

A Machine Learning Technique for Spatial Interpolation of Solar Radiation Observations. ([s.d.]). Recuperado 22 de março de 2024, de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2020EA001527>

Mucomole, F. V., Silva, C. A. S., & Magaia, L. L. (2023). Temporal Variability of Solar Energy Availability in the Conditions of the Southern Region of Mozambique. *American Journal of Energy and Natural Resources*, 2(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.54536/ajenr.v2i1.1311>

Mucomole, F. V., Silva, C. S. A., & Magaia, L. L. (2024). Quantifying the Variability of Solar Energy Fluctuations at High-Frequencies through Short-Scale Measurements in the East-Channel of Mozambique Conditions. *American Journal of Energy and Natural Resources*, 3(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.54536/ajenr.v3i1.2569>

Puga-Gil, D., Astray, G., Barreiro, E., Gálvez, J. F., & Mejuto, J. C. (2022). Global Solar Irradiation Modelling and Prediction Using Machine Learning Models for Their Potential Use in Renewable Energy Applications. *Mathematics*, 10(24), Artigo 24. <https://doi.org/10.3390/math10244746>

Sridharan, M. (2023). Generalized Regression Neural Network Model Based Estimation of Global Solar Energy Using Meteorological Parameters. *Annals of Data Science*, 10(4), 1107–1125. <https://doi.org/10.1007/s40745-020-00319-4>



31 - 05 | 2025

O IMPACTO DOS VANTS NA EFICIÊNCIA DA GESTÃO DO CÁLCULO DE VOLUME DE ESCAVAÇÃO: UM ESTUDO NA VILADA MUXIMA, LUANDA

The impact of drones on the efficiency of excavation volume calculation management: a study in the village of muxima, luanda

El impacto de los drones en la eficacia de la gestión del cálculo del volumen de excavación: un estudio en el pueblo de muxima, luanda Américo Bernardo

**Marcos Martins João Samucombi⁸⁷ | José Tito Morais⁸⁸ |
Khokhy Sefo Maria Barros³**

¹ Licenciado, Faculdade de ciência e Naturais, msamuccombi@gmail.com.

² Mestre, Faculdade de ciência e Naturais, josetitomorais@hotmail.com.

³ Doutorando, Instituto Superior Politécnico de Ndalatando, sefobarros@gmail.com.

Autor para correspondência: miguelbungo1108@yahoo.com

Data de recepção: 17-01-2025

Data de aceitação: 02-03-2025

C
o
m
o

RESUMO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), conhecidos como drones, têm sido amplamente utilizados em diversas áreas, incluindo coleta de dados, monitoramento ambiental, mapeamento e vigilância. Em Angola, seu uso tem sido fundamental na gestão de custos, proporcionando um monitoramento detalhado e em tempo real, contribuindo para um orçamento mais eficiente. O objetivo deste estudo foi analisar o impacto dos VANTS na eficiência do cálculo de volume em projetos de terraplanagem, com foco na Vila da Muxima-Luanda. Para isso, adotou-se o método de pesquisa empírica e estudo de campo, dividido em duas partes: Aerofotogrametria e GNSS/RTK. A Aerofotogrametria seguiu um fluxo

específico, incluindo planejamento de voo, execução, pós-voo, avaliação, processamento, geração dos produtos, avaliação e aprovação. Já o levantamento tradicional com GNSS/RTK permitiu o levantamento de pontos cotados e a observação das coordenadas dos pontos de controle. Os resultados demonstraram uma redução significativa no tempo necessário para a coleta de dados em comparação com o método convencional, resultando em ganhos de eficiência no processo de aquisição e processamento de dados. Além disso, a precisão dos dados obtidos por meio de VANTS foi validada pela comparação com uma base cartográfica de referência, mostrando sua aptidão e precisão para uso em projetos de engenharia. No entanto, desafios como a qualificação da mão de obra

S
a
m
u
c
o
m
b
i

S
a
m

U normatização dos processos ainda precisam ser superados. Sugere-se que pesquisas futuras se concentrem nessas questões e explorem o potencial das tecnologias de sensoriamento remoto na otimização de processos de engenharia.

Palavras-chave: Gestão de VANTs. Terraplanagem. GNSS/RTK. Volume de terra.

