtidas nas operações RTK se dão pela capacidade de resolução da ambiguidade enquanto o receptor está se movimentando. Caso o software de processamento da estação móvel simplesmente estima a ambiguidade como um valor real, o resultado é denominado solução “float” que atinge acurácia no nível do metro ao nível do decímetro (PINTO, 2000).

O receptor base pode transmitir além das correções diferenciais de fase, as observações da pseudodistância e da fase da onda portadora no formato RTCM SC-104. O software do receptor móvel aplica diretamente as correções diferenciais de fase. Já a pseudodistância e as

observações de fase são utilizadas nos algoritmos de dupla diferença de fase (DDF), proporcionando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real (MONICO, 2008).

Só é possível obter precisão centimétrica caso haja solução das ambiguidades inteiras enquanto o receptor está em movimento. Para que se tenha solução é feito o emprego das técnicas “*on-the-fly*” (OTF) ou “*on-the-way*” (OTW). O período de fixação das ambiguidades (TTFA - *time to fix ambiguities*) será diretamente proporcional a distância entre a base e a estação móvel, podendo ser semelhante a apenas uma época, sob condições favoráveis e para curtas distâncias. Logo, o TTFA torna-se um dos fatores limitantes no emprego da técnica RTK (SEEBER, 2003).

É necessário no posicionamento diferencial de precisão realizar a inicialização, processo que consiste na fixação inicial das ambiguidades inteiras. Após a inicialização a estação móvel tem condições de calcular a pseudodistância a partir da fase da portadora acumulada. Caso haja perda de sinal, o cálculo da pseudodistância sofrerá uma alteração de um determinado número de ciclos inteiros, sendo necessária uma nova inicialização (RAMOS, 2007).

Segundo Seeber (2003), existem quatro tipos de estratégias para o cálculo das ambiguidades:

- Método geométrico (domínio das coordenadas);
- Combinações de observações de fase e código (domínio das observações);
- Métodos de busca das ambiguidades (domínio das ambiguidades); ou
- Métodos combinados.

O RTK exige transmissão de dados entre a estação de referência e a estação móvel, essa transmissão é feita via *link* de rádio ou algum outro meio de comunicação, por exemplo, a internet (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Enquanto as mensagens RTCM SC-104 para DGPS são normalmente transmitidas em 200 bits por segundo, os dados para uso RTK devido a grande quantidade de dados a serem transmitidos, associada a altas taxas de atualização necessárias para a precisão centimétrica, necessitam de taxas mínimas de 2.400 bits por segundo, exigindo o uso de VHF ou UHF que possui alcance limitado a linha do horizonte. Devido ao uso de VHF/UHF o alcance gira em torno de 15 km. A Figura 12 esquematiza a utilização de rádios para o envio da observação de fase (PINTO, 2000).

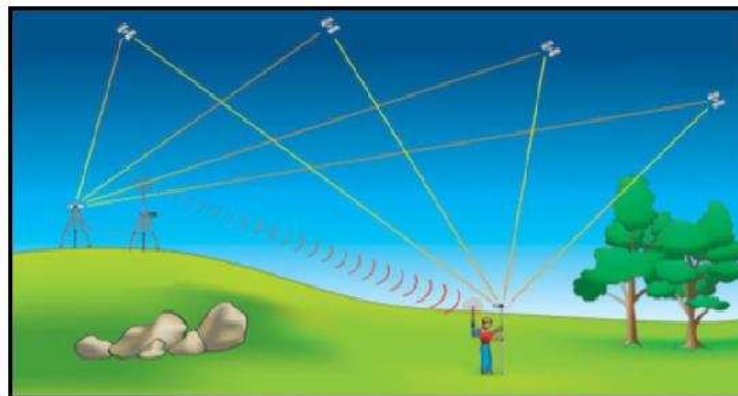


Figura 12 – Técnica RTK/UHF.
Fonte: Adaptado GUANDALINI (2012).

Com a facilidade de acesso a *internet* atualmente essa técnica é utilizada para transportar as mensagens *RTCM*. Para realizar a transmissão de dados GNSS pela *internet* a Agência Federal de Cartografia e Geodesia (BKG - *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*) em cooperação com a Universidade de Dortmund, desenvolveu o protocolo denominado NTRIP (*Network Transport of RTCM via Internet Protocol*) que consiste em um protocolo genérico baseado em HTTP (*Hypertext Transfer Protocol* – Protocolo de Transferência de Hipertexto) (WEBER et al., 2005; CHEN et al., 2004).

O protocolo NTRIP foi desenvolvido de modo a distribuir dados GNSS continuamente a um receptor estático ou móvel via *internet*, inclusive a *wireless* e 3G. O avanço da cobertura de telefonia móvel do tipo GSM/GPRS, possibilitando assim o acesso a *internet* móvel, foi de grande incentivo para o desenvolvimento do protocolo NTRIP (COSTA et al., 2008).

COSTA et al. (2008) considera que as principais características do protocolo NTRIP são:

- Está baseado em HTTP (Hypertext Transfer Protocol);
- Têm a disponibilidade de distribuir qualquer tipo de dado GNSS em fluxo;
- Têm a capacidade de aceitar uma grande quantidade de usuários simultaneamente;
- O acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade do usuário estar em contato direto com as estações de referência;
- Está habilitado a fornecer o fluxo de dados por meio de qualquer rede móvel TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*);
- A largura de banda necessária para disseminar as correções GNSS é relativamente pequena. Aproximadamente 0,5 Kb/s para DGPS e 5 Kb/s para RTK.

A Figura 5 ilustra a utilização da infraestrutura existente da conexão GSM/GPRS, realizando a comunicação entre o receptor base para o móvel.

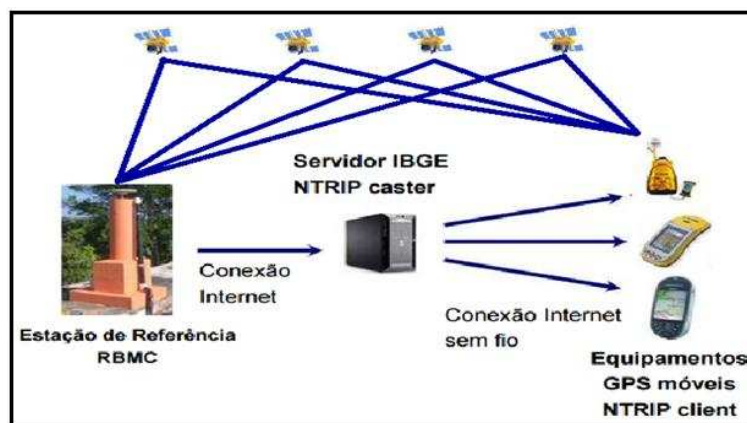


Figura 5 – Técnica RTK/NTRIP.
 Fonte: Adaptado de COSTA et al. (2008).

Segundo Guadalini (2012), a utilização da técnica RTK/GSM está relacionada ao número de ERAs (Estações de Referência Ativa) GNSS implantadas numa região, bem como da cobertura GSM na região. Devido a extensão territorial brasileira a utilização da técnica RTK/GSM se restringe a apenas alguns centros urbanos devido à falta tanto de cobertura GSM como de ERAs. Mesmo com todas as vantagens do RTK/GSM sobre o RTK/UHF, no Brasil a técnica utilizando sinal VHF/UHF ainda é mais utilizada que o RTK/GSM devido à falta de cobertura (GUADALINI, 2012).

Na Quadro 1 são listadas as principais vantagens e desvantagens de cada técnica (GUADALINI, 2012).

Quadro 1 – Comparação das vantagens e desvantagens das técnicas RTK/UHFxRTK/GSM.

	Técnica RTK/UHF	Técnica RTK/GSM
Vantagens	• Sistema de trabalho independente da cobertura GSM; • Envio das observações de fase sem custo adicional;	• Custo baixo do sistema completo; • Equipe de campo com apenas um profissional; • Não há limitações topográficas para envio da observação de fase; • Aumento na produtividade dos projetos realizados;
Desvantagens	• Custo elevado do sistema completo; • Limitações de alcance dos rádios devido a obstáculos topográficos; • Receptor base com grande número de periféricos em campo; • Necessita trocar a posição do receptor base conforme o trabalho de campo; • Equipe de campo de no mínimo dois profissionais.	• Necessidade da cobertura GSM na área do levantamento. • Usuário torna-se susceptível a problemas com a rede GSM.

Fonte: Adaptado de GUADALINI (2012).

Os dados coletados na estação de referência alcançam a estação móvel com algum atraso, esse atraso é nomeado como latência do sistema. O atraso acontece visto que os dados devem ser formatados, compactados, transmitidos através de *links*, decodificados e levados para o software do receptor móvel. Isto não ocorre instantaneamente, gerando então uma latência no sistema. Este retardo é aceitável para algumas aplicações de modo estático, mas pode não ser para aplicações no modo cinemático ou para navegação (LANGLEY, 1998).

A qualidade do posicionamento pode ser degradada em função da latência do sistema. Duas técnicas segundo Langley (1998) podem ser empregadas para minimizar essa degradação. Uma delas é denominada de RTK sincronizado onde a estação móvel armazena suas observações de fase por um período correspondente à latência do sistema e as processa a partir dos dados transmitidos pela estação de referência que possuam a mesma época. É largamente empregada em aplicações que exijam elevada precisão, como no método “*stop-and-go*” onde se ocupa um ponto por alguns segundos. A segunda técnica consiste na aplicação de uma taxa de atualização das correções em função do tempo de latência utilizando um algoritmo de predição da fase da onda portadora na estação de referência, semelhante ao fator RRC (*Range Rate Correction* – Intervalo de taxa de correção) das correções diferenciais para pseudodistâncias (LANGLEY, 1998).

Nos levantamentos por RTK/GSM o tempo de latência se resume ao tempo entre a geração das correções na estação de referência e sua aplicação no receptor móvel, podendo variar de 1 a 2 segundos para estações de referência com internet a cabo e de 3 a 4 segundos para estações de referência com internet por satélite (COSTA et al., 2008).

Guadalini (2012), lista as principais vantagens da técnica RTK como sendo:

- Obtenção instantânea das coordenadas, da solução da ambiguidade e do erro do relógio em tempo real; alta produtividade;
- Possibilidade da locação de pontos e da divisão de áreas com acurácia centimétrica; utilização de vários equipamentos móveis tendo como referência um único receptor como base.

O uso do RTK possui um empecilho, o aumento do comprimento da linha de base degrada os resultados, devido a diminuição da correlação dos erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites que podem diminuir significativamente com o aumento da distância entre a base e o receptor móvel, chegando ao ponto de inviabilizar o posicionamento (ALVES, 2008).

A técnica RTK/UHF apresenta a inconveniência da transmissão ser facilmente obstruída por objetos, podendo também haver interferência entre os canais de rádio, visto que a separação entre os canais é estreita. Estes problemas não ocorrem na comunicação via *GSM/GPSR* (*Global*

System of Mobile/General Packet Radio Services). Porém este tipo de comunicação é dependente da disponibilidade de cobertura dos serviços de telefonia celular na região do levantamento (RIZOS, 2002; MONICO, 2008).

Os fatores limitantes são minimizados com uma série de configurações prévias ajudadas pelo usuário conforme as necessidades. Destaca-se a configuração da máscara de elevação, visando a obtenção da melhor geometria de satélites e padronização da leitura do receptor GNSS. Rose et al. (2011) explica que se o equipamento foi configurado com uma máscara de elevação de 20°, indica que todos os sinais obtidos de satélites com esse ângulo de inclinação em relação à linha do horizonte serão desprezados. Além disso a padronização da máscara de elevação da base com o receptor móvel facilita a captação de sinal dos mesmos satélites melhorando o posicionamento.

