

UTILIZAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA PARA LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Hugo César Mendes Jardim*
Geisla Aparecida Maia Gomes**

RESUMO

Este trabalho aborda a utilização da fotogrametria para levantamentos topográficos na construção civil. Tal abordagem é devida ao fato de que a utilização de veículos aéreos não tripulados facilita a obtenção dos dados de grandes áreas. O objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação de técnicas da aerofotogrametria e compará-la com os métodos convencionais. Este propósito será conseguido através de um estudo sobre a fotogrametria e a realização de um projeto de levantamento topográfico utilizando os dados das imagens obtidas através de um veículo aéreo não tripulado. O estudo demonstrou que, em comparação a estação total, o uso da aerofotogrametria em levantamentos topográficos tende a ser mais prático e ágil em áreas maiores, além de uma menor mão de obra e redução de custo como consequência mas não possui a precisão milimétrica que o uso da estação nos proporciona e sim centímetra. O estudo de caso comprovou a eficiência após o processamento de dados no software na medição e elaboração dos modelos digitais.

Palavras-chave: Fotogrametria. Topografia. VANT.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nos últimos anos tem mudado técnicas e equipamentos utilizados no levantamento topográfico de terrenos, com isso o estudo da fotogrametria pode ser de grande utilidade devido as suas vantagens. Mesmo com o aparecimento de diversos aparelhos mais inovadores, é preciso realizar a análise para verificar o melhor método para cada tipo de projeto, desde a economia, qualidade e produtividade.

A utilização de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) juntamente com a fotogrametria para obtenção de imagens pode ser uma boa alternativa já que seu objetivo consiste em reduzir o trabalho de campo, facilitando e garantindo a segurança dos operadores e mapeia área inacessíveis, independentemente da quantidade de pontos desejada.

* Hugo César Mendes Jardim, aluno do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: hugomendesj@outlook.com

** Orientadora: Profa. Es. Geisla Aparecida Maia Gomes, Mestrando em Estatística Aplicada, docente no Centro Universitário do Sul de Minas

No Brasil, segundo Ramos (2014), o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) realiza o controle de qualidade de produtos cartográficos, definido pelo decreto presidencial número 89.817 de 1984, que define e estabelece critérios a serem atingidos pelas incertezas de um mapeamento se comparadas com pontos materializados no terreno com coordenadas obtidas por sistemas de pouca incerteza.

Este trabalho propôs uma comparação de custos, tempo, produtividade dos métodos para a realização de levantamentos topográficos na construção sendo eles: a estação total e a aerofotogrametria, além do processamento de imagens adquiridas com o uso de VANTs no software AgiSoft PhotoScan que elabora modelos digitais capazes de medir áreas, volume, perímetro, perfil e curva de nível dos terrenos presentes nas imagens processadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Levantamento Topográfico

De acordo com Fortunato (2018) os métodos de levantamento topográfico continuam em constante evolução e dentre tantas opções de equipamentos e métodos, cabe ao engenheiro responsável pela execução do projeto a escolha do melhor método a ser utilizado para cada tipo de projeto devido a sua economia, qualidade e produtividade.

Os conceitos básicos sobre os principais aparelhos utilizados na área da topografia são de extrema importância para elaborar a melhor estratégia para alcançar eficiência na execução de serviços topográficos, assim realizando uma comparação entre as vantagens e desvantagens do método da estação total e o uso da aerofotogrametria na construção civil.

Em resumo, o levantamento topográfico pode ser dividido em duas partes: o levantamento planimétrico, onde se procura determinar a posição planimétrica dos pontos (coordenadas X e Y) e o levantamento altimétrico, onde o objetivo é determinar a cota ou altitude de um ponto (coordenada Z). A realização simultânea dos dois levantamentos dá origem ao chamado levantamento planialtimétrico.

2.1.1 Poligonação

Segundo Veiga (2012) a poligonação é um dos métodos mais utilizados para a determinação de coordenadas de pontos em Topografia, principalmente para a definição de

pontos de apoio planimétricos. É realizada através do método do caminhamento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial com uso de teodolitos ou estações totais. Embora este método seja aplicado há muito tempo no Brasil, a poligonação tomou impulso definitivo a partir da entrada dos instrumentos de medição eletrônico de distâncias e estações totais.

As medições concomitantes de ângulos e distâncias facilitam enormemente o uso dos métodos. Vale destacar, que a Topografia utiliza o solo como seu meio de aquisição de dados, portanto, para realizar a topografia convencional, pelo método de poligonação, será necessário que uma equipe vá até o campo coletar os dados (pontos). De acordo com Silva e Segantine (2015) o procedimento em campo consiste em partir de pontos da rede brasileira, pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) ou determinados por posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) e lançar os novos pontos realizando o caminhamento sobre o terreno, transportando as coordenadas.

