



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO
ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA REALIZAÇÃO DE
LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS**

FÁBIO DOS ANJOS REZENDE

**PETROLINA, PE
2019**

FÁBIO DOS ANJOS REZENDE

**UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO
ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA REALIZAÇÃO DE
LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF SERTÃO-PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a
obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

**PETROLINA, PE
2019**

FÁBIO DOS ANJOS REZENDE

**UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO ALTERNATIVA
DE BAIXO CUSTO PARA REALIZAÇÃO DE LEVANTAMENTOS
TOPOGRÁFICOS**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao IF
SERTÃO-PE *Campus* Petrolina Zona Rural, exigido
para a obtenção de título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: ____ de _____ de ____.

Msc. Ricardo Macedo da Silva
Professor (Orientador)

Dr. Pablo Teixeira Leal de Oliveira
Professor (Membro interno da banca examinadora)

Dr. Miguel Júlio Machado Guimarães
Professor (Membro externo da banca examinadora)

RESUMO

O presente estudo estabelece uma comparação entre os métodos tradicionais de levantamento topográfico e a aerofotogrametria, levando em consideração o baixo custo, os serviços realizados e a precisão. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial do tipo 2x3, sendo 2 metodologias (RTK e drone) e 3 faixas de declividade (0 a 5%, 5 a 10 % e 10 a 15%). Para isto foram escolhidas áreas acima de 5 hectares no município de Petrolina-PE. Os resultados obtidos com o GPS RTK foram utilizados como referência na comparação com o drone. O levantamento realizado com drone mostrou-se vantajoso em relação ao tempo de execução e investimento inicial, podendo ser utilizado em levantamentos que não demandem precisão milimétrica. Além disso, uma análise dos dados do GPS RTK com o método fotogramétrico mostrou ainda que este atende a planejamento, implantação, monitoramento e na ajuda de tomada de decisões.

Palavras-chave: GPS RTK, Drone, Aerofotogrametria e Agricultura de precisão.

ABSTRACT

This study compares traditional surveying methods and aerophotogrammetry, taking into account the low cost, the services performed and the accuracy. A completely randomized design in a 2x3 factorial arrangement was used, being 2 methodologies (RTK and drone) and 3 slope ranges (0 to 5%, 5 to 10% and 10 to 15%). For this, areas above 5 hectares were chosen in the municipality of Petrolina-PE. The results obtained with GPS RTK were used as reference in comparison with the drone. The drone survey proved to be advantageous in relation to the execution time and initial investment, and can be used in surveys that do not require millimeter accuracy. In addition, an analysis of GPS RTK data with the photogrammetric method also showed that it meets the planning, implementation, monitoring and decision-making aid.

Keywords: GPS RTK, Drone, Aerophotogrammetry and Precision Agriculture.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente, no decorrer desta minha caminhada e crescimento profissional, desde já deixo aqui manifestado meu apreço e admiração.

Ao Topógrafo João Cabral de Mira e ao Engenheiro Agrônomo João Paulo dos Santos Miranda, pela disponibilidade e pelos conhecimentos e conselhos transmitidos ao longo desta vida profissional.

Aos professores: Cristina Akemi Mogami, Miguel Júlio Machado Guimarães e Ricardo Macedo da Silva pela disponibilidade e conhecimentos transmitidos ao longo da jornada acadêmica.

A minha família pela paciência e compreensão, e em especial minha mãe Marina, pelo ânimo e incentivo que muito impulsionaram ao longo desta jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campos Zona Rural por estar ajudando na formação, crescimento e desenvolvimento da sociedade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1. Balões, dirigíveis, aviões e satélites.....	07
Figura 2. Drone e terreno natural.....	07
Figura 3. Aplicação dos Drones na agricultura.....	09
Figura 4. Tipos de drone e VANTs. Fonte: Boos Voos (2019).....	11
Figura 5. Áreas em estudo: (a): 0-5% de declividade, (b): 5-10% de declividade e (c): 10-15% de declividade.....	12
Figura 6. Programa SUVCE e controladora Trimble T41.....	13
Figura 7. Pontos coletados pelo GPS RTK.....	14
Figura 8. Aplicativo para controlar o drone - PIX4D.....	14
Figura 9. Planejando o plano de voo - PIX4D	15
Figura 10. Diferença dos dados do drone com o GPS, (a) altitude demonstração e (b) declividade 0-5%,.....	17
Figura 10. Diferença dos dados do drone com o GPS (c) declividade de 5-10% e (d) declividade de 10-15%.....	18
Figura 11. Ortofoto e ponto de checagem (a)tratamento de 0-5% de declividade, (b)tratamento de 5-10% de declividade e (c)tratamento de 10-15% de declividade..	20
Figura 12. Correlação entre o número de satélites captados e o erro vertical das observações.....	22

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Médias de estimativas de precisão vertical (ortométrica) de levantamento realizado com RTK e drone em três áreas de níveis de declividade diferentes no município de Petrolina-PE.....	17
Tabela 2. Médias de estimativas de precisão horizontal de levantamento realizado com RTK e drone em três áreas de níveis de declividade diferentes no município de Petrolina-PE.....	19
Tabela 3. Número de satélites captados no momento do registro do ponto pelo GPS RTK.....	21
Tabela 4. Análise de correlação de Pearson para as variáveis de Número de satélites captados e precisão horizontal e vertical do RTK.....	21

SÚMARIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	06
2. REFERENCIAL TEÓRICO	06
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo Geral.....	11
3.2. Objetivos específicos.....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6. CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	23

1. INTRODUÇÃO

A aerofotogrametria tem como característica a obtenção de dados topográficos através de fotografias aéreas, oblíquas ou verticais em relação ao solo, tendo como objetivo principal o mapeamento da superfície terrestre através de medidas precisas. As informações quantitativas são obtidas por meio de uma câmera fotográfica ou métrica que capta a energia irradiada ou refletida pelos objetos, registadas em cores (ou bandas). A combinação de várias fotos aéreas de uma determinada região com certas medições de apoio realizadas em terra oferece uma visão tridimensional do terreno permitindo a elaboração de diversos tipos de mapas com elevado grau de detalhe (ANDRADE, 2019).