Os dados coletados por receptor GNSS são dados pontuais necessitando assim que seja realizada uma amostragem para que seja possível recriar a superfície em forma de MDS ou MDE.

4.4 Amostragem

De modo prático, extrair informações válidas de um grupo de indivíduos ou objetos é de fundamental importância para realização de um estudo. Como a extração de informações para toda a população pode ser difícil ou impossível. Exige-se que o estudo sobre uma população seja feito em cima de uma parcela simplificada da população (amostra). Quando dados são inferidos a partir de uma amostra da população, denomina-se que foi realizada uma inferência estatística (NOGUEIRA JR., 2003).

O processo de amostragem é o método utilizado para se obter as amostras de uma população e pode ser dividido em dois grupos: a amostragem aleatória e a amostragem sistemática. Como nem toda a população vai ser analisada no estudo, é de fundamental importância que o processo de amostragem seja cuidadosamente considerado para que o estudo seja válido (SANTOS, 2010).

De acordo com Wong e Lee (2005), a amostragem sistemática é quando uma regra previamente estabelecida é utilizada para selecionar amostras dentro de uma população. Já na amostragem aleatória as amostras são selecionadas sem nenhuma regra ou estrutura pré-estabelecida.

Na amostragem sistemática a amostra é extraída obedecendo algum critério preestabelecido, como distância e direção. Como exemplo pode-se citar a escolha de um ponto

amostral para interpolação de um MDE a cada 20 metros nas coordenadas X e Y. Um problema que pode ocorrer nesse tipo de amostragem é a existência de um erro sistemático a cada 20 metros nas coordenadas X e Y, logo este erro comprometerá toda a sua amostra (NOGUEIRA JR., 2003). Já a amostragem aleatória segundo o mesmo autor, é extraída de forma aleatória da população por meio de algum artifício que garanta a aleatoriedade e representatividade da amostra para toda a área de estudo.

Segundo Santos (2010), quando a amostragem trabalha com dados espacialmente referenciados a mesma é denominada de amostragem espacial. Quando os dados são coletados sem a observação de suas coordenadas como parâmetro de coleta e após a coleta, os dados são espacialmente localizados e suas coordenadas são definidas tem-se então uma amostragem aleatória espacial (Figura 6-A). Caso os pontos sejam coletados obedecendo um padrão de deslocamento de um ponto para o outro a amostragem é classificada então como sistemática espacial (Figura 6-B).

Combinando os dois métodos de amostragem ou modificando um deles é possível criar outros métodos de amostragem como:

- Ao combinar a amostragem espacial aleatória com a sistemática se cria uma quadrícula, onde em cada uma destas será escolhido um ponto de forma aleatória (Figura 6-C);
- O oposto pode ser feito criando perfis aleatórios no terreno onde em cada um dos perfis, pontos são coletados de forma sistemática igualmente espaçados (Figura 6-D).

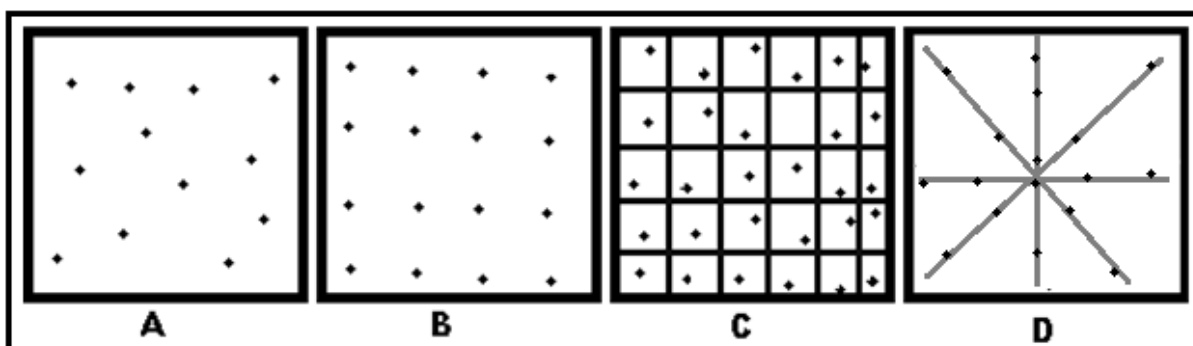


Figura 6 – Tipos de amostragem espacial. Na área (a) tem-se uma amostragem aleatória, em (b) uma amostragem sistemática e em (c) e (d) a junção da amostragem sistemática e aleatória.

Fonte: WONG e LEE (2005); ARIZA (2002).

Segundo Câmara et al. (2001), as fontes de dados amostrais mais comuns utilizadas na obtenção de modelos digitais de terreno são:

- Bases topográficas com isolinhas e pontos notáveis de máximos e mínimos;
- Levantamentos em campo realizado por métodos topográficos convencionais;
- Levantamentos em campo realizados por GNSS;

- Pares estéreos de imagens de sensoriamento remoto;
- Obtenção de dados fotogramétricos a partir de imageamento aéreo realizado por VANT.

Salienta-se que o método de levantamento realizado por topografia convencional é o mais trabalhoso dos citados e também o que oferece maior confiabilidade sendo assim utilizado na maioria dos trabalhos como critério de comparação para testar e avaliar as demais técnicas de obtenção de modelos digitais de terreno.

A amostragem tem papel fundamental tanto na coleta de dados para geração de MDS ou MDE quanto no processo de análise da qualidade cartográfica dos modelos gerados.

4.5 Análise da Qualidade Cartográfica

O Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional e trata de temas como o controle do processo e classificação do produto final, os elementos obrigatórios de uma carta, o Sistema Geodésico Brasileiro, entre outros. Especificamente o Capítulo II do Decreto 89.817, trata do controle de qualidade do produto final. Em 2010 a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) que foi atualizada para a segunda versão em 2016, na qual a ET-ADGV descreve a aplicação do Decreto 89.817 e cria uma classe mais restritiva destinadas para produtos cartográficos digitais (SANTOS et al., 2016). Em 2016 a DSG elaborou a norma cartográfica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) que teve como objetivo padronizar a avaliação da qualidade de dados geoespaciais do Sistema Cartográfico Nacional.

Para a avaliação da acurácia posicional em produtos cartográficos, tradicionalmente utiliza-se uma amostra de pontos de checagem obtidos sobre o produto. Os dados de referência são obtidos em campo ou de outro produto mais acurado. De posse das coordenadas dos pontos homólogos ao produto a ser testado e os pontos de referência calculam-se as discrepâncias posicionais, pelas Equações 1 e 2.

$$\text{Discrepância Planimétrica} = \sqrt{(X_{\text{teste}} - X_{\text{ref}})^2 + (Y_{\text{teste}} - Y_{\text{ref}})^2} \quad (1)$$

$$\text{Discrepância Altimétrica} = Z_{\text{teste}} - Z_{\text{ref}} \quad (2)$$

Onde,

$X_{\text{teste}}, Y_{\text{teste}}, Z_{\text{teste}}$ = coordenadas testadas;

$X_{\text{ref}}, Y_{\text{ref}}, Z_{\text{ref}}$ = coordenadas de referência.

Segundo Brasil (1984), Santos (2010), DSG (2011) e DSG (2016), para que um dado cartográfico seja classificado quanto ao padrão brasileiro de acurácia posicional (Decreto 89.817), este dado deve atender a duas condições:

1. 90% dos pontos testados devem apresentar valores de discrepâncias iguais ou inferiores aos da tabela do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em relação à escala e a classe testada e;
2. A Raiz do Erro Médio Quadrático - *root mean square* (RMS) da amostra de discrepâncias posicionais deve ser igual ou inferior à tolerância do Erro Padrão (EP) definido pela norma.

Na Quadro 2 apresentam-se as classes estabelecidas no artigo 9º do Decreto 89.817 e um resumo das tolerâncias do PEC e seu respectivo EP para planimetria e altimetria.

Quadro 2 – Resumo dos parâmetros estabelecidos no Decreto 89.817/ET-ADGV.

CLASSE (PEC-PCD)	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,28 mm	0,17 mm	0,27 Equi.	1/6 Equi.
B	0,5 mm	0,3 mm	1/2 Equi.	1/3 Equi.
C	0,8 mm	0,5 mm	3/5 Equi.	2/5 Equi.
D	1,0 mm	0,6 mm	3/4 Equi.	1/2 Equi.

Equi - Equidistância das curvas de nível.

A coluna com as letras A, B, C e D indicam as possíveis classes segundo o Decreto 89.817/ET-ADGV. As outras colunas referentes à planimetria e altimetria apresentam os parâmetros quantitativos do PEC e EP. Para se calcular os valores do PEC e do EP deve-se multiplicar o valor da Quadro 2 pelo denominador da escala do produto cartográfico a ser testado; e no caso da altimetria pela equidistância das curvas de nível para se classificar os produtos cartográficos (NERO, 2005).

Segundo Santos (2010), o RMS retorna um valor que reflete a tendência e a precisão inserida nos dados diferente do desvio-padrão amostral que retorna à variabilidade dos elementos testados em torno da média amostral. Diante do que foi concluído por Santos (2010), o RMS se aplica melhor como medida de dispersão para execução do Decreto 89.817.

O termo RMS é descrito como a raiz quadrada da soma dos quadrados das discrepâncias entre as amostras, dividido pelo número de amostras, que pode ser definido pela Equação 3 (DSG, 2016):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(di)^2}{n}} \quad (3)$$

onde,

di= discrepância entre as coordenadas observadas;

n= número de pontos de controle.

Além do processo de avaliação do Decreto 89.817, no Brasil comumente são empregados os métodos descritos por Merchant (1982) e por Galo e Camargo (1994), com o emprego da estatística clássica e realização de testes de hipóteses, para avaliar a precisão e tendência da amostra. Para utilização dos testes é necessário ainda verificar se a amostra segue a distribuição normal.

Segundo Höhle e Höhle (2009), tanto a fotogrametria digital como o LiDAR são eficientes e precisos, no entanto, erros podem ocorrer em ambos os métodos. A partir dos dados brutos é gerado o MDS. Para obter o MDE, o MDS é obtido a partir da nuvem de pontos, que devem ser classificados como pontos terrestres e acima do terreno, após a filtragem (remoção dos pontos acima do terreno), a nuvem de pontos é interpolada para preencher os vazios gerados pelo processo de filtragem. Incertezas podem ocorrer durante esse pós-processamento (HÖHLE e HÖHLE, 2009).

O controle de qualidade deve detectar estas incertezas para confirmar se os modelos gerados obtiveram a precisão requerida para sua devida aplicação futura. Para fazer a avaliação dos modelos são necessários valores de referência precisos obtidos por uma técnica de coleta de dados posicionais mais acurada (pontos de controle). De posse dos valores de teste e de referência índices estatísticos como o RMS e o desvio padrão são calculados. Através desses índices e de outras análises é possível concluir sobre a qualidade dos modelos gerados. Os pontos de controle devem ser obtidos com uma distribuição que garanta a validade da avaliação para toda a área (HÖHLE e HÖHLE, 2009).

Normalmente, a especificação de medidas de precisão baseia-se na suposição de que os erros seguem uma distribuição Gaussiana e de que não existem *outliers*. Mas muitas vezes este não é o caso, porque objetos acima do terreno como vegetação, edifícios e objetos indesejados (carros, pessoas, animais, etc) estão presentes, e o método de filtragem não identifica todas as elevações sobre o solo corretamente. A edição dos dados visa detectar e corrigir esses erros, mas mesmo com pós-processamento mais cuidadoso erros podem permanecer (HÖHLE e HÖHLE, 2009).