As poligonais podem ser classificadas em fechada, aberta e enquadrada. Segundo Silva e Segantine (2015), uma poligonal é considerada fechada quando ela inicia em um ponto de coordenadas conhecidas e termina sobre o mesmo ponto. Os erros lineares e angulares podem ser ajustados conforme a geometria do polígono.

2.1.2. Irradiação

Após a demarcação do contorno da superfície que será levantada, o método da irradiação irá localizar um ponto que permitirá avistar todos os outros pontos que a definem e realizar a medição de ângulos e distâncias para cada elemento a ser representado, depois de feita a determinação dos pontos de detalhes, é possível representar as feições de interesse a partir dos dados medidos e calculados, para a elaboração de um mapa ou carta dependendo da escala almejada, como podemos ver na figura 1, de um levantamento realizado com a estação total no Centro Universitário do Sul de Minas em 2017.

Figura 1: Irradiação



Fonte: Autor (2017)

2.1.3. Estação Total

Com uma precisão milimétrica, a estação total se destaca por seus levantamentos planialtimétricos, um equipamento capaz de coletar dados e armazenar medidas de ângulos horizontais e verticais e distâncias inclinadas e calcular instantaneamente as distâncias horizontais e verticais e apresentar os resultados em seu visor.

Em constante evolução no mercado a estação total de acordo com Fortunato (2018) já conta com dois tipos de tecnologias que facilitam cada vez mais a sua utilização, que são as estações totais sem a utilização do prisma e a estação total robótica sem engrenagens e capaz de atingir uma velocidade de 180 graus por segundo, além de comandá-la via controladora com sinal de rádio.

Apesar da sua precisão, o tempo de execução de um levantamento em áreas acima de 1 ha ainda é alto, tendo em vista isso, a aerofotogrametria possui uma grande vantagem com sua facilidade de obtenção de dados independentemente da área desejada, que mesmo com uma precisão centímetra ainda possui excelentes resultados.

2.3 Fotogrametria

A fotogrametria é definida como a tecnologia de obter imagens de um determinado local para ser feita a análise e medição com os dados adquiridos. De acordo com Coelho e Brito (2017), a fotogrametria tem como um de seus objetivos diminuir a mão de obra e tempo

de obtenção de coordenadas de vários pontos.

O levantamento aéreo busca facilitar o levantamento de dados topográficos de uma determinada área com a utilização de veículos aéreos não tripulados, os VANTs, tendo em vista que a utilização do mesmo está em crescente, bem como o desenvolvimento e a popularização de sensores e câmeras com melhor resolução.

2.3.1 Fotogrametria Digital e Fotogrametria Analítica

A fotogrametria digital tem como sua principal característica a sua condição de utilizar imagens na forma numérica ao invés de imagens de películas, a aquisição dessa imagem na forma numérica é feita principalmente por câmeras digitais e scanners. Quando comparada aos demais métodos de levantamento topográfico, traz novas funções, os recursos para processamento de imagens, como a correlação, automação de operações, funções de contraste, brilho, nitidez, equalização e análise multi-espectrais. A medição automática de pontos fotogramétricos no processo de orientação e aerotriangulação, um menor custo, ausência da necessidade de equipamentos de transferência de pontos, como os comparadores e detecção automática de feições alteradas do terreno a partir de uma mesma cena fotografada em diferentes períodos.

Na medida em que se utilizam todos os recursos otimizados e automatizados, mantendo a qualidade similar à dos sistemas analíticos, a produtividade da fotogrametria digital pode ser 3 vezes maior.

A fotogrametria analítica segundo Coelho e Brito (2017) é um tratamento matricial com soluções utilizando múltiplas imagens e uma análise completa da propagações de erros que utiliza-se de um restituidor analítico, por meio de servomecanismos para medir as coordenadas das marcas fiduciais de pontos homólogos nas imagens. Na tabela 1 é feita uma comparação das características entre a fotogrametria digital e a fotografia analítica:

Tabela 1: Comparação entre as características das fotogrametrias digital e analítica.