O termo 'topografia com drones' é utilizado no cotidiano, contudo o termo correto seria aerofotogrametria com drones tendo como conceito: "ciência que captura informações de objetos em solo sem contato direto entre este e o sensor", ou seja, você não precisa percorrer o terreno para capturar informações, podendo ser realizado de forma remota (sensoriamento remoto). Portanto, podemos afirmar que do ponto de vista das geociências o correto é aerofotogrametria com drones, mas do ponto de vista literal da expressão pode-se dizer que é realizada a topografia do terreno através de drones. (MUNDOGEO, 2018)

Independente do termo utilizado, o uso dos drones para coletar informações do terreno representa uma evolução tecnológica da ciência chamada aerofotogrametria. As principais mudanças que ocorreram com a chegada dos drones foram a diminuição dos custos, logística e facilidade na operação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A aerofotogrametria é uma ciência bastante antiga e a mais popular dentro das geociências. Basicamente ela é realizada através de operadores em aeronaves equipadas com algum tipo de câmera ou sensor para coleta de imagem/dados em relação ao solo. No início da tecnologia eram utilizados os equipamentos aéreos disponíveis, como pode ser observado na Figura 1:

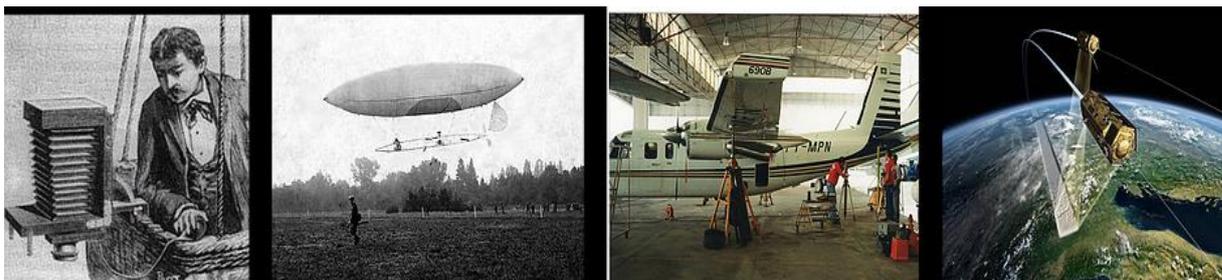


Figura 1. Balões, dirigíveis, aviões e satélites.

Para a implantação e funcionamento de qualquer atividade agrícola existe a necessidade da realização de levantamentos topográficos, entre outras atividades semelhantes. Para que isso se torne possível em qualquer local, independente das condições físicas desse espaço, é necessária a utilização de algumas ferramentas que possibilitem sua realização. Desse modo, com o desenvolvimento das tecnologias, surgiram várias ferramentas que auxiliam nas atividades de engenharia, como por exemplo, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), comumente chamado de drone (GONÇALVES et al., 2015).

Devido ao alto custo de viabilidade a aerofotogrametria era restrita a órgãos públicos e grandes empresas de engenharia. Com a chegada dos drones esses custos diminuíram drasticamente, o que possibilitou que pequenas e médias empresas trabalhem com essa tecnologia, como pode ser observado na Figura 2:

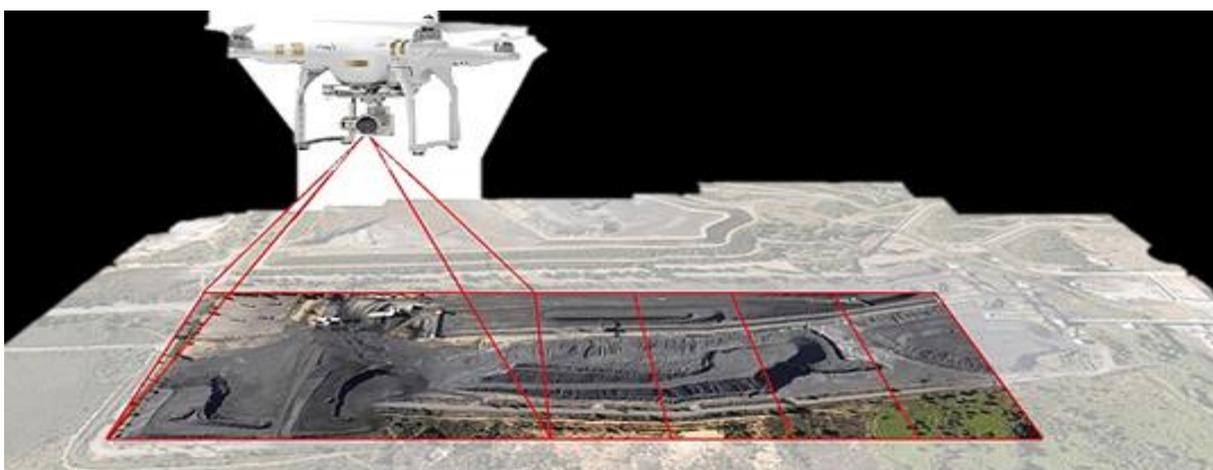


Figura 2. Drone e terreno natural.

As vantagens desse tipo de equipamento é a velocidade de aquisição dos dados (muitas vezes é em tempo real), como também a redução de custos com a operação. Desse modo, os drones podem ser utilizados para a realização de várias

atividades na topografia, como: mapeamento, monitoramento ambiental, análise de relevo de uma região entre outras atividades (TAVARES, 2017).