O número ou percentual de *outliers* deve ser documentado, por exemplo em metadados, para que se possa julgar se o MDE derivado é utilizável para a aplicação pretendida. A derivação

de medidas de precisão tem que se adaptar ao fato de que podem existir *outliers* e que a distribuição dos erros pode não ser normal. Existe, portanto, a necessidade de medidas de precisão, que sejam confiáveis sem serem influenciadas por *outliers* ou uma distribuição distorcida dos erros (HÖHLE e HÖHLE, 2009). Dentre os autores que discutem sobre como os erros presentes nos modelos digitais devem ser tratados estão Li et al. (2005), Maune (2007) e Ghilani e Wolf (2014).

O controle de qualidade é indispensável para informar a qualidade e assim, proporcionar o emprego correto da informação (seja posicional, de atributos ou temporal). A cartografia visa retratar a realidade através de modelos, aos quais posteriormente são utilizados no planejamento e tomada de decisões. Logo, quanto maior for a qualidade das informações, maior será o nível de acerto na tomada de decisões com base em dados espaciais (SANTOS, 2010).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A coleta de dados foi realizada em uma área da Universidade Federal de Viçosa/ Campus Viçosa, pela disponibilidade de dados obtidos através de VANT na região.

Outro fator observado na escolha da área foi que se trata de uma área onde o relevo apresenta características diversificadas e presença de objetos (construções e vegetação) sobre o terreno, que podem influenciar na qualidade e obtenção um MDE. A área de estudo foi delimitada pelo polígono 1 (Figura 7) que abrange uma área de aproximadamente 7,5 hectares, e apresenta variabilidade na declividade.

Como pode ser observado na Figura 7, além da área ter um relevo diversificado também apresenta diversos tipos de objetos sobre o terreno como construções civis, vegetação rasteira e vegetação arbórea de copa densa como é o caso da árvore que se localiza no centro da área e causa forte mudança na declividade entre o solo e a copa da árvore.

Os polígonos 2 e 3 (Figura 7) compreendem regiões da área de estudo que foram desconsideradas para análise, em virtude das alterações temporais (construção de taludes) ocorridas na superfície entre o mapeamento pelo VANT, e o levantamento em campo.

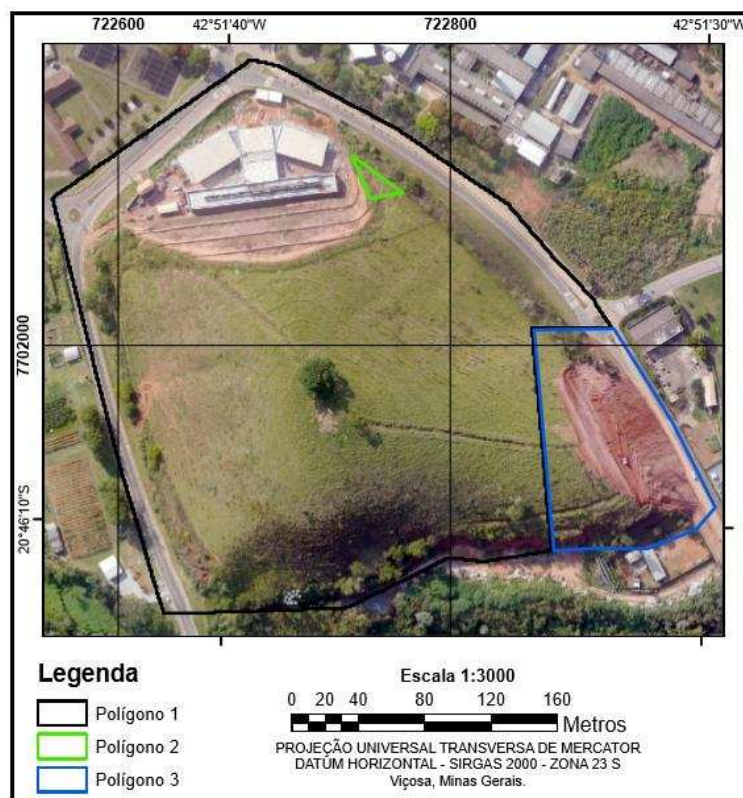


Figura 7 – Limites da área de estudo.

5.2 Equipamentos

O levantamento de campo foi realizado com o auxílio de Estação Total modelo Topcon GTS-102N e receptor GNSS RTK modelo JAVAD TRIUMPH-1. As especificações da Estação Total e do receptor GNSS RTK utilizados podem ser vistas nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Especificações da Estação Total utilizada no levantamento.

Modelo:	Topcon GTS-102N
Leitura Digital:	1 segundo
Precisão Angular:	5 segundos
Precisão Linear:	$\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm})$

Quadro 4 – Especificações do receptor GNSS RTK utilizado no levantamento.

Modelo:	JAVAD TRIUMPH-1
Precisão Horizontal:	1,0cm + 1,0ppm
Precisão Vertical:	1,5cm + 1,0ppm
Conexão via:	Internet / GSM
Protocolo:	NTRIP

5.3 Softwares

Os dados levantados com o uso de Estação Total foram processados no *software* topoGRAPH 98SE fabricado pela Char Pointer. O *software* permite descarregar os dados obtidos através da Estação e realizar os cálculos topográficos. Esse *software* foi escolhido no processamento dos dados topográficos por ser um *software* amplamente utilizado na topográfica, outro motivo é a disponibilidade de licença do mesmo na UFV.

Já o *software* ArcGIS 10.5, fabricado pela empresa Environmental Systems Research Institute – ESRI foi amplamente utilizado no processamento dos dados e obtenção dos resultados finais por disponibilizar de grande parte dos recursos necessários a execução dos métodos.

Além dos softwares topoGRAPH 98 SE e ArcGIS, o *software* LSTools foi utilizado para realizar a filtragem do MDS e o *software* GeoPEC para classificar a qualidade cartográfica dos modelos refinados.

5.4 Geração do MDE a partir do MDS

O MDE obtido a partir do MDS foi adquirido através de dados de VANT disponibilizados pela empresa Tecnosat – Soluções em Topografia. O VANT utilizado foi o Sirius da marca MAVinci com peso de 2,7 Kg e 1,63 metros de envergadura. A câmera interna é a Panasonic GX1 com lente de 14mm f/2.5, foco fixo, calibrada, resolução de 16 Megapixels, microsensor 4/3 e precisão de 1,6 cm nas coordenadas planimétricas (X, Y) e 2,7 cm na coordenada altimétrica (Z) (MAVINCI, 2013).

O levantamento foi realizado em junho de 2015, e o voo teve duração aproximada de 1 hora e 30 minutos a uma altura de voo de 390,56 metros. A Figura 8 ilustra o MDS recortado com base na área de estudo, sendo possível observar a presença de grandes variações no relevo nas regiões onde há objetos sobre a superfície.

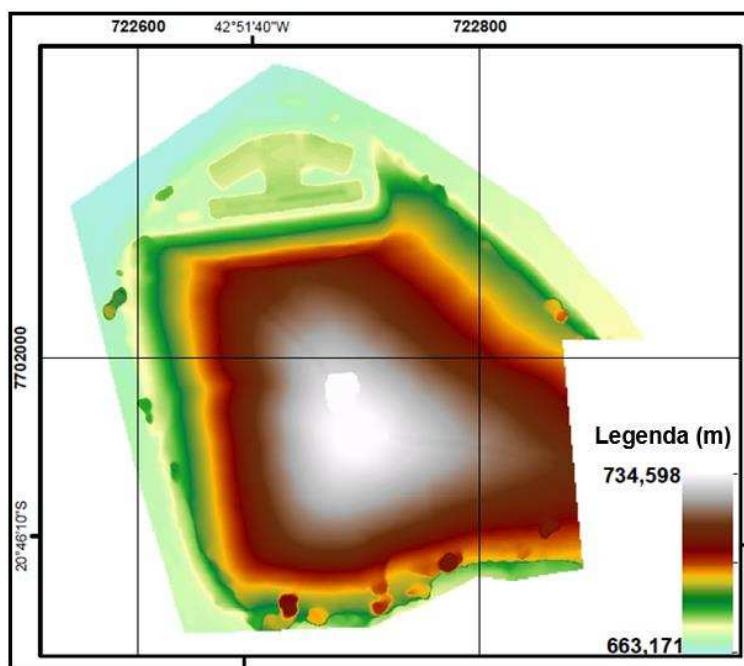


Figura 8 – MDS.

O MDS foi convertido em pontos considerando um ponto para cada pixel, com suas respectivas coordenadas planialtimétricas. Os pontos que não representavam realmente o terreno foram filtrados para se obter o MDE. Para filtrar o modelo foi utilizado o parâmetro Urbano ou Suburbano (*city or warehouses*) no *software* LAStools que melhor se adequava a área que continha poucas edificações e cobertura vegetal arbórea (RAPIDLASSO, 2017). Após a realização da filtragem o *software* retornou a nuvem de pontos sem a presença dos pontos que não correspondiam ao terreno.

A partir da nuvem de pontos filtrada foi efetuada uma interpolação com o interpolador Topo to Raster indicado para interpolar dados de relevo, disponível no *software* ArcGIS 10.5

(ESRI, 2016). Após a interpolação da novem de pontos foi obtido então o MDE que pode ser observado na Figura 9.

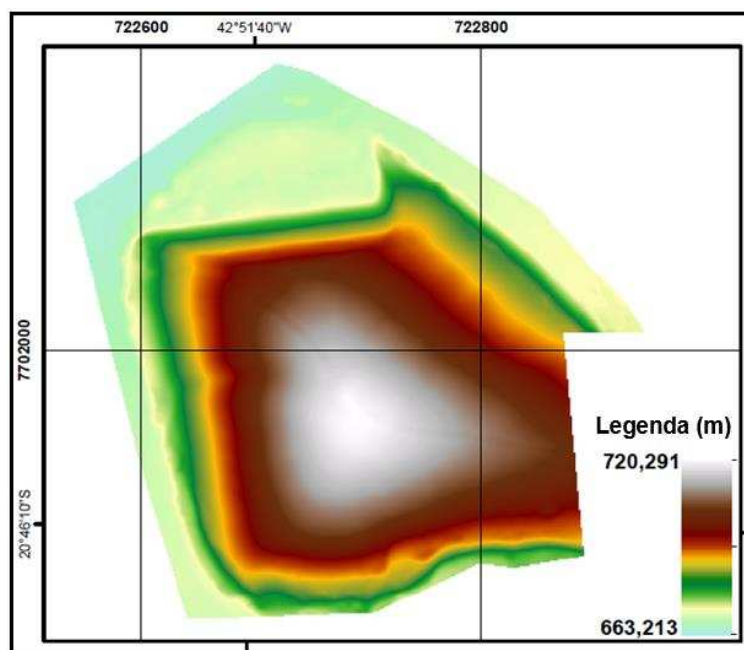


Figura 9 – MDE gerado pela filtragem do MDS.

5.5 Coleta de dados por Estação Total e receptor GNSS RTK

Para realização da coleta de dados com Estação Total foi materializada em campo uma poligonal em torno da área de estudo. A partir de cada um dos pontos da poligonal, pelo método das irradiações, coletou-se todos os pontos visíveis possíveis dessa área distribuídos aleatoriamente. Todos os pontos da poligonal também foram levantados utilizando o receptor GNSS RTK. Todo o levantamento foi realizado por três profissionais, um operando a Estação Total, outro operava o receptor GNSS RTK e o outro posicionava o prisma nos pontos de interesse, de forma que no mesmo ponto onde a baliza era posicionada para coleta de dados com Estação Total o receptor GNSS RTK era posicionado no mesmo local.

Para utilização do receptor GNSS RTK é necessário que a solução da ambiguidade seja confiável, logo utilizou-se um *link* de internet concebido por um *chip* com tecnologia GSM. As correções eram enviadas via protocolo NTRIP configurado para receber correções em tempo real do servidor do IBGE relativo a estação RBMC mais próxima, que no caso foi a estação VICO posicionada em um dos edifícios da UFV com linha de base menor que um quilômetro, proporcionando assim uma alta correlação.