Características	Fotogrametria Digital	Fotogrametria Analítica
Qualidade de Visualização	Depende dos seguintes parâmetros: Sistema ótico; Resolução geométrica e radiométrica do sensor (CCD); Conjunto de dispositivos da câmara CCD; Rigidez geométrica do CCD; Monitor de visualização; Dispositivos de visualização estéreos; Performance da placa de vídeo gráfica.	Depende dos seguintes parâmetros: Sistema ótico; Sensibilidade, resolução geométrica e radiométrica do filme; Conjunto de mecanismos e dispositivos do sistema da câmara; Certificação da calibração da câmara. Os parâmetros de métricos da câmara não devem exceder os limites de precisão pronunciados pelo fabricante. Vantagens: Permite um melhor reconhecimento de detalhes pormenores que 10 cm no solo.
Mobilidade das Imagens	O desempenho depende da capacidade da placa de vídeo, do processador gráfico e da capacidade do monitor de atualização da tela (taxa de frequência vertical e horizontal).	O desempenho depende do mecanismo do restituidor (manivela pedal).
Ampliação e Redução Visual da Imagem	Capacidade de ampliação visual da imagem superior à analítica, embora dependa da resolução da imagem e do monitor. Sendo que a área útil do o limite no campo de visão.	Capacidade de ampliação e redução visual inferior ao sistema digital.
Precisão das Medidas fotogramétricas	Depende da resolução do monitor e da qualidade das imagens.	Depende da qualidade das imagens e da precisão do equipamento.
Desempenho do Equipamento	Depende da capacidade de processamento que está relacionada ao processador, à memória, ao vídeo e à capacidade de armazenamento do computador.	Depende uma parte da capacidade do computador, mas também da parte óptico-mecânica e das engrenagens mecânicas para os movimentos XYZ e de rotações do restituidor.
Funcionalidade	Multitarefa, permite: o processamento digital de imagens, a aerotriangulação automática, a geração automática do MDT, a geração de ortofotos, a integração em ambientes SIGs e outros	Tarefas limitadas, permitindo apenas: a orientação interna e externa, a coleta de pontos para a aerotriangulação e, a restituição. A geração de MDT é efetuada manualmente através da perfilagem do modelo e da coleta dos pontos.
Manutenção do Sistema	Atualizações de softwares; Atualizações de “Hardwares” e outros dispositivos (monitores, placas gráficas para visualização estereoscópica, mouse, etc); Organização dos diretórios; “Backups”.	Reparos e substituição de parafusos ou “encoders”, engrenagens, etc.; Alinhamentos dos componentes óticos e mecânicos; Reparos em outros problemas mecânicos; Calibração, limpeza e lubrificação. Obs: Exige a disponibilidade de pessoal altamente especializado.

Fonte: Sato, 2003

Devido ao desenvolvimento da tecnologia e dos computadores nos últimos tempos e a necessidade de aprimoramento das atividades de topografia, surgiram os equipamentos eletrônicos para medir os ângulos e as distâncias, facilitando cada vez mais o levantamento topográficos. A utilização dos VANTs com o uso da fotogrametria aparece como uma forma de executar os levantamentos com maior rapidez e eficiência.

2.4 Veículos Aéreos Não Tripulados

Segundo Coelho e Brito (2007), a aerofotogrametria é o método mais empregado é imprescindível na obtenção de dados cartográficos da superfície terrestre, e por consequência o que mais obteve benefícios de uma organização dos procedimentos e parâmetros.

Conforme definição do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Ministério da Defesa os veículos aéreos não tripulados são qualquer tipo de aeronave que possa ser controlada nos três eixos e que não necessite de pilotos embarcados para ser conduzida. Dessa forma, estas aeronaves são controladas remotamente, quase sempre por meios computacionais, sob a supervisão humana com ou sem sua interferência na pilotagem. Os veículos aéreos não tripulados, podem ser: aeromodelos, quando usados para fins puramente recreativos ou VANTs, quando aeronaves não tripuladas pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota tenham finalidade comercial, corporativa ou experimental.

Segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), os VANTs são categorizados de acordo com o seu Peso Máximo de Decolagem (PMD) em 3 classes, a primeira classe com peso superior a 150kg, a segunda com peso entre 25kg e 150kg e a terceira com peso inferior a 25kg.

Como pode se observar na figura 2 os drones possuem câmeras que captam as imagens, para assim gerar dados topográficos com mais detalhes, com muito mais facilidade e praticidade em comparação com a estação total mostrada anteriormente.

Figura 2: Veículo Aéreo Não Tripulado



Fonte: Don McCullough (2013)

De acordo com Fortunato (2018), as medições ficam muito mais rápidas e dinâmicas com a utilização de drones, já que as imagens adquiridas são georreferenciadas que facilitam na medição na ligação dos pontos. Isso faz com que os resultados sejam entregues mais rápidos e com melhor qualidade, gerando dados com mais níveis e com uma maior precisão além do aumento da produtividade.

2.5 Projeto de Levantamento Aéreo

Um projeto de levantamento aéreo, segundo Silva Neto (2015), de forma geral é desenvolvido em três etapas distintas executadas de forma sequencial: Plano de voo, levantamentos de campo e pós-processamento.

Para que os resultados da fotogrametria sejam adequados, deve-se ter uma boa qualidade nos dados iniciais mas sem implicar em maiores custos. Esses dados iniciais, servirão de base para as etapas de processamento que são eles, a determinação dos pontos de controle e de apoio em campo e também a determinação de pontos de checagem, para que se possa conferir a qualidade do mapeamento produzido.