Diante disso, a utilização de drones se mostra como alternativa às ações que antes dependiam de aeronaves tripuladas como a realização de mapeamento, com a vantagem de ser uma tecnologia de menor custo operacional, além da rapidez na aquisição dos dados e na resolução dos problemas que motivaram o levantamento. Vale ressaltar também que essa nova tecnologia, por não necessitar o contato direto com o objeto, poderia facilitar o acesso as áreas remotas ou restritas e otimizar o tempo despendido no levantamento (DIAS et al., 2014).

Os drones aplicados a atividades topográficas possuem câmeras embutidas com a finalidade de obter imagens aéreas que, juntamente com dados de localização geográfica, são capazes de gerar dados topográficos com mais detalhes e rapidez comparados aos levantamentos realizados de forma convencional como com Estação Total ou GNSS RTK, além da utilidade da própria imagem gerada. Em poucos minutos o drone realiza um trabalho que demoraria dias com equipamentos topográficos convencionais.

O Phantom 4 Pro é uma melhoria do Phantom 4 lançado no último ano podendo voar um total de aproximadamente 50 km/h com a tecnologia de desvio dos obstáculos. Anteriormente, para ir rápido, era necessário que colocasse o drone no modo esporte para evitar acidentes. Possuindo sensores traseiros afim de evitar obstáculos andando de “ré”, o tempo de voo é atingido em 30 minutos. A câmera de bordo possui um sensor de 1 polegada, atualizado com capacidades fotográficas de 20 megapixels. Esse sensor maior permite 11,6 pontos de alcance dinâmico, o que deve manter grande precisão. Qualidade em 4K, com velocidade de até 60 quadros por segundo e até 100Mbps.

As imagens obtidas pelo drone podem ser úteis em levantamentos executados periodicamente para elaboração de registro para análise temporal de obras e estruturas como Minerações, Supressões Vegetais, Estradas, Ferrovias, e diversas outras atividades, conforme demonstra a Figura 3.



Figura 3. Aplicação dos Drones na agricultura. Fonte: Silva (2015).

Na mineração os drones podem ser utilizados para monitorar estoques de materiais e determinar quantidades. Além disso, é possível realizar pesquisas de danos e falhas em áreas perigosas, o que colabora para uma maior segurança do trabalhador.

No Meio Ambiente drones são muito mais eficazes para fazer o monitoramento dos ecossistemas do que o método tradicional por via terrestre. As aeronaves podem fazer o mapeamento aéreo de florestas, inclusive as de difícil acesso, e de reservas aquáticas, fornecendo imagens de alta qualidade em um curto período de voo. Podem também transportar equipamentos meteorológicos como termômetros, medidores de vento, sensores de umidade e pressão para coletar dados climáticos.

Na segurança pública com vários modelos disponíveis no mercado, eles são usados para mapear áreas, fazer varredura em locais de difícil acesso, usando tecnologias de scanner por infravermelho e por reação térmica; ou seja, à noite, por exemplo, as forças de segurança podem fazer uso do drones para localizar pessoas escondidas em matas ou em qualquer local onde só é possível ter acesso durante o dia, ou em local cuja visão é limitada.

Em obras os drones tem como funcionalidade captar imagens e permitir aos profissionais que estão distantes a possibilidade de monitorar áreas. O trabalhador pode acompanhar o desempenho das obras visualizando diferentes ângulos e

fiscalizar a segurança tanto estrutural como de EPC (Equipamentos de Proteções Coletivas) e de EPI (Equipamentos de Proteção Individual) dos trabalhadores.

Os drones para pulverização conseguem mapear a topografia do solo através de um sistema de lasers e ultrassom e regular sua altitude de vôo. Ao mapear a topografia da propriedade, os drones para pulverização permitem a aplicação do produto com maior precisão, economia e agilidade.

Os drones para mapeamento aéreo são outra aplicação dos drones na agricultura. Equipados com o sistema NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), os drones para mapeamento aéreo conseguem, dentre outras coisas, realizar: contagem de plantas e identificação de falhas nas linhas de plantio; identificação de ocorrência de pragas, doenças e deficiência nutricional; geração de mapas de aplicação de taxas variáveis para a aplicação de insumos e fertilizantes com precisão;

Outro tipo de aplicação na agricultura são os drones para irrigação que conseguem com apenas um sobrevôo identificar precisamente as regiões da lavoura com maior exigência hídrica.

O georreferenciamento é um instrumento requerido pelo INCRA e seus prazos variam de acordo com o tamanho da propriedade. A utilização de drones é uma das opções do georreferenciamento, e diversas empresas de georreferenciamento já usam desse maquinário para fazer o serviço.

O Quadro 1 mostra algumas características essenciais para a escolha dentre os modelos de drones e VANTs, tais como tempo de voo, GSD* (tamanho de um pixel em centímetros, exemplo: 1,85cm/pixel) área de abrangências para o levantamento.

Quadro 1 - Comparativo de Drones, tempo de voo, GSD e área levantada. Fonte: Boos Voos (2019).

DRONE	TEMPO DE VOO	GSD	ÁREA
Phantom 4	13 min	5cm/pixel	48ha
Phantom 4 Pro	20min	3,6cm/pixel	70ha
VTOL 180 Lite	30min	3,22cm/pixel	210ha
VTOL c/ Li-ion	50min	3,22cm/pixel	427ha
VANT 200	60min	3,22cm/pixel	480ha
VANT 200 Li-ion	90min	3,22cm/pixel	680ha

É importante salientar que existem vários modelos de drone e VANT no mercado (Figura 4), considerando que cada tipo de aeromodelo tem finalidades e funções específicas para cada tipo de atividade.