Na Figura 10 observa-se que a presença de pontos é menor ou até mesmo inexistente nas áreas de construção, vegetação densa e terreno com grande declividade, devido à dificuldade de acesso ou perda de sinal do receptor GNSS RTK.

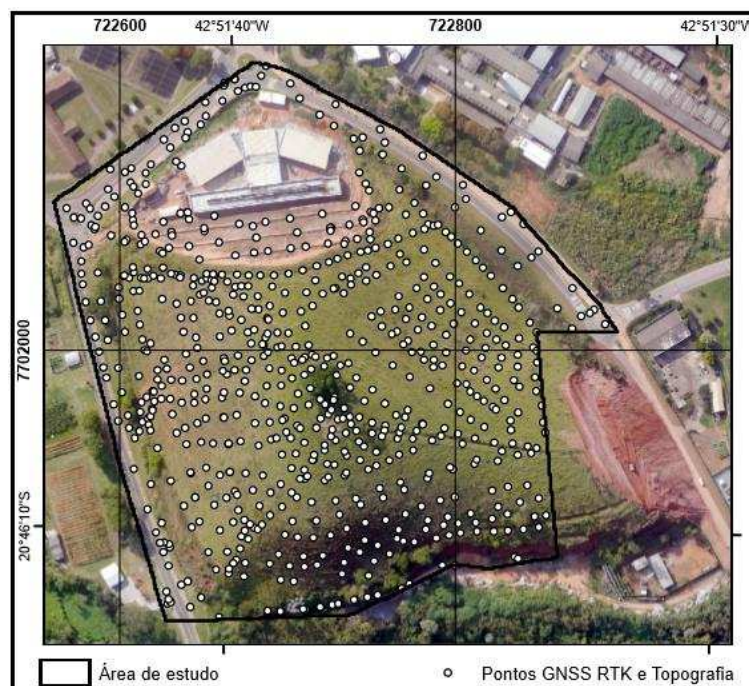


Figura 10 – Distribuição dos pontos amostrais coletados com Estação Total e receptor GNSS RTK.

Ao todo foram coletados mais de 720 pontos tanto por Estação Total como pelo receptor GNSS RTK na área de estudo. Dos 720 pontos, 243 foram utilizados nos métodos de refinamento dos modelos (217 pontos em um dos métodos utilizados e 50 pontos em outro método assim houveram 24 pontos homólogos entre os dois métodos) e 477 foram utilizados para validar os modelos refinados. O número final de pontos utilizados no processamento e validação dos modelos contabilizavam aproximadamente 1 ponto a cada 100 metros quadrados. Para realização das análises foi considerado que cada ponto levantado por Estação Total apresenta as mesmas coordenadas planimétricas (X, Y) do ponto homologo levantado com receptor GNSS RTK, assumindo que os pontos apresentaram apenas diferença na coordenada altimétrica (Z).

5.6 Processamento dos dados levantados por Estação Total

Para atribuir o mesmo referencial dos dados levantados por VANT aos pontos levantados por Estação Total, as coordenadas tridimensionais (X, Y, Z) de dois pontos obtidas através de receptor GNSS RTK foram atribuídas aos pontos homólogos levantados por Estação Total. Para realizar esse procedimento foram utilizados pontos da poligonal principal.

Todos os dados estavam referenciados no sistema de coordenadas SIRGAS 2000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 23 sul. Foi utilizada a altitude geométrica em todos os métodos. Para pequenas áreas a variação da ondulação geoidal é baixa,

assim a transformação da altitude geométrica em ortométrica pouco influenciaria no resultado final.

5.7 Métodos propostos para integração de dados VANT e RTK para refinar o MDE e MDS gerados por dados de VANT

De posse do MDS original, e do MDE obtido pela filtragem, foram realizados três métodos através dos pontos obtidos por receptor GNSS RTK na tentativa de melhorar a qualidade do MDS original e do MDE.

No primeiro método, pontos levantados por receptor GNSS RTK foram selecionados nas proximidades dos locais onde houve a remoção de pontos da nuvem de pontos devido à filtragem. No segundo método, pontos levantados por receptor GNSS RTK foram selecionados sobre determinadas direções ao longo da área de estudo e a partir desses pontos gerou-se superfícies de correções para o MDS original e para o MDE. No terceiro método, pontos levantados por receptor GNSS RTK foram amostrados em malha regular, e a partir desses pontos gerou-se superfícies de correção para o MDS original e para o MDE.

As análises foram divididas em três grupos, no grupo A foram analisados os modelos refinados no primeiro método, o MDS original e o MDE. No grupo B, os modelos refinados com o segundo método e o grupo C os modelos refinados com o terceiro método.

A Figura 11 apresenta uma visão geral dos métodos utilizados para refinar os modelos.

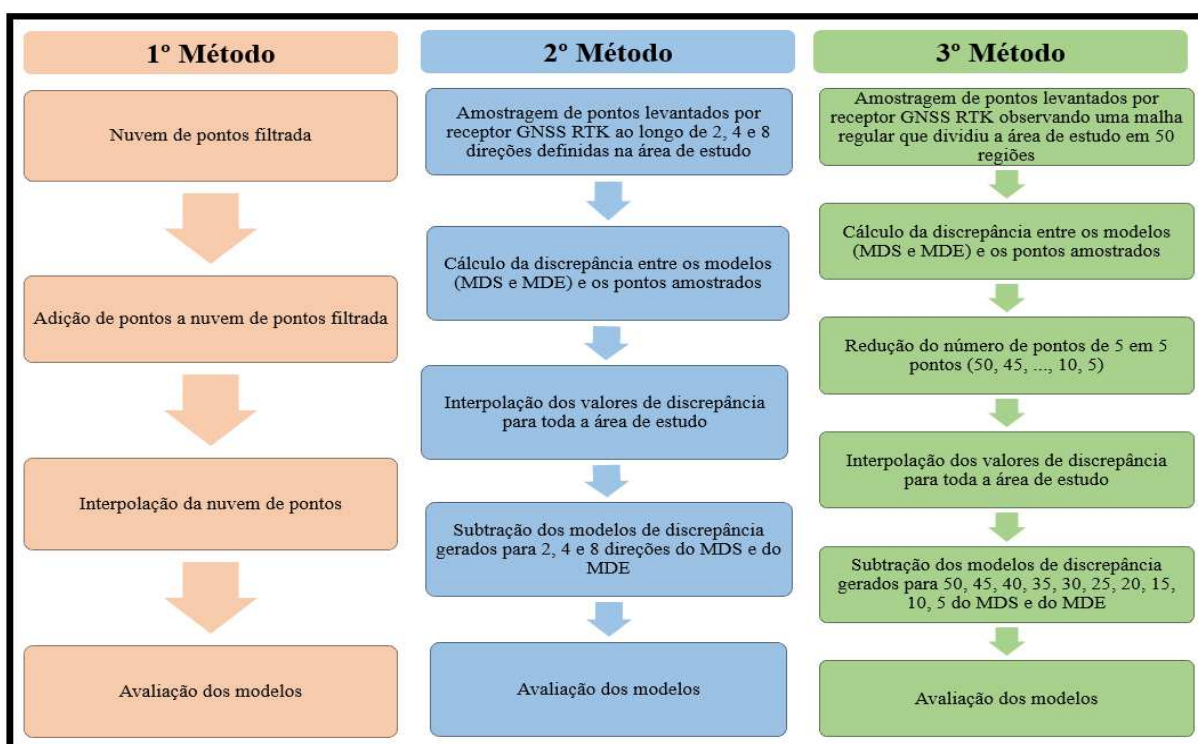


Figura 11 – Fluxograma dos métodos realizados para refinar o MDS e o MDE.

No processo de filtragem da nuvem de pontos, gerada a partir do MDS, os pontos que o algoritmo de filtragem determina que não são do terreno são eliminados da nuvem de pontos, gerando assim lacunas de pontos na nuvem. A falta de dados em determinadas regiões da nuvem de pontos poderia comprometer o MDE gerado, assim o primeiro método aplicado na tentativa de refinar o MDE foi a adição de pontos no interior ou próximo das lacunas geradas pela filtragem. O objetivo da adição de pontos foi fornecer ao interpolador mais informações visando assim uma melhora no MDE obtido pela interpolação dos dados. Foram adicionados 20 e 50 pontos à nuvem de pontos na tentativa de refinar o MDE gerado. A nomenclatura dos modelos gerados no primeiro método assim como o MDS original e o MDE são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Modelos analisados no grupo A.

Modelos	Descrição
MDS	Modelo digital bruto, fornecido pela empresa;
MDE	Modelo digital gerado pela filtragem do MDS;
MDEmais20p MDEmais50p	Modelos digitais gerados pela nuvem de pontos obtida na filtragem e interpolada com o acréscimo de pontos próximos as regiões onde devido a filtragem houve falta de informação.

No segundo e terceiro método foi feita uma amostragem da discrepância altimétrica entre o MDS original e pontos coletados por receptor GNSS RTK e entre o MDE e pontos coletados por receptor GNSS RTK. A discrepância foi então interpolada gerando assim um modelo de discrepância para toda a área de estudo, logo após os modelos de discrepância foram subtraídos dos modelos originais gerando assim novos modelos refinados.

A amostragem dos pontos foi feita de duas formas, na primeira delas (segundo método) os pontos foram selecionados próximos a 2, 4 e 8 direções criadas sobre a área de estudo. As direções foram distribuídas de forma radial na região de estudo. A seleção dos pontos foi feita primeiramente sem a observação da mudança de declividade, e em seguida, realizou-se uma seleção observando os locais onde havia mudança na declividade do terreno com o objetivo de reduzir o número de pontos amostrais.

Na segunda amostragem (terceiro método) os pontos foram selecionados com o auxílio de uma malha regular que subdivide a área de estudo em 50 regiões. Foi feita a seleção de 1 ponto por unidade da malha, e esse ponto foi selecionado o mais próximo do centro da malha

regular. Os 50 pontos foram reduzidos de 5 em 5 pontos (50, 45, 40, ..., 5), com o objetivo de analisar a influência do número de pontos sobre a qualidade posicional do modelo gerado.

Após a seleção dos pontos nos dois casos, calculou-se a discrepância entre os pontos e os modelos (MDE e MDS). Assim, os valores das discrepâncias foram interpolados utilizando o interpolador Inverso da Distância - *Inverse Distance Weighting* (IDW) por ser puramente matemático (MIRANDA, 2005) e utilizado de forma mais genérica. Foi gerado então um modelo de correção para cada uma das amostragens de pontos, um modelo de correção para corrigir o MDS e outro para corrigir o MDE. Posteriormente os modelos de correção foram subtraídos do MDS e o MDE dando origem aos novos modelos refinados.

Por fim, todos os modelos foram validados com os 532 pontos restantes obtidos por topografia e classificados de acordo com o padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG.

5.6.1 Refinamento do MDE e do MDS corrigidos por modelo de discrepância gerados por pontos levantados por receptor GNSS RTK amostrados em direções

Foram criadas 2, 4 e 8 direções distribuídas radialmente sobre a área de estudo para realizar a seleção dos pontos levantados por receptor GNSS RTK. O primeiro passo neste caso é a realização da seleção dos pontos amostrais, como pode ser observado na

Figura 12.