Os pontos devem ser colocados em locais nítidos no terreno, preferencialmente em lugares de fácil acesso, como cantos de cercas, regiões lindeiras de estradas e construções. Consideram-se más escolhas árvores, regiões homogêneas e locais próximos a espelhos d'água. Coelho e Brito (2007).

A qualidade do levantamento deve ser analisada através dos Padrões de Exatidão Cartográfica por meio pontos de checagem, locados e georreferenciados em campo, juntamente com pontos de apoio, estes, utilizados como condição de contorno para o processamento dos dados. Com o GPS será feito o georreferenciamento deste pontos,

buscando máxima qualidade na determinação dos dados de verificação e de apoio aos processos fotogramétricos.

2.6 Processamento Digital de Imagens Fotográficas

O software para processamentos dos dados foi o AgiSoft PhotoScan versão 1.2 que permite fazer todo esse processamento digital de imagens fotográficas, onde foram desenvolvidos todos os modelos.

Silva e Costa (2010), falam que a fotogrametria é um método eficaz para o mapeamento de grandes áreas, permitindo inclusive o levantamento em áreas inacessíveis por meio terrestre.

A fotogrametria elabora um registro fotográfico da área desejada e também projeta o Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital da Superfície (MDS) e as ortoimagens.

O modelo tridimensional da superfície mostra todas as curvas de níveis dos objetos que contém nesta área como casas, árvores dentre outros. Já o modelo digital do terreno é feito retirando todos estes objetos para ser realizado o cálculo de volume da área, o mosaico de ortoimagens são a junção das imagens obtidas pelo drone e o mapa das curvas de níveis nos mostra as declividades da área.

2.7 Precisão e Exatidão Cartográfica

De acordo com Martin (2016) o fator que define os critérios para a classificação de produtos cartográficos através de parâmetros acerca de sua exatidão e da distribuição de erros presentes é o decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Este decreto indica o uso de um índice denominado Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), utilizado segundo Rocha (2002), como um jeito de padronizar e conferir a qualidade dos produtos cartográficos brasileiros através de parâmetros internacionais de precisão e exatidão. Para tanto, como observado o disposto na norma ISO 19115, segundo Martin (2016), encontram-se os parâmetros relativos a precisão posicional dos dados aferidos de acordo com cada PEC, constando no decreto de lei relacionado como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Precisão posicional de acordo com cada PEC

PEC ⁽¹⁾	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85
A	B ⁽²⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50
B	C ⁽²⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50
C	D ⁽²⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: Martin (2016)

O decreto de lei também estabelece os valores aceitáveis de erros conforme a escala do mapa, classificando os produtos cartográficos em três classes, que dependem da precisão requerida para aplicação do produto gerado.

Em seu artigo Martin (2016) apresenta os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), provenientes da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Valores estes que complementam os estabelecidos pelo decreto de lei. Na tabela 3, conforme Martin (2016), estão elucidados os PEC-PCD Altimétrico para Modelos Digitais de Terreno (MDT), de Elevação (MDE) e de superfície (MDS).

Tabela 3 - Padrão de exatidão Altimétrico dos produtos cartográficos digitais

PEC - PCD ⁽²⁾	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00

Fonte: Martin (2016)

Na tabela 4 os PEC-PCD planimétricos para produtos cartográficos digitais.

Tabela 4 - Padrão de exatidão planimétrica dos produtos cartográficos digitais

PEC ⁽¹⁾	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00
	D ⁽⁹⁾	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20

Fonte: Martin: (2016)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O método utilizado para realização desta pesquisa é um estudo de caso, tendo como fonte de dados artigos já realizados, analisando-os com o objetivo de ter uma base para o processamento dos dados, onde foram efetuados de forma quantitativa e qualitativa, obtendo os resultados deste trabalho e uma comparação de custos e praticidade de um levantamento topográfico com VANTs e a estação total.

A análise da área levantada para levantamentos topográficos foi feita com imagens disponibilizadas pela Professora Geisla Aparecida Maia Gomes de um levantamento feito no bairro Jardim Canadá, em Nova Lima região metropolitana de Belo Horizonte com um total de 68 fotos da área desejada. A metodologia de voo utilizada para obtenção dos dados foi conforme o cronograma a seguir dividido em três etapas: (1) planejamento de voo; (2) execução do voo e (3) pós voo.

Os dados foram passados para o software AgiSoft PhotoScan onde seguiremos os seguintes passos para o desenvolvimento da pesquisa que trará a análise do uso da fotogrametria em um levantamento topográfico.

3.1 Processamento dos Dados

O processamento de dados foi realizado no software AgiSoft PhotoScan utilizando um processador uma CPU Intel Core I5 7200U 2,50GHZ, com 8 Gb de memória RAM, RADEON R7 2GB. Tendo como duração respectivamente para os dados obtidos de aproximadamente 25 horas.