Figura 4. Tipos de drone e VANTs. Fonte: Boos Voos (2019).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Analisar alternativas para levantamento de informações geoespaciais e suas aplicações na área agrária, com ênfase nos métodos de baixo custo com a utilização de drones multirrotores.

3.2. Objetivos específicos

- Comparar os dados obtidos em levantamentos topográficos realizados com receptores GPS RTK e aquele realizado por drones.
- Analisar a precisão e a viabilidade da obtenção de dados geoespaciais obtidos através levantamentos topográficos realizados por drones.
- Correlacionar os dados geoespaciais obtidos por drones com os dados obtidos por um GPS RTK de precisão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Petrolina-PE, no Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural (latitude 09°20'19,03'' S, longitude 40° 42'01,39'' O, altitude 410 m). O delineamento experimental utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado, em esquema fatorial 2 x 3, sendo representado por dois métodos de levantamento topográfico: Convencional (GNSS RTK), o qual foi utilizado como referência, e com Drone (fotogramétrico); e três áreas com faixas de declividade diferentes (abaixo de 5%; de 5 a 10%, e de 10 a 15%).

Na escolha da área de estudo foi levado em consideração à necessidade de se encontrar um local que possuísse relevo dentro das três faixas de declividade propostas pelo presente trabalho, vegetação predominantemente rasteira com mata densa em pontos isolados, para avaliar a interferência da vegetação nos dados do drone; e que possuísse área maior do que 5 hectares, isto por que é uma característica das áreas da região do semiárido.

Com o uso do Google Earth realizou-se o plano de voo exportando os arquivos das áreas em formato kml para facilitar a operação com o drone em campo. A Figura 5 explana as imagens das áreas em estudo.

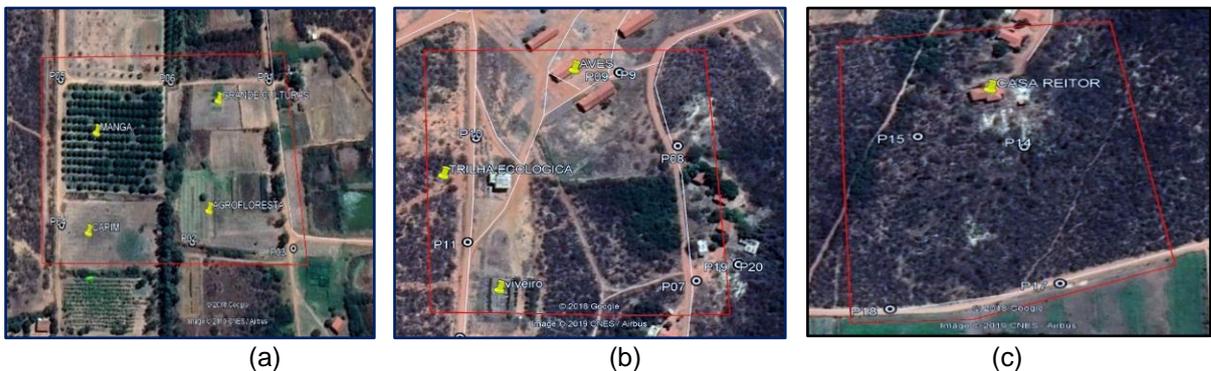


Figura 5. Áreas em estudo: (a): 0-5% de declividade, (b): 5-10% de declividade e (c): 10-15% de declividade

O primeiro levantamento foi realizado por modo convencional, com a utilização do receptor GNSS SP80 (Spectra Precision). A tecnologia centrada em GNSS Z-Blade do SP80 oferece posicionamento GNSS com erro de $10\text{mm} = 1,5\text{ppm} \times D$, utilizando todos os sinais GNSS disponíveis. Os modos de posicionamento somente GPS, Glonass ou BeiDou estão disponíveis quando necessário. Chamado de RBMC-IP, o serviço consiste na transmissão em tempo real, pela internet, das observações coletadas em 26 das 60 estações GPS de operação contínua espalhadas pelo território nacional, pertencentes à Rede

Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas (RBMC), mantida pelo IBGE. Ao utilizá-lo, um usuário pode melhorar em dez a cem vezes a precisão do conhecimento da sua posição.

A partir daí, os dados recebidos pelo receptor GPS são combinados com os transmitidos pelo IBGE pela internet, o que permite a obtenção de precisões de posicionamento que podem variar a apenas alguns centímetros (no caso do uso da técnica RTK – Relativo cinético em tempo real). O NTRIP permite conexões simultâneas de computadores desktop, laptops e PDAs (computadores de mão) que possuam acesso à internet sem fio, como, por exemplo, GPRS ou modem 3G.

O GPS RTK é configurado por aplicativo que funciona numa coletora (controladora) ou célula que configura com a antena GPS por meio de comunicação via bluetooth, o aplicativo utilizado foi o SURVCE que já vem na coletora, de acordo com a Figura 6.



Figura 6. Programa SURVCE e controladora Trimble T41

Para isso, foram distribuídos pontos marcados em toda a área de estudo, criando pontos de checagem para verificar as possíveis diferenças entre os levantamentos realizados (Figura 7). Os pontos de checagem foram colocados com umas placas de 0,60 x 1,00m e 0,30 x 0,40m. O levantamento feito com o GPS RTK onde foram utilizados seis pontos para cada tratamento como referência para a análise estatística.



Figura 7. Pontos coletados pelo GPS RTK.