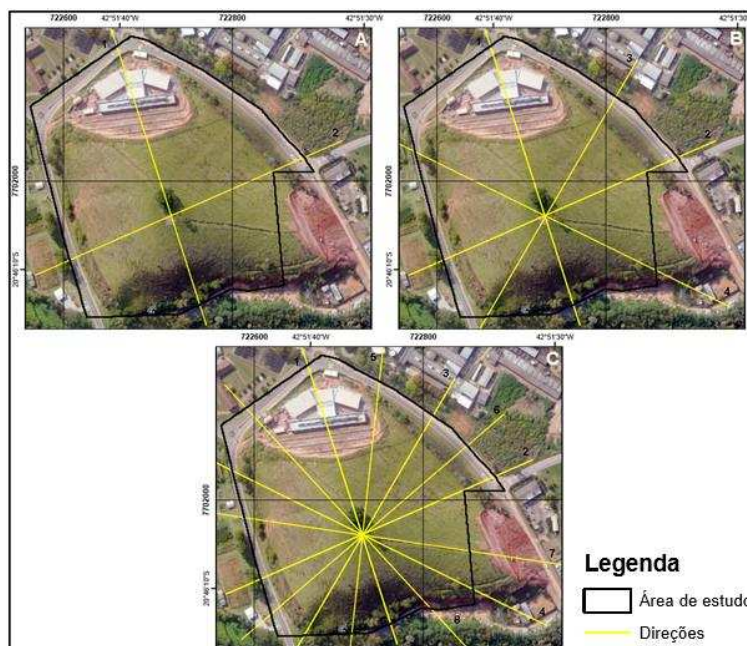


Figura 12 – Dois, quatro e oito direções utilizados para amostragem.

Na seleção dos pontos foi observada a proximidade dos pontos levantados por receptor GNSS RTK com as direções criadas. Na Figura 13 pode ser observado todos os pontos selecionados nas proximidades das direções, bem como a distribuição dos pontos na área de estudo.

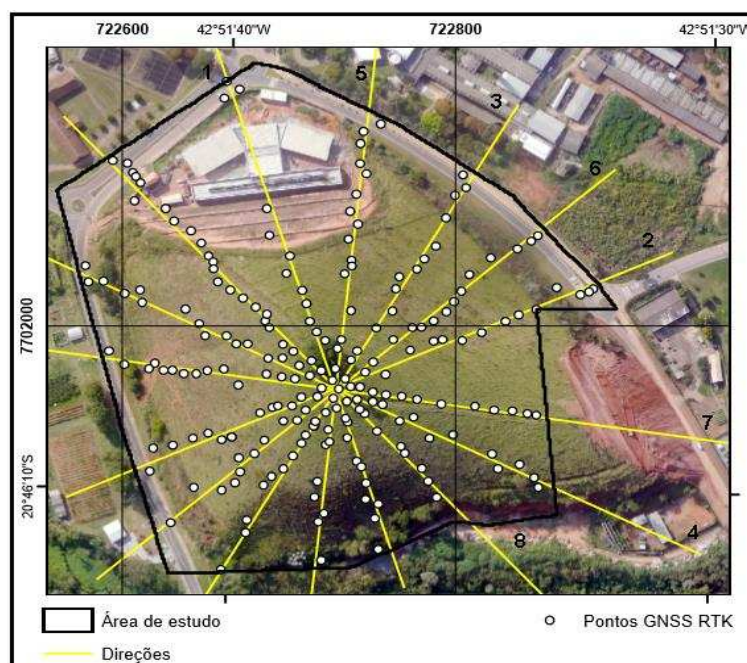


Figura 13 – Pontos amostrais selecionados nas proximidades das direções.

Após a seleção dos pontos, as correspondentes altitudes foram extraídas a partir do MDS e do MDE, sendo que os mesmos já continham altitude referente a coleta feita por receptor GNSS RTK. De posse dos dados de altitude foi calculada a discrepância entre a altitude obtida por receptor GNSS RTK e os dois modelos (MDS e MDE). Com isso, obteve-se então dois valores de discrepância para cada ponto, um para cada modelo. Com o valor da discrepância, o próximo passo foi interpolar os valores para toda a área utilizando o interpolador IDW. Cada modelo de discrepância gerado foi então subtraído do MDS ou do MDE dando origem aos modelos refinados.

Para diminuir o número de pontos amostrais ao longo das direções, selecionou-se pontos nos locais onde houve mudança na classe da declividade do terreno, observando a classificação realizada que dividiu a declividade em cinco classes de 20 em 20 por cento. Na Figura 14 é apresentada a classificação da área quanto a declividade e os pontos selecionados de acordo com as mudanças de declividade.

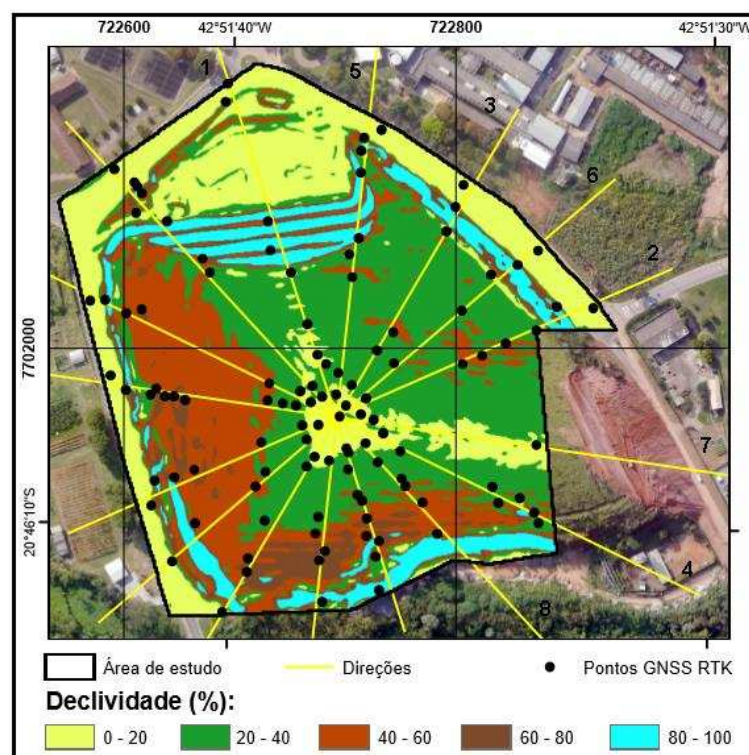


Figura 14 – Classificação do terreno quanto a declividade e pontos seleccionados com base nas direções e observação da declividade.

Todos os procedimentos realizados com a seleção dos pontos sem observar a declividade foi repetida para as amostras reduzidas com a observação da declividade. Vale ressaltar que esse procedimento foi realizado com a finalidade de avaliar a influência do número de pontos usados para gerar o modelo de correção na qualidade dos modelos refinados. As nomenclaturas utilizadas para descrever cada modelo gerado pelo segundo método assim como a descrição dos modelos é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Modelos analisados no grupo B.

Modelos	Descrição
MDSdisc2D MDSdisc4D MDSdisc8D	Modelos digitais gerados pela correção do MDS com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados em 2, 4 e 8 direções;
MDEdisc2D MDEdisc4D MDEdisc8D	Modelos digitais gerados pela correção do MDE com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados em 2, 4 e 8 direções.
MDSdisc_dec2D MDSdisc_dec4D MDSdisc_dec8D	Modelos digitais gerados pela correção do MDS com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos

	obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados em 2, 4 e 8 direções observando a declividade;
MDEdisc_dec2D MDEdisc_dec4D MDEdisc_dec8D	Modelos digitais gerados pela correção do MDE com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados em 2, 4 e 8 direções observando a declividade.

5.6.2 Refinamento do MDE e do MDS corrigidos por modelo de discrepância gerados por GNSS RTK amostrados em malha regular

Concomitante com o método anterior o primeiro passo foi realizar a seleção dos pontos amostrais. Nesse método foi criada uma malha regular dividida em 50 unidades que é apresentada (Figura 15), para realizar uma amostragem bem distribuída da área.

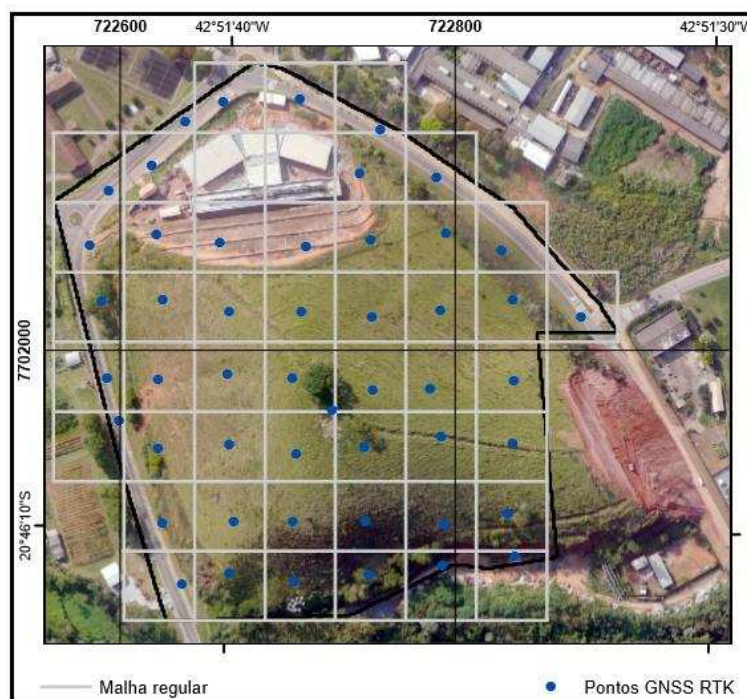


Figura 15 – Malha regular usada como base para seleção dos pontos amostrais.

Foi feita a seleção dos 50 pontos o mais próximo do centro de cada uma das divisões da malha. Para verificar até quando o acréscimo de pontos resultaria em uma melhoria significativa na correção dos modelos, a amostra foi reduzida de 5 em 5 pontos (50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5) de forma aleatória.

A partir dos pontos levantados por receptor GNSS RTK e amostrados em malha regular foram extraídas as altitudes dos pontos no MDS e no MDE. Após a seleção foram calculadas as discrepâncias entre a altitude levantada por receptor GNSS RTK e a altitude extraída dos

modelos (MDE e MDS). Com os dados de altitude, foi calculada a discrepância entre a altitude obtida por receptor GNSS RTK e os dois modelos. Com isso, obteve-se então dois valores de discrepância para cada ponto, um para cada modelo. Com o valor da discrepância, o próximo passo foi interpolar os valores para toda a área utilizando o interpolador IDW. Cada modelo de discrepância gerado foi então subtraído do MDS ou do MDE dando origem aos modelos refinados. No Quadro 7 é possível observar a nomenclatura dos modelos gerados pelo terceiro método assim como suas descrições.

Quadro 7 – Modelos analisados no grupo C.

Modelos		Descrição
MDEdisc5	MDEdisc10	Modelos digitais gerados pela correção do MDE com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados com o auxílio de uma malha regular (5, 10, 15,..., 45, 50);
MDEdisc15	MDEdisc20	
MDEdisc25	MDEdisc30	
MDEdisc35	MDEdisc40	
MDEdisc45	MDEdisc50	
MDSdisc5	MDSdisc10	Modelos digitais gerados pela correção do MDS com o uso de um modelo de discrepância calculado com pontos obtidos por receptor GNSS RTK e amostrados com o auxílio de uma malha regular (5, 10, 15,..., 45, 50).
MDSdisc15	MDSdisc20	
MDSdisc25	MDSdisc30	
MDSdisc35	MDSdisc40	
MDSdisc45	MDSdisc50	

Vale ressaltar que a etapa de geração do modelo de discrepância foi feita para cada uma das amostras de pontos e para cada um dos modelos (MDS e MDE), dando origem a diversos modelos corrigidos.

5.8 Análise dos Modelos

Após a geração dos modelos corrigidos de diferentes formas, procedeu-se o cálculo dos valores estatísticos como média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e RMS.