O objetivo desta etapa é a geração dos modelos através das imagens analisadas pelo software. Os modelos obtidos foram: o modelo tridimensional da superfície, o modelo digital de elevação, o mosaico de ortomagens e o mapa com as curvas de nível.

Quadro 1 – Fluxo de trabalho do programa Agisoft Photoscan

FLUXO	ATIVIDADE	PRODUTO
Passo 1	Adicionar Fotos	Fotos carregadas
Passo 2	Alinhar Fotos	Geração de Tie point 7– nuvem espaçada de pontos
Passo 3	Construir nuvem densa de pontos	Geração de Tie points – nuvem densa de pontos
Passo 4	Classificar os pontos do terreno	Geração de Tie points – pontos do terreno (ground points)
Passo 5	Construir a malha do terreno	Geração da TIN (Rede de Triângulos Irregulares) do modelo ou malha
Passo 6	Reduzir a malha	Malha suavizada
Passo 7	Geração do DMT	Mapa Digital do Terreno
Passo 8	Geração do DMS	Mapa Digital da Superfície
Passo 9	Geração de contornos	Curvas de Nível na equidistância configurada
Passo 10	Geração de ortomosáico	Mosaico de Ortofoto

Fonte: Autor (2020)

3.2 Alinhamento da câmera

Nesta etapa, o software procura nas imagens pontos comuns e junta-os, além de encontrar a posição da câmera para cada foto tirada e melhora os parâmetros de ajustamento.

Como resultado, é gerada uma nuvem de pontos separados e o grupo de posições da câmera é determinado, de acordo com os vetores representados. Nesta etapa é realizado o conceito de orientação interior, como sendo a ação que confere informação métrica aos arquivos importados ao software, juntando as fotos, já que no início eram somente fotos isoladas uma da outra.

3.3 Adensamento da nuvem de pontos (Fototriangulação analítica)

A densificação dos pontos é feita com base nos parâmetros métricos retirados pelo software e atribuídos para câmera na primeira rodada de cálculos, e através deles é possível gerar um adensamento de dados na vizinhança dos pontos detectados como comuns em diversas imagens. Nesta etapa o software calcula informação de profundidade para cada imagem alinhada formando somente uma imagem, este processo é chamado de fototriangulação analítica.

Segundo Dalmolin (2018) é uma técnica fundamental no mapeamento topográfico, modelo matemático que considera a reconstrução ótima dos feixes perspectivos de raios luminosos que formam o espaço imagem no momento da aquisição das imagens fotográficas, para a reconstrução da profundidade do espaço-objeto. Neste modelo que podemos observar a obtenção das coordenadas de vários pontos no terreno.

3.4 Superfície (Modelo Numérico de Elevação)

Nesta etapa é feita a produção de uma superfície através da nuvem obtida na etapa passada. Esse processo pode ser realizado através de duas maneiras: através da geração de uma malha interligada ou diretamente através da geração do modelo digital de elevação.

A malha interligada poligonal representada tridimensionalmente a superfície do objeto com base na nuvem de pontos densos, a partir desta malha pode ser realizado o cálculo do Modelo de Elevação que é a reconstrução do espaço-objeto a partir do espaço imagem em um ambiente digital tridimensional.

O modelo de elevação também pode ser feito através diretamente a partir da nuvem de pontos densa que foi feita na etapa passada e é a representação bidimensional do mapeamento realizado, associando uma escala de cores as variações altimétricas ao longo do terreno.

3.5 Texturas e Mosaico de Ortofotos (Retificação e normalização de imagens)

Depois que a superfície é reconstruída tridimensionalmente, ela pode ser texturizada e ainda pode ser retificada em um modelo ortorretificado e este ser projetado em alguma das superfícies. A operação do software é bastante intuitiva e simplificada, estando a qualidade dos produtos gerados fortemente associadas a rigidez dos padrões de controle aplicados durante a pesquisa e a qualidade dos dados de inserção.

4 RESULTADOS

A apresentação dos resultados obtidos através da execução da pesquisa e do estudo de caso realizado, será dividida em três partes: equipamentos utilizados na topografia convencional, uma comparação entre topografia convencional e fotogrametria e processamento e análise das imagens no software AgiSoft Photoscan.

4.1 Levantamento Topográfico Convencional

4.1.1 Equipamentos

Para a realização deste levantamento são utilizados os seguintes Equipamentos:

- Receptores GNSS: são unidades de processamento capazes de decodificar, em tempo real, as informações enviadas pelos satélites das constelações (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS e SBAS). Através de métodos de posicionamento fornecem as coordenadas das posições de interesse e as coordenadas de partida para a orientação. Este levantamento, foi empregado para determinar as coordenadas conhecidas necessárias para aplicação do método de poligonação.
- Estação Total: é um instrumento eletrônico utilizado na medida de ângulos e distâncias. A estação total armazena os dados recolhidos e executa alguns cálculos mesmo em campo. Com a estação total, é possível determinar ângulos e distâncias das direções de interesse. A Estação Total utilizada apresenta a marca Leica, modelo TCR-407Ultra, com precisão angular de 03" e linear de 2 mm + 2 ppm.
- Prisma Refletor: tem a finalidade de refletir o sinal eletrônico emitido e ao transmiti-lo de volta a Estação, possibilitar a medição eletrônica da distancia entre a Estação e o ponto de interesse.
- Tripé: Entre os acessórios mais comuns de uma estação total está o tripé. Serve para estacionar o aparelho a ser utilizado.
- Marco de Concreto e Piquete: materializam os pontos da poligonal.