M

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), known as drones, have been widely used in various areas, including data collection, environmental monitoring, mapping and surveillance. In Angola, their use has been fundamental in cost management, providing detailed, real-time monitoring and contributing to a more efficient budget. The aim of this study was to analyse the impact of UAVs on the efficiency of volume calculation in earthworks projects, with a focus on Vila da Muxima-Luanda. To this end, the empirical research and field study method was adopted, divided into two parts: Aerophotogrammetry and GNSS/RTK. Aerophotogrammetry followed a specific flow, including flight planning, execution, post-flight, evaluation, processing, product generation, assessment and approval. Traditional GNSS/RTK surveying, on the other hand, made it possible to survey plotted points and observe the coordinates of control points. The results showed a significant reduction in the time required for data collection compared to the conventional method, resulting in efficiency gains in the data acquisition and processing process. In addition, the accuracy of the data obtained using UAVs was validated by comparison with a reference cartographic base, demonstrating its suitability and accuracy for use in engineering projects. However, challenges such as labour qualification and standardisation of processes still need to be overcome. It is suggested that future research focus on these issues and explore the potential of remote sensing technologies in optimising engineering processes.

Keywords: VANTs management. Earthworks. GNSS/RTK. Land volume.

RESUMEN

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), conocidos como drones, se han utilizado ampliamente en diversas áreas, como la recopilación de datos, el control medioambiental, la cartografía y la vigilancia. En Angola, su uso ha sido fundamental en la gestión de costes, proporcionando un seguimiento detallado en tiempo real y contribuyendo a un presupuesto más eficiente. El objetivo de este estudio fue analizar el impacto de los UAV en la eficiencia del cálculo de volúmenes en los proyectos de movimiento de tierras, centrándose en Vila da Muxima-Luanda. Para ello, se adoptó el método de investigación empírica y estudio de campo, dividido en dos partes: Aerofotogrametría y GNSS/RTK. La aerofotogrametría siguió un flujo específico, que incluía la planificación del vuelo, la ejecución, el posvuelo, la evaluación, el procesamiento, la generación de productos, la evaluación y la aprobación. La topografía tradicional GNSS/RTK, por su parte, permitía levantar puntos trazados y observar las coordenadas de los puntos de control. Los resultados mostraron una reducción significativa del tiempo necesario para la recopilación de datos en comparación con el método convencional, lo que se tradujo en un aumento de la eficiencia en el proceso de adquisición y procesamiento de datos. Además, la precisión de los datos obtenidos mediante UAV se validó por comparación con una base cartográfica de referencia, lo que demostró su idoneidad y precisión para su uso en proyectos de ingeniería. Sin embargo, aún deben superarse retos como la cualificación de la mano de obra y la estandarización de los procesos. Se sugiere que las investigaciones futuras se centren en estas cuestiones y exploren el potencial de las tecnologías de teledetección para optimizar los procesos de ingeniería.

Palabras clave: Gestión de VANTs. Movimiento de tierras. GNSS/RTK. Volumen del terreno.

1 INTRODUÇÃO

Onde nasce a ciência

g

836

t

ã

o



A terraplanagem é uma técnica de movimentação de solo que visa a compatibilizar e concretizar a altimetria projectada (plano de projecto) no terreno. São trabalhos baseados em princípios técnicos de engenharia para compensar, nivelar, quantificar o volume aos padrões técnicos permissíveis no projecto executivo. A terraplanagem é uma etapa crucial em projectos de construção e infraestrutura, a eficiência e precisão nestes projectos é de suma importância.

A topografia como ciência encarregue de reproduzir graficamente uma pequena porção do terreno, é amplamente aplicado em projectos de engenharia, em todos seus aspectos por apresentar diversos métodos e instrumentos que dão solução a diversos projectos de engenharia civil e mineração.

As transformações tecnológicas têm acompanhado a dinâmica da sociedade de tal maneira que as geociências têm se destacado no uso da tecnologia de VANTs e Sistemas GNSS/RTK no seu dia a dia. A utilização destas tecnologias representa um avanço significativo no processo de medição e cálculos de volumes, oferecendo maior precisão e eficiência em comparação com os métodos tradicionais. Aerofotogrametria é método indirecto em que não é

necessário tocar no objecto de estudo, permitindo a confecção de mapas e modelos digitais, além de ser uma técnica que não necessita de um longo período de tempo para ser realizada, apresenta facilidade de se obter dados de alta resolução espacial e temporal, alta precisão a um baixo custo quando comparado a outros métodos. Uma das funções primordiais da Aerofotogrametria em terraplanagem é o cálculo do volume real (Martildes, 2021).