Para classificar os modelos quanto à qualidade altimétrica gerada utilizou-se o *software* GeoPEC. No cálculo da discrepância altimétrica, foram utilizados 477 pontos coletados por topografia como referência e o valor de cada um desses pontos extraídos dos modelos gerados como teste. O GeoPEC realiza a análise de tendência pelo teste *t-student* e a classificação do modelo testado na equidistância das curvas de nível desejada, segundo o padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG.

Utilizando-se dos valores do PEC-PCD e EP foram calculados os valores limites do RMS e da discrepância para cada classe descrita no Decreto 89.817/ET-CQDG (BRASIL 1984;

SANTOS 2010; DSG 2011; DSG 2016). O Quadro 8 apresenta os valores limites calculados para as equidistâncias analisadas.

Quadro 8 – Valores limites da PEC e do EP para suas respectivas classes.

Classe	Escala = 1:2500		Escala = 1:5000		Escala = 1:10000		Escala = 1:15000	
	Eq. = 1 m		Eq. = 2 m		Eq. = 4 m		Eq. = 6 m	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,54	0,33	1,08	0,67	1,62	1,00
B	0,50	0,33	1,00	0,66	2,00	1,32	3,00	1,98
C	0,60	0,40	1,20	0,80	2,40	1,60	3,60	2,40
D	0,75	0,50	1,50	1,00	3,00	2,00	4,50	3,00

*onde, “eq.” significa equidistância da curva de nível.

Os valores do Quadro 8 foram utilizados para classificar os modelos testados, considerando as discrepâncias e o RMS.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo A

A Tabela 1 apresenta as estatísticas básicas calculadas a partir das discrepâncias entre altitudes do MDS, MDE e MDE gerados com o acréscimo de 20 e 50 pontos levantados por receptor GNSS RTK e pontos levantados por Estação Total.

Tabela 1 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes geométricas dos modelos do grupo A em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.

Modelo	Mínimo (m)	Máximo (m)	Range (m)	Média (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)
MDS	0,391	23,172	22,781	1,958	1,570	2,167
MDE	0,353	9,147	8,794	1,709	1,556	0,895
MDEmais20P	0,347	9,125	8,778	1,699	1,550	0,866
MDEmais50P	0,348	9,127	8,779	1,695	1,550	0,867

Nota-se que o valor máximo e o desvio padrão das discrepâncias foi maior no MDS do que nos MDEs. Este resultado já era esperado, devido aos objetos presente acima do terreno. Resultados semelhantes foram encontrados por Naissinger (2017), que em todos os seus métodos utilizando dados advindos de VANTs, os MDEs foram mais fidedignos que os MDSs.

A Tabela 2 apresenta o número de pontos utilizados no refinamento de cada um dos modelos do grupo A e a classificação dos modelos em relação a equidistância das curvas de nível.

Tabela 2 – Classificação dos modelos do grupo A segundo Decreto 89.817/ET- CQDG.

Modelo	Número de pontos	Pontos/Área (ha)	Classificação segundo o PEC-PCD				
			Equidistância das curvas de nível (m)				
			0,5	1	2	4	6
MDS	-	-	-	-	-	-	D
MDE	-	-	-	-	-	D	B
MDEmais20P	20	2,7	-	-	-	D	B
MDEmais50P	50	6,7	-	-	-	D	B

No gráfico da Figura 18 é representado os valores das discrepâncias dos modelos do grupo A.

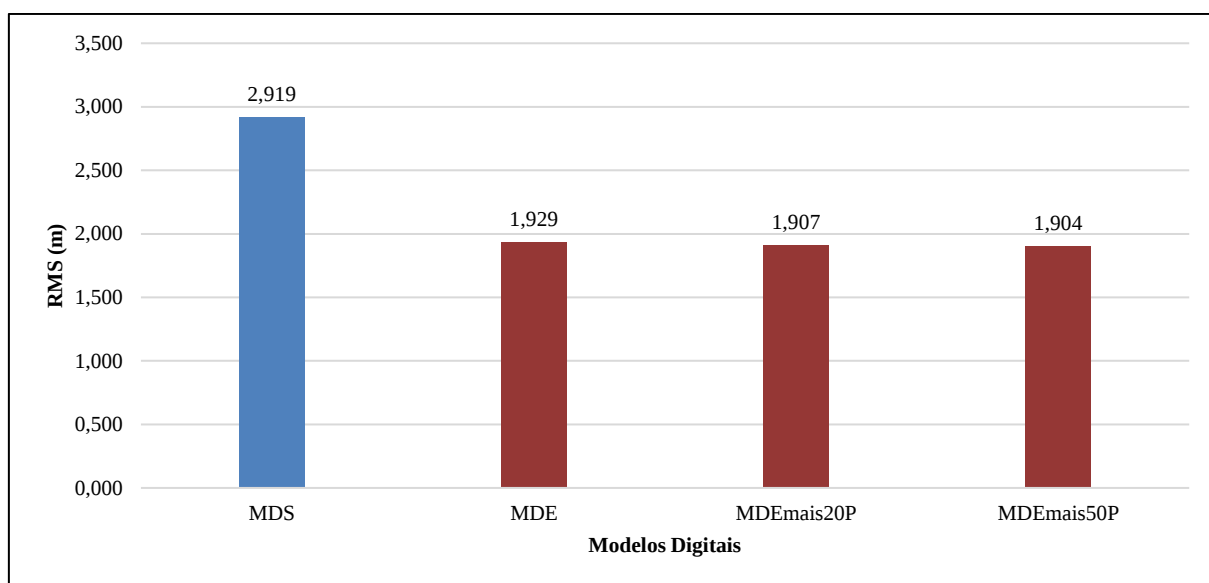


Figura 16 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo A.

A Figura 16 apresenta o gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo A, sendo assim, nota-se que o processo de filtragem do MDS, gerando assim o MDE, proporciona uma grande diminuição no valor do RMS. Com isso, apresentou-se uma melhoria na classificação que foi de classe D para equidistância das curvas de nível de 6 metros no MDS para a classe B no MDE, além de obter classificação para equidistância das curvas de nível de 4 metros como classe D como pode ser observado na Tabela 2.

Foi proposto que o uso de pontos coletados por receptor GNSS RTK nas lacunas geradas pelo processo de filtragem da nuvem de pontos poderia melhorar a qualidade do MDE gerado, o que não foi confirmado visto que o RMS dos modelos gerados com a adição dos pontos praticamente não foi alterado como nota-se na Figura 16. Observa-se na Tabela 2 que não houve nenhum ganho na classificação onde os modelos gerados com a adição de pontos conservaram a mesma classificação do MDE sem a adição de pontos.

Cabe salientar que os pontos foram levantados por receptor GNSS RTK nas proximidades das lacunas geradas pela filtragem na nuvem de pontos. A coleta de dados posicionais por receptor GNSS RTK no centro das lacunas geralmente é impossibilitada pela interferência gerada pelas construções ou vegetações.

6.2 Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo B

A Tabela 3 apresenta as estatísticas básicas calculadas a partir das discrepâncias entre a altitude dos modelos refinados com o modelo de correção gerado a partir de pontos levantados por receptor GNSS RTK. Os pontos foram amostrados em 2, 4 e 8 direções e validados com pontos levantados por Estação Total.

Tabela 3 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes dos modelos do grupo B em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.

Modelo	Mínimo (m)	Máximo (m)	Range (m)	Média (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)
MDSdisc2D	-1,371	19,833	21,204	0,147	-0,208	2,026
MDSdisc4D	-8,143	19,833	27,976	-0,329	-0,293	2,423
MDSdisc8D	-8,143	18,948	27,091	-0,308	-0,311	1,828
MDEdisc2D	-1,989	5,150	7,139	-0,106	-0,208	0,661
MDEdisc4D	-1,989	5,157	7,146	-0,219	-0,282	0,687
MDEdisc8D	-1,989	4,951	6,940	-0,202	-0,281	0,584
MDSdisc_dec2D	-4,231	19,992	24,223	-0,220	-0,479	2,000
MDSdisc_dec4D	-8,516	19,976	28,492	-0,764	-0,570	2,443
MDSdisc_dec8D	-7,718	19,327	27,045	-0,601	-0,503	2,005
MDEdisc_dec2D	-1,663	5,495	7,158	-0,176	-0,284	0,685
MDEdisc_dec4D	-1,636	5,528	7,164	-0,272	-0,343	0,694
MDEdisc_dec8D	-1,744	5,055	6,799	-0,257	-0,334	0,611

Corroborando com o grupo A, o grupo B também apresentou valores mais elevados de discrepância máxima e desvio padrão para os modelos refinados a partir do MDS original.

A Tabela 4 apresenta o número de pontos utilizados no refinamento de cada um dos modelos do grupo B e a classificação dos modelos em relação a equidistância das curvas de nível.

Tabela 4 – Classificação dos modelos do grupo B segundo Decreto 89.817/ET- CQDG.

Modelo	Número de pontos	Pontos/Área (ha)	Classificação segundo o PEC-PCD				
			Equidistância das curvas de nível (m)				
			0,5	1	2	4	6
MDSdisc2D	55	7,3	-	-	-	-	C
MDSdisc4D	109	14,5	-	-	-	-	D
MDSdisc8D	217	28,9	-	-	-	D	B

MDEdisc2D	55	7,3	-	-	C	B	A
MDEdisc4D	109	14,5	-	-	C	B	A
MDEdisc8D	217	28,9	-	-	B	A	A
MDSdisc_dec2D	35	4,7	-	-	-	-	C
MDSdisc_dec4D	60	8,0	-	-	-	-	D
MDSdisc_dec8D	114	15,2	-	-	-	-	C
MDEdisc_dec2D	35	4,7	-	-	C	B	A
MDEdisc_dec4D	60	8,0	-	-	C	B	A
MDEdisc_dec8D	114	15,2	-	-	B	A	A

No gráfico da Figura 17 é representado os valores das discrepâncias dos modelos do grupo B.

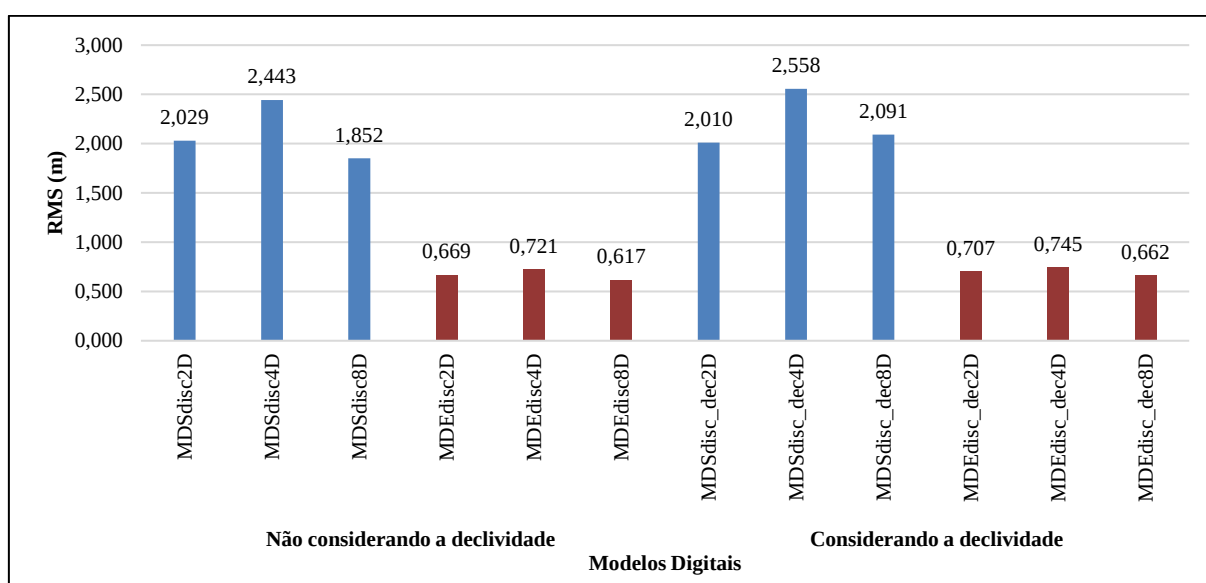


Figura 17 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo B.