4.1.2 Software

Devido à utilização do receptor GNSS, Estação Total e realização de uma planta planialtimétrica digital, tornou-se necessário a utilização de alguns programas que viabilizassem a execução das etapas do levantamento, a saber:

- Spectra Precision Survey Office: este programa fornece um conjunto completo de recursos, quando se trata de processamento e análise de dados de pesquisa GNSS gravados no campo e que necessitam de tratamento para gerar os produtos, apresenta a capacidade de trabalhar com dados RTK e Estático para geração de relatórios, bem como identificar e corrigir erros de campo. Importar dados de pesquisas existentes ou

diretamente da Internet e exportar dados como pontos, ou em formato CAD ou XML, apresenta recursos integrados de garantia de qualidade e controle de qualidade, sendo utilizado para determinação das coordenadas dos marcos de apoio básico.

- Topograph V. 4.10a: Utilizado para descarga de dados da Estação Total, apresenta como características a feição de cadernetas de campo, controle e ajuste da poligonal, geração das coordenadas das irradiações e exportação de arquivos em texto ou em Computer Aided Design (CAD), o mesmo, foi utilizado para o tratamento dos dados oriundos da Estação Total.
- AutoCAD Civil 3D: Sendo um software da linha AutoCAD, é voltado para elaboração e análise de projetos nos mais diversos ramos da engenharia civil. Possui todas as funcionalidades do AutoCAD e uma gama de ferramentas exclusivas que permitiram desenvolver a plantas planialtimétricas e apresentar o produto final do levantamento.

4.1 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL X AEROFOTOGRAMETRIA

Com o estudo da fotogrametria, podemos analisar que a escolha do melhor método para realização de um levantamento topográfico pode ser influenciada por diversos fatores, sendo eles: questões físicas, condições climáticas, área do levantamento, nível de precisão, qualidade, produtividade, para assim verificar cada um dos fatores influenciadores na decisão do melhor método.

Quando se fala em grandes áreas, a fotogrametria traz diversas vantagens em realização a estação total, como tempo de execução, facilidade, necessidade de mão de obra, cálculo de volume, dentre outras. Em uma visita realizada na empresa BRgeo topografia localizada a no município de Varginha/MG foi feito um orçamento de valor e tempo de serviço dos dois tipos de levantamentos topográficos para uma área com 10 ha, e o valor passado pela empresa para realizar este levantamento com o uso da estação total ficaria em torno de R\$4000 e com um prazo de 1 semana de serviço para ser realizado, já com o uso da aerofotogrametria para esta mesma área ficaria em torno de R\$2500 e seria realizado em 3 horas de serviço.

Tendo em vista estes dados e pesquisas relacionadas a esta comparação podemos concluir que o uso da estação total ainda é indispensável na construção civil, pois leva uma

grande vantagem em áreas menores principalmente que já possuem construções como, prédios, vegetações e outras interferências que podem acontecer no vôo do drone.

Desconsiderando o equipamento GNSS e o CAD, comum aos dois métodos, foi feita inicialmente, uma verificação junto aos fornecedores de equipamentos de topografia e de aerolevanteamento, quanto aos custos de obtenção dos equipamentos apropriados e softwares que viabilizassem os respectivos levantamentos. Segundo Lima (2018) na verificação de preços de equipamentos e software, foram utilizados os demonstrados na tabela 5, os quais foram os utilizados nos respectivos levantamentos e a tabela 6 os custos de cada um.

Tabela 5 - Marca e modelo de Equipamento e Software

Tipo de levantamento	Equipamento modelo/marca	Software nome/fornecedor
Levantamento Topográfico Convencional	Estação Total TC 407ultra / LEICA	TopoGRAPH 98 SE/ BENTLEY
Levantamento Aerofotogramétrico	VANT Phantom 4 PRO / DJI	PhotoScan Professional Edition/ AGISOFT

Fonte: Lima (2018)

Tabela 6 – Valores de aquisição de equipamentos e software

Tipo de levantamento	Equipamento (R\$)	Software (R\$)	Valor total (R\$)
Levantamento Topográfico Convencional	≈ 25.000,00	≈ 3.500,00	≈ 28.500,00
Levantamento Aerofotogramétrico	≈ 8.000,00	≈ 11.725,00	≈ 19.725,00

Fonte: Lima (2018)

Em termos de valores, cabe salientar que o mercado é bastante dinâmico e que novos modelos de Estação Total e VANT são lançados com as mais variadas especificações técnicas, contemplando tanto o quesito produtividade, quanto qualidade. Portanto, esses valores podem ser bastante alterados dependendo da relação de custo-benefício que se quer alcançar podendo beneficiar uma ou outra técnica.