Logo em seguida, efetuou-se o levantamento fotogramétrico com o auxílio de um drone da marca DJI, modelo Phantom 4 Pro. Foram utilizados no mínimo 06 pontos de checagem, também chamados de pontos de apoio, os quais foram confeccionados com placas de madeira de 30 centímetros de largura por 40 de comprimento, combinadas duas a duas, formando um “V”. De acordo com Neto (2016), os pontos de controle são pontos foto-identificáveis, sejam eles, objetos, alvos ou detalhes no terreno, e que aparecem nas imagens aéreas. Foram utilizados para fazer a correção entre o sistema de coordenadas da imagem com o do terreno e utilizados no software de processamento. O voo foi planejado no software PIX4D, a 60 metros de altura e com 80% de sobreposição lateral e longitudinal, de acordo com a Figura 8 e 9.

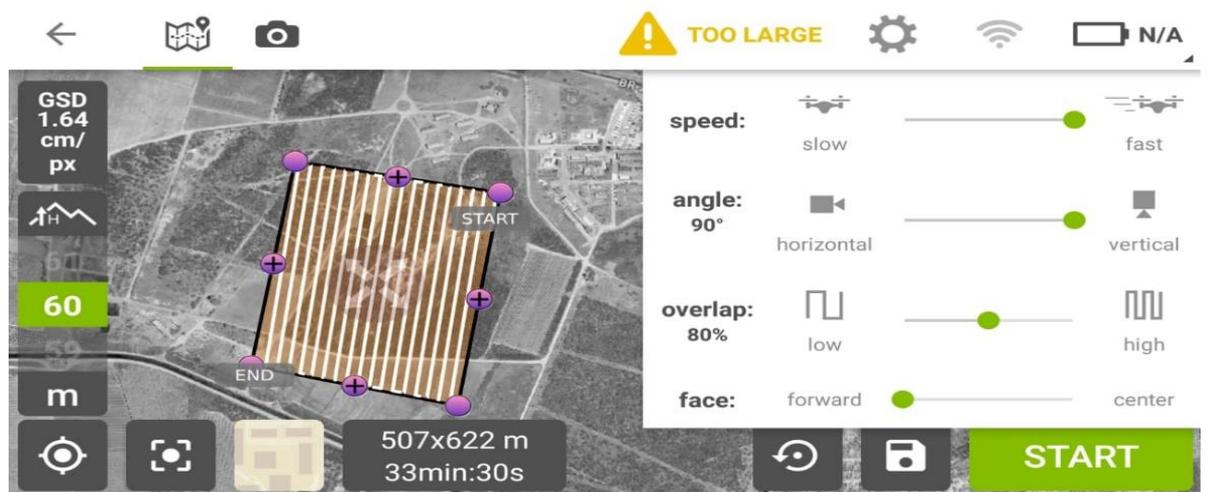


Figura 8. Aplicativo para controlar o drone - PIX4D



Figura 9. Planejando o plano de voo - PIX4D

As imagens capturadas pelo equipamento foram processadas no software Agisoft Metashape Professional versão 1.5.5, usando uma máquina com processador Intel Core i7 (7ª geração) e 32,00 GB de memória RAM, placa de vídeo Nvidia 1080 de 11 Gb. Posteriormente ao processamento e geração da nuvem de pontos densa, foi utilizada a ferramenta de classificação de pontos, a fim de excluir aqueles que não são representativos do solo.

O Agisoft Photoscan é um programa para processamento fotogramétrico das imagens obtidas no aerolevanteamento. Integra os dados obtidos de pontos de controle e de imagens para gerar modelos ajustados de terreno, superfície e o ortomosaico. (SILVA et al., 2019).

As imagens obtidas a partir de câmeras não métricas, aliadas às técnicas de computação visual e de fotogrametria digital possibilitam processos automáticos para a aquisição de mosaicos de imagens ortorretificadas e nuvem de pontos com valores altimétricos (ROIG et al., 2013).

O primeiro processo para gerar esses produtos a partir dessas imagens, é por meio do alinhamento das imagens correspondentes. A redundância de imagens ocorre devido aos voos em baixas alturas e as sobreposições superiores ao recomendado na fotogrametria convencional. Antes das imagens serem ajustadas, aproximações de suas orientações são conseguidas utilizando os dados do IMU da aeronave (RUIZ et al., 2014).

A análise de precisão do levantamento feito por aerofotogrametria com drone terá como coordenadas de referência o levantamento feito com o GPS RTK. Para análise dos dados obtidos foram utilizadas as seguintes etapas:

- 1 - Levantamento do par de coordenadas de estudo (drone) através de arquivo em formato .tiff e no próprio Agisoft Metashape Professional;
- 2 - Processamento do levantamento com GPS para identificação do par de coordenadas de referência;
- 3 – Inserção dos pares de coordenadas no algoritmo;
- 4 - Teste de precisão.

De posse dos dados, adaptou-se a metodologia proposta por SIMÕES et al. (2017), onde foi possível determinar as discrepâncias entre coordenadas e a discrepância resultante, sendo: $\Delta E = ER - ED$; $\Delta N = NR - ND$; $\Delta H = HR - HD - K$ onde ΔE representa discrepâncias de coordenadas Este, ΔN discrepâncias de coordenadas Norte, ΔH discrepância da altitude, D refere-se as coordenadas a serem testadas (coordenadas do drone), R representa as coordenadas de referência e K é uma constante aleatória da altitude do drone . Em posse das discrepâncias, realizou-se uma análise descritiva para determinar a média, o desvio padrão bem como valores máximos e mínimos.