Conforme apresentou a Figura 17, é possível perceber juntamente com os dados da Tabela 4, que a utilização dos pontos amostrados em direções considerando a declividade apresentaram a mesma classificação que os modelos refinados por amostra de pontos em direções sem a observação da declividade para seleção dos pontos. Entretanto a escolha dos pontos nas direções, considerando a declividade, reduziu aproximadamente pela metade o número de pontos utilizados para gerar o modelo de correção. Os modelos refinados considerando a declividade atingiram praticamente, o mesmo patamar de qualidade posicional (Escala 1:5000, Classe B) do modelo refinado com superfície de correção gerada por pontos amostrados sem a observação da declividade.

Diante do exposto é possível concluir que na área analisada a amostragem dos pontos em direções, observando a declividade, é válida para diminuir o número de pontos amostrados em campo.

Analisando os modelos corrigidos pelas discrepâncias geradas a partir de pontos amostrados em direções tendo como base o MDE, foi possível perceber que o aumento do número de direções resultou em um ganho na qualidade posicional do modelo, pois a classificação original era classe C (para equidistância entre as curvas de nível de 2 metros) e após a inclusão de pontos obteve-se classificação classe B para a mesma equidistância. Ainda sobre as direções, os modelos corrigidos com a utilização de 4 direções apresentaram RMS maior que os modelos corrigidos que utilizaram 2 direções, indicando que a escolha das direções pode causar interferência no refinamento.

Vale destacar que a área em estudo apresenta formato de um morro convexo, a utilização de pontos amostrados em direções para correção dos modelos pode não se comportar de maneira semelhante em outros tipos de relevo que apresentem maior variabilidade.

6.3 Avaliação do padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 / ET-CQDG dos modelos do grupo C

A Tabela 5 apresenta as estatísticas básicas calculadas a partir das discrepâncias entre a altitude dos modelos refinados com pontos levantados por receptor GNSS RTK. Os pontos foram amostrados em malha regular e validados com pontos levantados por Estação Total.

Tabela 5 – Estatísticas básicas das discrepâncias entre as altitudes dos modelos do grupo C em relação aos pontos de referência levantados por Estação Total.

Modelo	Mínimo (m)	Máximo (m)	Range (m)	Média (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)
MDSdisc5	-8,705	19,279	27,984	-2,427	-1,945	3,137
MDSdisc10	-8,005	20,687	28,692	-1,099	-0,764	2,869
MDSdisc15	-7,856	20,683	28,539	-0,752	-0,577	2,649
MDSdisc20	-7,648	20,683	28,331	-0,490	-0,401	2,529
MDSdisc25	-7,098	20,693	27,791	-0,326	-0,369	2,367
MDSdisc30	-7,098	20,701	27,799	-0,313	-0,373	2,368
MDSdisc35	-6,649	20,630	27,279	-0,271	-0,355	2,343
MDSdisc40	-6,649	20,634	27,283	-0,262	-0,360	2,335
MDSdisc45	-6,511	20,634	27,145	-0,145	-0,333	2,255
MDSdisc50	-6,511	20,634	27,145	-0,119	-0,327	2,239
MDEdisc5	-2,686	5,829	8,515	-1,097	-1,206	0,940
MDEdisc10	-2,607	6,633	9,240	-0,553	-0,605	0,951
MDEdisc15	-2,582	6,627	9,209	-0,421	-0,497	0,909
MDEdisc20	-2,456	6,627	9,083	-0,329	-0,352	0,855
MDEdisc25	-2,456	6,635	9,091	-0,308	-0,344	0,839
MDEdisc30	-2,022	6,651	8,673	-0,283	-0,328	0,838
MDEdisc35	-2,028	6,564	8,592	-0,263	-0,319	0,833
MDEdisc40	-1,988	6,564	8,552	-0,266	-0,334	0,828

MDEdisc45	-1,988	6,564	8,552	-0,217	-0,302	0,820
MDEdisc50	-2,011	6,564	8,575	-0,221	-0,305	0,822

Se comportando da mesma maneira que os grupo A e B, o grupo C também apresentou valores mais elevados de discrepância máxima e desvio padrão para os modelos refinados a partir do MDS original.

A Tabela 6 apresenta o número de pontos utilizados no refinamento de cada um dos modelos do grupo C e a classificação dos modelos em relação a equidistância das curvas de nível.

Tabela 6 – Classificação dos modelos do grupo C segundo Decreto 89.817/ET-CQDG.

Modelo	Número de pontos	Pontos/Área (ha)	Classificação segundo o PEC-PCD				
			Equidistância das curvas de nível (m)				
			0,5	1	2	4	6
MDSdisc5	5	0,7	-	-	-	-	-
MDSdisc10	10	1,3	-	-	-	-	-
MDSdisc15	15	2,0	-	-	-	-	D
MDSdisc20	20	2,7	-	-	-	-	D
MDSdisc25	25	3,3	-	-	-	-	C
MDSdisc30	30	4,0	-	-	-	-	C
MDSdisc35	35	4,7	-	-	-	-	C
MDSdisc40	40	5,3	-	-	-	-	C
MDSdisc45	45	6,0	-	-	-	-	C
MDSdisc50	50	6,7	-	-	-	-	C
MDEdisc5	5	0,7	-	-	-	C	B
MDEdisc10	10	1,3	-	-	-	B	B
MDEdisc15	15	2,0	-	-	-	B	B
MDEdisc20	20	2,7	-	-	D	B	A
MDEdisc25	25	3,3	-	-	D	B	A
MDEdisc30	30	4,0	-	-	D	B	A
MDEdisc35	35	4,7	-	-	D	B	A
MDEdisc40	40	5,3	-	-	D	B	A
MDEdisc45	45	6,0	-	-	D	B	A
MDEdisc50	50	6,7	-	-	D	B	A

No gráfico da Figura 18 é representado os valores das discrepâncias dos modelos do grupo C.

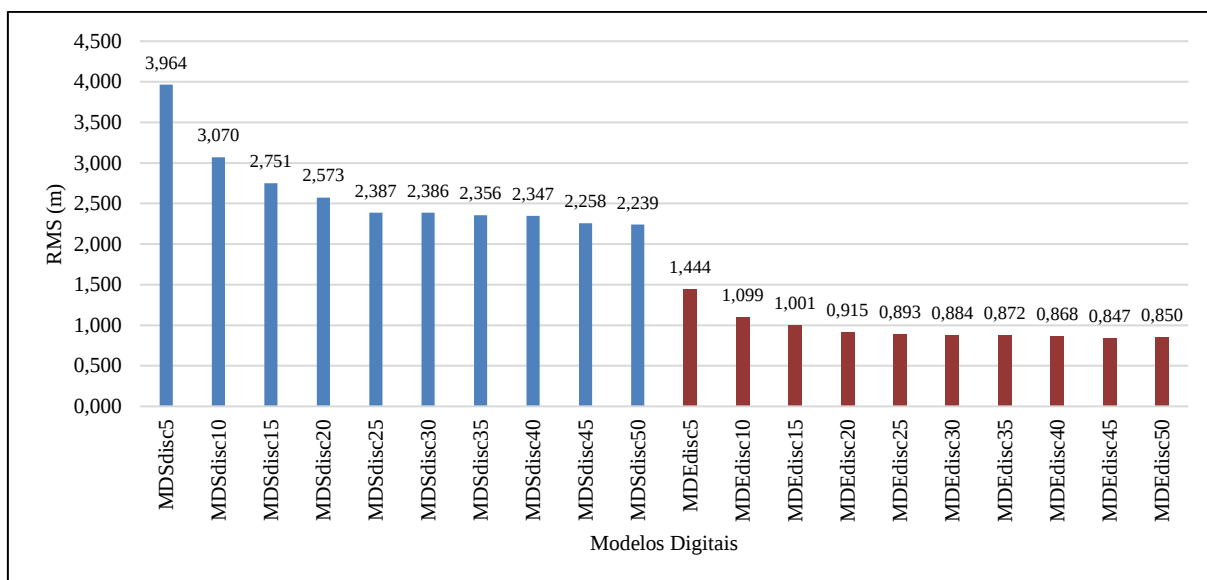


Figura 18 – Gráfico do valor do RMS dos modelos do grupo C.

É possível analisar através da Figura 18 e Tabela 6 que a partir do refinamento feito com 25 pontos os modelos refinados com base no MDS apresentaram a mesma classificação (Escala 1:15.00, classe C). Nota-se também que o RMS pouco se altera depois do modelo refinado com 25 pontos. Já para o refinamento realizado com base no MDE a classificação (Escala 1:5.000, classe D) se estabiliza a partir do modelo refinado com o uso de 20 pontos e o mesmo acontece para o RMS que pouco se altera para os modelos gerados com mais pontos.

Cabe salientar que para os MDSs ocorreram melhorias na classificação a partir do modelo corrigido com 25 pontos e para os MDEs a melhoria na classificação ocorreu a partir da correção feita com 20 pontos, evidenciando que os melhores resultados com o menor número de pontos para o presente estudo são encontrados entre 20 e 25 pontos ou 2,7 a 3,3 pontos/ha utilizados para gerar o modelo de correção.

A utilização do MDS resguarda do processamento a parte de filtragem, o que leva a maior rapidez no processamento, porém pode-se perceber que com a realização apenas da filtragem já ocorre uma melhora substancialmente na qualidade do modelo como observado em todos os resultados obtidos com o MDE, que demonstraram melhores resultados em relação aos que utilizaram o MDS como base.

Conforme pode ser observado na Tabela 6, o refinamento do MDS com modelo de correção gerado por 5 e 10 pontos (MDSdisc5, MDSdisc10) piorou a qualidade do MDS gerado. Vale destacar que de todos os modelos gerados esses foram os únicos em que a qualidade posicional do modelo original foi reduzida.

Uma possível razão para a diminuição da qualidade do modelo pode ter sido o número reduzido de pontos (5 e 10 pontos), o que leva a discrepância de cada ponto representar uma

importância maior na interpolação do modelo de correção. A diminuição da qualidade posicional dos modelos pode ter sido gerada pela seleção de pontos sobre objetos na área. Essa hipótese é a provável justificativa na redução da qualidade posicional dos modelos, visto que a qualidade dos MDEs gerados com os mesmos 5 e 10 pontos não foi comprometida.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo analisou a qualidade cartográfica dos modelos gerados pela integração dos dados obtidos por VANT, com os dados coletados por receptor GNSS RTK com o intuito de refinar o MDE e o MDS gerado por VANT.

O acréscimo de pontos próximos às lacunas geradas pela filtragem não ocasionou melhoria na qualidade posicional dos modelos gerados, entretanto, cabe salientar que não foi possível coletar pontos no centro das lacunas devido a obstrução causada por objetos no terreno tornando difícil concluir se o método pode ou não melhorar a qualidade posicional dos modelos.

Os MDSs foram validados como pontos de terreno levantados por Estação Total, logo, apresentaram resultados inferiores que os MDEs compatíveis com os pontos de validação utilizados. Confirmando que a utilização de MDS como MDE não é adequada quando se deseja obter um modelo com qualidade posicional elevada, tornando assim indispensável a realização de uma boa filtragem no MDS para se obter o MDE. Vale salientar, que as análises não concluem que o MDS é de má qualidade posicional, e sim, que ele apresenta baixa qualidade posicional quando utilizado como MDE.