4.2 PROCESSAMENTO E PÓS-PROCESSAMENTOS DE IMAGENS NO SOFTWARE

As imagens geradas pelo voo aerofotogramétrico, conjuntamente com os pontos de apoio levantados, foram inseridas no software Agisoft Photoscan e passou a realizar os processamentos de fluxo de trabalho.

4.2.1 Posição Estimada de captura de imagens

Através da posição estimada da captura de imagens é possível estimar qual seria a incerteza do mapeamento caso não fossem aplicados pontos de apoio e controle em campo, e o referenciamento ocorresse apenas baseado no GPS embarcado no VANT, que atribui em cada captura suas coordenadas. Os resultados obtidos com esta consideração estão representados na tabela 7. Obtidos através do cálculo da média do erro medido entre a coordenada de captura de cada imagem, registrada pelo GPS embarcado no VANT, e a estimativa desta mesma coordenada através do modelo numérico, ajustado com o uso dos pontos apoio georreferenciados.

Tabela 7 - Erro em relação a posição de captura de cada imagem

E erro[m]	N erro[m]	Z erro[m]	Erro Total [m]
4,160851	3,568506	54,53034	54,805157

Fonte: Autor (2020)

Denota-se grande incompatibilidade na localização do eixo Z, atribuindo uma componente da ordem de 55m no erro médio calculado. O que não se percebe nas componentes planares de localização E e N que apresentaram valores de 4,16 e 3,57 respectivamente, esta última componente mais pronunciada por estar alinhada com o sentido de variação de posição do VANT.

4.1.3 Avaliação dos pontos de checagem

Como resultado do georreferenciamento de campo feito com GPS RTK tem-se as coordenadas dos pontos de apoio.

Tabela 8 - Coordenadas dos pontos de Apoio

PONTO	E(m)	N(m)	Z(m)
P1	7781603.225	606151.514	1390.633
P2	7781651.043	606185.517	1389.134
P3	7781607.663	606254.661	1385.273
P4	7781582.211	606307.573	1380.247
P5	7781522.576	606267.059	1381.517
P6	7781461.635	606225.564	1382.395
P7	7781492.165	606176.795	1384.915
P8	7781553.889	606208.591	1386.272

Fonte: Autor (2020)

O erro de apontamento dos pontos de apoio na imagem deve ser menor que 1 pixel, valor que lhe confere incerteza inferior ao valor do GSD final atingido pelo mapeamento, neste caso o valor de 0,608 é razoável, produzindo precisão dos pontos de controle igual a 3,54 cm valor. Também observa-se que o ponto que obteve menor valor de projeções, o que é equivalente ao número de imagens em que foi registrado, identificado e teve suas coordenadas calculadas, foi o ponto P2 com 3 projeções, uma vez que o módulo do erro, expresso na coluna (Erro Total) foi igual a 3,645 cm.

Tabela 9 - Avaliação do erro médio quadrático dos pontos de apoio.

PONTO	E erro[m]	N erro[m]	Z erro[m]	Erro Total	Projeções	Erro [p]
P1	0.027584	-0.353311	-6.571520	6.580727	4	0.292
P2	-0.116204	-0.080349	-3372816	3.376088	3	0.282
P3	-0.138620	-0.144937	1.216066	1.235506	4	0.846
P4	0.034063	-0.076814	2.751094	2.752221	5	0.526
P5	0.381674	0.066417	3.220707	3.247149	4	0.764
P6	0.177051	0.079699	2.775828	2.784686	5	0.762
P7	-0.160285	0.022950	2.973042	2.976135	4	0.624
P8	-0.785065	0.0432064	-3.217173	3.329454	6	0.470
Total	0.326665	0.210998	3.550976	3.571523		0.608

Fonte: Autor (2020)

Depois de processadas as imagens no software, os resultados são facilmente observados quando determinada a área de cada terreno desejado. No bairro Jardim Canada em Nova Lima, foi feita a divisão em quatro terrenos e a análise dos resultados obtidos no software foi a área e perímetro de cada terreno.