As análises estatísticas foram realizadas pelo software SAS 9.0, sendo realizada análise de variância ($P < 0,05$), e posteriormente aplicada a comparação de medias usando o teste de Tukey. Também foram realizadas análises de correlação entre número de satélites e as características de estimavas de precisão horizontal e vertical.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

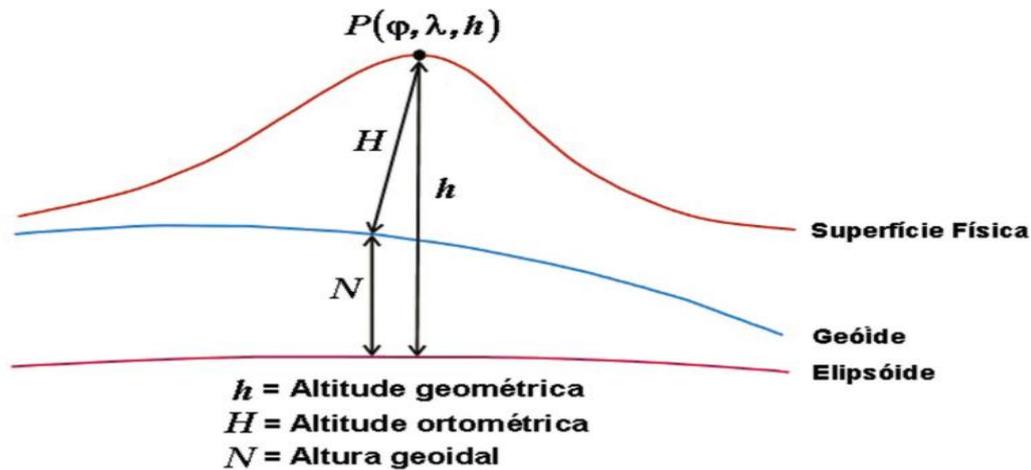
'Na tabela 1 pode ser observada que para a variável “estimativas de precisão vertical” houve interação entre os fatores Instrumento e declividade. Assim observa-se que os dados obtidos pela medição com o aparelho RTK não são afetados pelas declividades do terreno. Contudo os dados obtidos com o drone, mostraram uma diferença entre as declividades, onde o maior erro vertical foi encontrado na faixa de declividade de 0 a 5%, e o terreno mais declivoso apresentou um menor erro vertical. Entre os instrumentos como já era esperado, as médias do drone apresentaram valores de erro vertical mais alto quando comparado com os dados do RTK.

Tabela 1. Médias de estimativas de precisão vertical (ortométrica) de levantamento realizado com RTK e drone em três áreas de níveis de declividade diferentes no município de Petrolina-PE.

Instrumento utilizado	Declividades das áreas		
	0-5%	5-10%	10-15%
RTK	0,0298 ± 0,0121 Ba	0,0216 ± 0,0039 Ba	0,0179 ± 0,0022 Ba
Drone	18,7040 ± 1,3281 Aa	11,8383 ± 0,3647 Ab	10,7947 ± 0,5931 Ac

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes para equipamento e minúsculas para declividades diferem estatisticamente ($P < 0,05$)

A diferença entre as altitudes é representada pela Figura 10 (a). Os erros N , E e h são representados com referencia no elipsoide. Observa-se que o GPS do Drone é de baixa precisão, quando comparado com os pontos de controle distribuídos na área do levantamento. A média do erro, sem a correção pelos pontos de controle é apresentado na Figura 10 (b), (c) e (d). De forma geral o erro obtido através do drone foram muito maiores que os encontrados com o RTK.



(a)

NORTE	ERRO NOTE	LESTE	ERRO LESTE	COTA	ERRO COTA	CORREÇÃO COTA
8967332,356	0,360	313376,368	1,152	375,513	19,510	1,010
8967198,712	-0,582	313259,237	0,275	376,005	17,204	-1,296
8967170,089	-0,855	313371,676	1,095	377,372	17,240	-1,260
8967244,449	-0,164	313116,976	-0,781	376,908	18,327	-0,173
8967380,159	0,777	313144,323	-0,517	375,830	20,430	1,930
8967353,443	0,591	313266,870	-0,302	374,376	19,513	1,013

Ortofoto e ponto de checagem, tratamento de 0-5% de declividade

(b)

NORTE	ERRO NOTE	LESTE	ERRO LESTE	COTA	ERRO COTA	CORREÇÃ O COTA
8967301,005	0,691	314180,456	1,726	415,018	11,421	-0,579
8967429,287	1,706	314213,689	1,645	409,303	11,536	-0,464
8967515,015	2,342	314193,274	1,329	400,781	11,718	-0,282
8967498,826	1,932	314053,266	0,320	396,993	12,007	0,007
8967404,383	1,155	314009,065	0,257	398,367	11,918	-0,082
8967317,908	0,448	313968,720	0,149	399,074	11,904	-0,096
Ortofoto e ponto de checagem, tratamento de 5-10% de declividade						
(c)						
NORTE	ERRO NOTE	LESTE	ERRO LESTE	COTA	ERRO COTA	CORREÇÃ O COTA
8967198,614	0,180	314109,164	0,381	415,112	10,521	0,021
8967136,471	0,039	314089,517	0,121	410,572	10,408	-0,092
8967173,434	0,360	314020,409	-0,058	409,571	10,828	0,328
8966995,224	-0,443	314065,095	-0,427	391,295	10,248	-0,252
8967015,581	0,079	313936,505	-0,894	392,810	10,859	0,359
Ortofoto e ponto de checagem, tratamento de 10-15% de declividade						
(d)						

Figura 10. Diferença dos dados do drone com o GPS, (a) altitude demonstração, (b) declividade 0-5%, (c) declividade de 5-10% e (d) declividade de 10-15%.

Com rela o a Figura 10 (d) pode-se observar que o drone obteve bons resultados tanto no plano (Norte e Este), porém com um erro alto mais de forma constante na altitude, e desta forma o drone pode sim ser utilizado sem a necessidade dos pontos de controle para a elabora o de alguns tipos de projetos que não exijam alta precisão, como estudos preliminares e de viabilidade de áreas para determinados projetos. A medi o   baseada em coordenadas geográficas de GPS, representando o espaço e os fen menos que nele ocorrem. A precisão geográfica em VANTs (sem uso de RTK) costuma considerar uma margem de 1 a 3 metros de erro de posicionamento.