A integração dos dados obtidos por VANT com os dados levantados por receptor GNSS RTK apresentaram melhorias na classificação. O refinamento dos modelos feito com a utilização de pontos coletados por receptor GNSS RTK melhorou a qualidade posicional em 26 dos 34 métodos realizados demonstrando ser um método promissor para gerar modelos de maior qualidade posicional.

O refinamento feito com pontos selecionados em direções foi classificado para equidistância de 2 metros entre as curvas de nível com a utilização de 7,3 pontos/ha (Classe C), já os modelos refinados com pontos selecionados em malha regular foram classificados para equidistâncias de 2 metros entre as curvas de nível com a utilização de 2,7 pontos/ha (Classe D). Assim, a amostragem feita em malha regular para a realização do refinamento se mostrou mais eficiente ao utilizar menos da metade dos pontos utilizados no refinamento feito por pontos amostrados em direções, e atingiu classificação para a mesma equidistância das curvas de nível dos modelos corrigidos com pontos amostrados em direções no presente estudo.

O refinamento possibilitou a criação de modelos digitais de qualidade posicional superior aos modelos gerados apenas com dados de VANT. O refinamento pode ser aplicado a modelos digitais gerados por VANT em uma época anterior a realização do levantamento feito por receptor GNSS RTK proporcionando uma melhora na qualidade posicional de modelos

obtidos por VANT já existentes. A melhoria na classificação pode fazer com que o levantamento realizado com VANT atinja a qualidade posicional requerida para sua utilização.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se que a amostragem de pontos em direções para geração dos modelos de correção seja realizada em uma área irregular. A área em estudo possui formato aproximadamente simétrico o que pode ter feito com que a amostragem em direções gerasse resultados com qualidade posicional superior a maioria dos casos onde o terreno não segue uma forma regular.

Recomenda-se ainda a utilização de diversos interpoladores para gerar os modelos de correção com o intuito de analisar qual deles irá gerar o melhor modelo de correção.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B. M. **Posicionamento GPS utilizando conceito de estação virtual**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 164 p., 2008.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, GO, 114 p., 2015.

ALVES NETO, A. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não-tripulados**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 99 p., 2008.

ANAC - Agencia Nacional de Aviação Civil. Instrução suplementar - emissão de certificado de autorização de voo experimental para sistemas de veículo aéreo não tripulado. 2012.

ARIZA, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**. RA-MA, Madrid, 2002.

ARONOFF, S. Geographics information systems: A management perspective. **WDL Publications**. Otawwa, Canadá. 1995.

BARBOSA, E. D. M., MONICO, J. F. G., ALVES, D. B. M., e DE OLIVEIRA, L. C. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **BC - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 16, n. 4, 589-605 p., 2010.

BONE, E. e BOLKCOM, C. Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress. **Congressional Research Service**, Library of Congress, Abril, 2003.

BRANDÃO, M. P.; GOMES, V. A.; D'OLIVEIRA, F. A.; BUENO, C. A. E. UAV Activities in Brazil. Em **First Latin-American Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Conference**. Panama City, 2007.

BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

BRAZ, A. M.; BORGES, J. P. S.; BERNARDES, D. C. S., TEREZAN, L. H. Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle. **Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto-SBSR**, v. 17, 2751-2758 p., 2015.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. INPE. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>> Acesso em: setembro de 2017.

CHAPLOT, V.; DARBOUX, F.; BOURENNANE, H.; LEGUÉDOIS, S.; SILVERA, N.; PHACOMPHON, K. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. **Geomorphology**, v. 77, n. 1, 126-141 p., 2006.

CHAR POINTER TECNOLOGIA. topoGRAPH 98SE, 2013.

CHEN, R.; LI, X.; WEBER, G. Test results of an Internet RTK system based on the NTRIP protocol. Em: **Proceedings of the GNSS 2004 conference**, Rotterdam, 16-19 p., 2004.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 92, 79–97p., 2014.

CORREIA, J. D. **Mapeamento de feições deposicionais quaternárias por imagens orbitais de alta resolução espacial - médio vale do rio Paraíba do Sul**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 662 p., 2008.

COSTA, S. M. A.; ABREU, M. A.; MOURA JUNIOR, N. J.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. Em: **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Anais, Recife, PE, 2008.

DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. Predicting atmospheric biases for realtime ambiguity resolution in GPS/GLONASS reference station networks. **Journal of Geodesy**, Berlin, v. 76, nº11/12, 617-628 p., 2003.

DEGARMO, T. M. Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. MITRE, Center for Advanced Aviation System Development, McLean, Virginia, 2004.

DOD. Unmanned aircraft systems roadmap – 2005-2030. Office of the Secretary of Defense, 2005.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, **Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Segunda versão. Brasília-DF. 2016.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, **Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília-DF. 2016.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications**. Boston and London: Artech House, 257 p., 2005.

ELMIRO, M. A. T.; DUTRA, L. V.; MURA, J. C.; Correção de modelos de elevação INSAR através de superfícies de erros geradas por triangulação linear a partir de dados GPS e estações geodésicas eletrônicas. Em: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, 5027-5034 P.

ESRI. ArcGIS, versão 10.5, 2016.

FAHLSTROM, P. G.; Gleason, T. J. **Introduction to UAV Systems**, John Wiley e Sons, 2012.

Federal Aviation Administration (FAA). Unmanned Aircraft (UAS) Questions and Answers. Disponível em: <<https://www.faa.gov/uas/>>. Acesso em setembro de 2017.

FELGUEIRAS, C.A., CÂMARA, G. **Modelagem Numérica do Terreno – MNT**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. Editado por Gilberto Câmara, Antônio Miguel Monteiro, José Simeão de Medeiros. São José dos Campos, INPE, 2004.

FIGUEIRA, N. M.; OLIVEIRA, L. C. Super-resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do vant vt-15. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 30, 3-19 p., 2013.

GALVÃO, G. M; ROSALEN, D. L. **Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. Graduação (Monografia). UNESP – Campus Jaboticabal, SP, 39 p., 2014.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In.: **COBRAC – 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis, SC, 1994.

GAO, J. Comparison of sampling schemes in constructing DTMs from topographic maps. **International Training Centre Journal**, 1, 1995, 18-22 p.

GHILANI, C.D.; WOLF, P.R., **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics**, 13th edition, Pearson Education, 931 p., 2014.

GUANDALINI, M. **Análise metodológica do posicionamento relativo através do GNSS e suas aplicações na engenharia: uso da técnica RTK/ GSM**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 211 p., 2012.

HÖHLE, J.; HÖHLE, M. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 64, 398- 406 p., 2009.

ICAO. Unmanned Aircraft Systems (UAS). Cir 328, ISBN 978-92-9231-751-5, Canadá, 2011.

ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. **Asian Journal of Engineering, Sciences e Technology**, v. 2, n. 1, 2012.

LANGLEY, R. B. RTK GPS. *GPS World*, 70 – 76 p., September 1998.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. Boca Raton, London, New York, and Washington D.C.: CRC Press. 318 p., 2005.

LONGHITANO, G. A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 148 f.

MAUNE, D.F. Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User Manual, 2nd ed., 2007. ISBN: 1-57083-082-7.

MAVINCI UNMANNED AERIAL SYSTEMS. SIRIUS Surveying UAS. 2013.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para Aplicação em Agricultura de Precisão**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 148 p., 2007.

MELO, S. A.; MINÁ, S.J.S.; AQUINO, I.S.; OLIVEIRA, A. G. O uso do GPS de navegação em pequenas áreas agrícolas. **Revista Verde**, v.6, n.4, Mossoró, RN, 137 - 141 p., 2011.

MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In.: **Proceedings of the Technical Congress on Surveying and Mapping (1)**, 222-231 P., 1982.

MILLER, C. L.; LAFLAMME, R. A. The digital terrain model - Theory and application. **Photogrammetric Engineering**, n. 24, p. 433-442, 1958.

MIRANDA, J. I. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. Brasília: **EMBRAPA Informação Tecnológica**, 425 p., 2005

MITISHITA, E. A.; GONCALVES, J. E; GRAÇA, N. L. S. S; CENTENO, J. A. S.; MACHADO, A. M. L. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) em aplicações de mapeamento aerofotogramétrico. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, Anais, Gramado, 2014.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. ISBN 978-85-7139-788-0.

NAISSINGER, B. M.; THUM, A. B. **Notas sobre a comparações entre distintos Modelos Digitais de Elevação**. UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 13 p., 2017.

NERO, M. A. **Propostas para o controle da qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, 147 P., 2003.

OLIVEIRA, C. P. **Análise dos modelos para cálculo de níveis de segurança relacionados à operação de Veículos Aéreos não Tripulado.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L. F. **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2011.

PECKHAM, R. J., JORDAN, G. **Digital Terrain Modelling. Development and Applications in a Policy Support Environment.** Springer-Verlag, Berlin, 313 p., 2007.

PETRIE, G., KENNIE, T. J. M., **Terrain modelling in surveying and civil engineering.** Caithness : Whittles, 1990.

RAPIDLASSO. LAsTools, 2017.

PINTO, J. R. M. **Potencialidade do uso do GPS em obras de Engenharia.** Dissertação (Mestrado) - UNESP, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, 161 p., 2000.

RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, PR, 277 p., 2007.

RIZOS, C. Network RTK Research and Implementation - A geodetic perspective. **Journal of Global Positioning System**, v.1, n.2, 144-150 p., 2002.

ROSE, J. A. R.; TONG, J. R.; ALLAIN, D. J.; MITCHELL, C. N. The use of ionospheric tomography and elevation masks to reduce the overall error in single-frequency GPS timing applications. **Advances in Space Research**. v. 47, 276-288 p., 2011.

RPAV. Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology. 2003. Disponível em: <http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html>.

SANTOS, M.S.T.; SILVA, E.B.S.; SOUZA, A.M.; TEIXEIRA, W.L.E.; SOUSA SCHMIDT, A.C.P.; FRANCELINO, A.V.M.; SABADIA, J.A.B.; FILHO, F.P.L. Geração e análise estatística de modelo digital de elevação (MDE) com dados de GPS em tempo real (GPS/RTK). **Revista Estudos Geológicos**, v. 18, 94-110 p., 2008.

SANTOS, A. P. GeoPEC, versão: 3.4, 2016.

SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 110 p., 2010.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; JUNIOR, J. G. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, PR, v. 22, no4, 630-650 p., out - dez, 2016.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SILVA, C. A; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Artigo apresentado no **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, Anais, João Pessoa, 2015.

SILVA, C. A; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LiDAR. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, PR, v. 22, nº1, jan-mar, 73-94 p., 2016.

SILVA, H. d. R. **Desempenho do RTK em rede sob efeito da cintilação ionosférica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, 129 p. 2014.

SMITH, J. S., e SMITH, D. G. Operational experiences of digital photogrammetric systems. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, XXXI, B2, 357-362 p., 1996.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic Geography**, 1970.

WEBER, G.; DETTMERING, D. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip): IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications. **ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division**. Long Beach, CA, USA, 2243-2247p., setembro de 2005.

WONG, D.W.S., LEE, J. **Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS**. Editora John Wiley e Sons, Hoboken, New Jersey. 2005.

YAMAMOTO, J.K. A Review of numerical methods for the reliability of ordinary kriging estimates. **Mathematical Geology**, v. 32, n. 4, 489-509 p., 1998.

ZHOU, G.; ALBERTZ, J.; GWINNER, K., 1999. Extracting 3D information using temporal-spatial analysis of aerial image sequences. **Photogrammetry Engineering e Remote Sensing**, vol. 65, no. 7, 823-832 p., 1999.

ZHOU, G.; SONG, C.; SIMMERS, J.; e CHENG, P. Urban 3D GIS from LiDAR and digital aerial images. **Computers e Geosciences**. 30 (4), 345-353 p., 2004.