Figura 4: Terrenos



Fonte: Autor (2020)

- Terreno 1: Com uma área de de $3068,8\text{m}^2$ e um perímetro de $218,8\text{m}$ o terreno 1 possui somente poucas árvores que facilitam a obtenção das imagens para que não haja nenhuma intervenção que possa atrapalhar na medição do terreno.
- Terreno 2: Com uma área de $3352,5\text{m}^2$ e um perímetro de $224,2\text{m}$, o terreno possui um parquinho para crianças que ocupa uma área de $135,7\text{m}^2$ do terreno e um volume de $44,3\text{m}^3$.
- Terreno 3: Com a menor área devido as suas curvas o terreno 3 tem uma área de $2734,6\text{m}^2$ e um perímetro de $210,6\text{m}$, o terreno além de árvores e uma praça possui uma quadra poliesportiva que ocupa $782,5\text{m}^2$ da área do terreno.
- Terreno 4: Neste terreno foi visto um grande exemplo onde a aerofotogrametria não possui tanta efetividade, devido há existência árvores, a medição do terreno não possui uma precisão recomendada por estarem em cima das extremidades e visão do solo total do terreno.

Após o processamentos de dados, a obtenção dessas informações no software são práticas e fáceis, de qualquer parte ou área do terreno, a facilidade que a fotogrametria nos traz na construção civil tende a ser cada vez maior e com uma maior precisão com o avanço da tecnologia e qualidade das imagens obtidas, por isso o uso da fotogrametria é imprescindível em um levantamento topográfico de áreas grandes, inacessíveis, e outras como já citado no decorrer desta pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Toda tecnologia possui seus pontos positivos, negativos e principalmente suas limitações. O mais importante é conhecer as características de cada uma e aplicá-la de acordo com as necessidades do projeto, como a agilidade e facilidade no uso da aerofotogrametria em relação ao método convencional, porém a dificuldade em terrenos que já possuem objetos que dificultam a visão das imagens captadas.

A comparação do estudo do uso da aerofotogrametria e a topografia convencional nos mostra que é possível considerar a fotogrametria com veículos aéreos não tripulados como sendo uma alternativa mais rápida e menos onerosa para levantamentos topográficos de áreas extensas e com dificuldades de acesso, a depender dos critérios de tolerância desejados em projeto, e os refinamentos necessários entorno destes dados.

A fotogrametria gera uma quantidade maior de dados, o que proporciona um melhor detalhamento do terreno. Além disso, a fotogrametria oferece dados exclusivos como a realidade virtual do terreno (MDS), que combinado com outros sistemas, fornece suporte para que as atividades de projeto, análise sejam desenvolvidas de forma mais produtiva e qualitativa, apesar de pecar em medições de áreas parecidas com o terreno 4 que possuem objetos que obstruem a visão do solo do terreno.

Não se pretende determinar o método mais eficaz. Todos têm sua devida aplicação e são eficientes no que se propõem, sendo de suma importância, quando da determinação do levantamento, a correta definição dos equipamentos, método e processamento para alcançar a excelência no fornecimento do produto cartográfico exigido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**, 2ª Edição, 274p. SBEE, 2003.

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

DALMOLIN, Jorge Augusto, **Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos**, 92p. Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

DE CARVALHO, Lucio Ricardo Bastos, **A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) no georreferenciamento de imóveis rurais**, 5p. Universidade Vale do Rio dos Sinos, 2016.

FORTUNATO, José Carlos. **Artigo: comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional**, Mundogeo, 26/08/2018. Disponível em: < <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/>>. Acesso em 03 outubro 2019.

LIMA, Gerson Oliveira, **Estudo comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrico) para fins de elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em belém**, 61p. Universidade Federal Rural Da Amazônia, 2018.

MARTIN, Laurent. **PEC, como aplicar**. 2016. Disponível em: . Acesso em: 4 out. 2017.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**, 497p. University Press of America, 1976.

SATO, Simone Sayuri, **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**, 229p. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, Daniel Carneiro da; COSTA, Glauber Carvalho. **Aerofotogrametria em projetos de estradas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**, 3, 2010, Recife. Artigo. Recife: Alb, 2010. p. 1 - 13.

SOUZA, Genival Corrêa, **Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano**, 108p. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2001.

VEIGA, L. A. K; ZANETTI, M. A. Z; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Apostila do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2012.

ABSTRACT

This work addresses the use of photogrammetry for surveying in civil construction. Such an approach is due to the fact that the use of remotely piloted aircraft facilitates obtaining data from large areas. The objective of this work is to evaluate the application of aero photogrammetry techniques and to compare it with conventional methods. This purpose will be achieved through a study on photogrammetry and the realization of a topographic survey project using the image data obtained through an unmanned aerial vehicle. The study demonstrated that in comparison to the total station, the use of aero photogrammetry in topographic surveys tends to be more practical and agile in larger areas, in addition to less labor and cost reduction as a consequence, but it does not have the millimeter precision that the use of station provides us, but centimeter. The case study proved the efficiency after the data processing in the software in the measurement and elaboration of the digital models.

Keywords: Photogrammetry. Topography. VANT.