Ao processar as imagens capturadas com o VANT o usuário obt m uma imagem ortorretificada que permite c culos topográficos do terreno, medi es e

outras análises. Essas medições são diretamente ligadas ao GSD* (tamanho de um pixel em centímetros, exemplo: 1,85cm/pixel) resultando na qualidade da imagem.

O drone tem acoplado um receptor GPS que sincroniza com as constelações GPS (NAVSTAR - 24 satélites) pertencente aos EUA e a com constelação de GLONASS (24 satélites) pertencente à Rússia, porém não é de alta precisão e não é possível fazer o pós-processamento dos dados. O erro do deslocamento de cada imagem é calculado pelo software com referência nos pontos de controle (SANTOS et al., 2016).

Imagens coletadas por VANT também possibilitam a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE). Como identificado no trabalho de Mancini et al. (2013), que teve como objetivo reconstruir a topografia de um ambiente costeiro. Os autores encontraram diferentes densidades de pontos para distintas superfícies. Em texturas uniformes, como em áreas com areia houve uma redução do número de pontos. Nesse mesmo estudo é sugerido o mínimo de 10 imagens sobrepostas para obter resultados confiáveis, comparáveis a levantamentos com Light Detection And Ranging (LIDAR).

Na tabela 2 verifica-se que a precisão horizontal com RTK foi a mesma para todas as declividades estudadas. Para a medição com drone verificou-se que declividades entre 5 e 10 % proporcionam maiores erros de posicionamento. Este comportamento não era esperado, podendo estar ligado ao erro do GPS do drone (1 a 3m). Contudo o coeficiente de variação foi muito alto, assim como a variação nos erros padrões das médias, sugerindo que a variação nos dados foi extremamente alta, talvez devido à baixa quantidade de pontos utilizados na comparação com os pontos de controle, aquém do necessário para a característica da área.

Tabela 2. Médias de estimativas de precisão horizontal \pm erro padrão da média de levantamento realizado com RTK e drone em três áreas de níveis de declividade diferentes no município de Petrolina-PE.

Instrumento utilizado	Declividades das áreas		
	0-5%	5-10%	10-15%
RTK	0,014 \pm 0,0056 Aa	0,011 \pm 0,0020 Ba	0,011 \pm 0,0014 Aa
Drone	0,154 \pm 0,8281Ab	1,110 \pm 0,6675 Aa	-0,122 \pm 0,4639 Ab

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes para equipamento e minúsculas para declividades diferem estatisticamente (P<0,05)

Na Figura 11 pode-se analisar as curvas de níveis dos tratamentos e algumas diferenças para os pontos de checagem dos tratamentos. As curvas de níveis foram

Na tabela 3 observa-se que no momento da captação dos dados na área de declividade de 0 a 5 %, o RTK captou uma menor quantidade média de satélites, o que pode ter relação com o comportamento encontrado na Figura 12.

Tabela 3. Número de satélites captados no momento do registro do ponto pelo GPS RTK

Declividades	Quantidade de Satélites captados
0 a 5 %	12,83 b
5 a 10 %	16,86 a
10 a 15 %	16,5 a
CV (%)	7,37

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente ($P < 0,05$)

Na tabela 4 pode-se observar que não houve correlação entre o número de satélites e a precisão horizontal. Assim, horizontalmente o RTK apresenta eficiência com um número baixo de satélites rastreados no momento da observação. Desta forma, se a finalidade do trabalho não exigir precisão altimétrica o levantamento pode ser feito mais rápido e coletando-se menos observações por ponto. Contudo no que se refere ao efeito do número de satélites no erro vertical (Tabela 4), observa-se que houve correlação negativa ($P < 0,05$), descrita na Figura 12, evidenciando que levantamentos que exigem precisão altimétrica devem ser realizados de forma mais cautelosa, exigindo mais observações por ponto e a observação de que fatores do meio que impossibilitem a captação de mais satélites podem resultar em alto erro vertical.

Tabela 4. Análise de correlação de Pearson para as variáveis de Número de satélites captados e precisão horizontal e vertical do RTK

Precisão (m)	Comportamento	Valor P	EPM
Horizontal	-0.33672	0.1356	0.00340
Vertical	-0.55161	0.0095	0.00822

Pearson Correlation Coefficients, $N = 21$

Na Figura 12 mostram alguns pontos que excedem uma precisão de 0,03 m na altitude, devido a interferências tanto da vegetação como sinal de internet, que são as principais explicações para tais resultados, que não eram esperados. Mas se houver necessidade de maior precisão deve-se ajustar os padrões de tolerância na

coletora para não salvar pontos com erros acima de 0,03 m, trazendo assim mais confiança para o serviço.

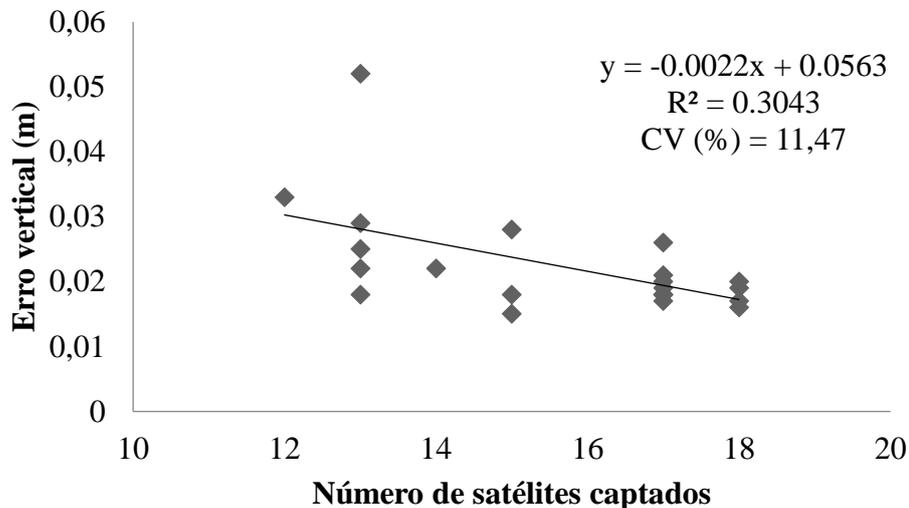


Figura 12. Correlação entre o número de satélites captados e o erro vertical das observações

Quadro 2 – Orçamento para aquisição dos equipamentos.

EQUIPAMENTO	VALOR
02 GPS RTK COM RADIO INTERNO, MAS CONVENCIONAIS.	R\$55.000,00
DRONE PHANTOM 4 PRO, COM 4 BATERIAS, CARREGADOR TRIPLO, CARREGADOR VEICULAR, MOCHILA E COMPUTADOR.	R\$20.000,00

No Quadro 2 observa-se o orçamento de um par de GPS RTK mais populares no país onde a faixa de preço fica em torno dos 55 mil reais, esse conjunto de equipamento precisa de 3 pessoas para fazerem o trabalho, ficando 01 pessoa para monitorar e garantir a segurança da “base” e duas pessoas no móvel para coletar os pontos e fazer alguma remoção de vegetação, procedimento conhecido como “picada”. Já o drone precisaria de apenas uma pessoa e um computador mais avançado para processar as imagens (máquina com processador Intel Core i7 (7ª geração) e 32,00 GB de memória RAM, placa de vídeo Nvidia 1080 de 11 Gb).

Em uma ordem crescente do investimento necessário para cada tecnologia, tem-se drone e GPS RTK, entretanto deve-se ressaltar que para um levantamento

com o drone especificado obter alta precisão são indispensáveis os pontos de apoio e, portanto, se faz necessário o uso do GPS RTK.

6. CONCLUSÕES

A utilização de drones multirrotores para levantamento de dados espaciais proporciona dados com erros aceitáveis quando comparados a dados obtidos por equipamentos de maior precisão como o GPS RTK.

A agricultura brasileira é cada vez mais automatizada, o que representa um grande avanço para o setor. Com a crescente demanda de alimentos e produtos oriundos do campo, torna-se necessário o acompanhamento e monitoramento das pequenas e grandes áreas, com o objetivo de mostrar resultados e produtos com mais qualidade para os clientes. O uso de drone/Vant no campo torna-se indispensável para a agricultura de precisão: no planejamento, implantação, monitoramento e na ajuda de tomada de decisões.

O uso de novas tecnologias é essencial para a evolução dos profissionais em várias áreas, por exemplo o uso de drone nos levantamentos topográficos mostraram resultados e exatidões satisfatórias, além da produção. E seu uso também no monitoramento de pragas e doenças no cultivo da uva, mostram que é de suma importância para a produção em médias e grandes fazendas. Com uma relação custo benefício extraordinária.

De modo geral o levantamento realizado com drone mostrou-se vantajoso em relação ao tempo de execução e investimento inicial, podendo ser utilizado em levantamentos que não demandem precisão milimétrica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, TOMÉ. Know.net enciclopédia temática. **Conceito de Aerofotogrametria.** 2019. Disponível em: <<https://know.net/ciencterravida/geografia/aerofotogrametria/>> . Acesso em: 06 de Dez. 2019.

FERREIRA, A. M. R. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos.** Dissertação de Mestrado. UnB, 2014.

DIAS, G. M. **Levantamento de limites do imóvel rural com uso de VANT, Eldorado do Sul – RS.** Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014. Disponível: Acesso: 10 de jan. 2019

GONÇALVES, A.; PINTO,H.; COSTA,J. **Utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados para a realização de Modelos Digitais de Terreno. Caso de Estudo do Alto Hama. VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia.** 2015. Disponível: Acesso: 20 de Jan. 2019

SILVA, C. A. **Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por VANT e sua aplicação no cálculo de volume de pilhas de rejeito da pedra cariri.** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível: < <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/20034>>. Acesso: 20 de Dez. 2018

SOUZA, G. **Análise da viabilidade do uso de VANT para o mapeamento topográfico e de cobertura e uso da terra. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2015. Disponível: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/134923>>. Acesso: 19 de Dez. 2018

TAVARES, MARIA WENIA QUENTAL. **VANT NA TOPOGRAFIA: EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia da Construção Civil) - UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA, JUAZEIRO DO NORTE – CE, 2017.

MATTOS, E.M. et al. **Uso de imagens aéreas obtidas por VANT para avaliação da cobertura do dossel e produtividade de plantio de eucalipto manejado por talhadia**. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** 2015. ISBN: 978-85-17-00088-1

GONÇALVES, F. S., ALFARO, R. A. A., WOYAKEWICZ, V. D., PEREIRA, P. J., BECKER, L. B., & RAFFO, G. V. VANT autônomo capaz de comunicar com uma rede de sensores sem fio. Congresso Brasileiro de Agroinformática, **Anais...** Ponta Grossa, v.10, 2015.

SILVA, M.L.N. et al. Uso de fotogrametria digital na elaboração de modelos tridimensionais com aplicação em Geoconservação e Educação. **Terra e Didática**, v. 15, p. e019031-e019031, 2019.

ROIG, Henrique Llacer et al. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. **Proceedings of the Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR, Foz do Iguaçu, Brazil**, p. 13-18, 2013.

RUIZ, Luis Fernando Chimelo. Uma abordagem de classificação da cobertura da terra em imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado. 2014.

SANTOS, Luiz Fernando Bohnenberger. Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras. 2016.