Ao considerarmos os benefícios que a Topografia oferece engenharia civil, e em vista a futura obra de requalificação da Vila da Muxima que pela característica topográfica da zona, requererá trabalhos de cortes e aterros (movimentação de solos), compeliu a necessidade da presente pesquisa, de modos a considerar o impacto do uso de VANTs na obtenção de informações do terreno para estimativa volumétrica, tendo o comparativo a técnica de levantamento topográfico convencional com RTK.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), ou drones, têm desempenhado um papel cada vez mais importante na

S
a
m

terraplanagem. Essas aeronaves controladas remotamente são utilizadas para coleta de dados topográficos de forma rápida, precisa e eficiente. Por meio de sensores embarcados, os drones são capazes de realizar levantamentos detalhados do terreno, fornecendo informações essenciais para o planejamento e execução de projetos de terraplanagem.

Na prática, os VANTs são utilizados para mapear áreas, identificar obstáculos, calcular volumes de terra a serem movimentados e monitorar o progresso das obras. Essa tecnologia permite aos engenheiros e projetistas obterem uma visão detalhada do terreno, possibilitando a tomada de decisões mais assertivas e a otimização dos recursos envolvidos na terraplanagem.

Além disso, o uso de VANTs na terraplanagem contribui para a redução de custos e o aumento da segurança no trabalho. Ao evitar a necessidade de equipes realizando levantamentos em campo, os drones minimizam os riscos de acidentes e agilizam o processo de coleta de dados. Assim, os VANTs têm se mostrado uma ferramenta valiosa e eficaz para a execução de projetos de terraplanagem.

2.1. Topografia

g

38

t

ã

o

A necessidade de representar a superfície terrestre com os seus detalhes geográficos foi sempre um motivo de descobertas de técnicas e métodos ao longo dos séculos. Seguindo a etimologia da palavra TOPOS, em grego, significa lugar e GRAPHEN descrição, então de forma simples, a Topografia é a descrição do lugar. A topografia vem como uma ciência que serve para a descrição minuciosa e exacta de um lugar a partir do levantamento topográfico, com finalidade de determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em consideração a curvatura da superfície da terra, pode se dizer que trata da representação de uma projecção ortogonal (considera a terra como um plano) da superfície terrestre (SILVA, 2017).

De acordo com a NBR 1333 (ABNT, 1994), define o levantamento topográfico como:

“conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exactidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando as suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando a sua exacta representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados” (ABNT, 1994).

Onde nasce a ciência



2.2. Sistema GNSS

A determinação da posição dos objectos é feita por meio de técnicas da geodesia ou topografia onde ambas adotam os mesmos instrumentos de trabalho. Com o auxílio do sistema GPS, permite a determinação precisa das coordenadas geodésicas, garantindo a exactidão e a confiabilidade dos dados utilizados nos mais diversos projectos de engenharia. Compreender e utilizar adequadamente a Geodesia e o posicionamento geodésico com GPS são essenciais para profissionais da Engenharia e do cadastro de lotes, visando alcançar resultados de qualidade, segurança e eficiência em suas actividades (JUNIOR, 2023).

2.3. VANT

Entende-se que VANTs são veículos aéreos que não carregam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar automaticamente ou ser pilotados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas, isto para o uso civil ou militar (Branco, 2016).

Os VANTs com as diversas aplicações, são apenas capazes de executar trabalhos de mapeamento de alta complexidade, em muitos casos para obtenção de

Modelos Digitais de Terreno precisos, para cálculos de volume de terraplanagem e projectos geométricos, principalmente pelos custos mais favoráveis relacionados a equipamentos e pessoal, sempre obedecendo os parâmetros de operação afim de obter resultados satisfatórios (VASCONCELOS, 2019).

2.3.1. Fotogrametria

Define-se a Fotogrametria como a ciência aplicada para obter dados métricos e realizar estudos a partir de fotografias. Assim como em ambiente, engenharia ou cartografia é amplamente utilizada, dados extraídos de fotografias aéreas são mapeamentos em grandes escalas (EXTERCKOETTER, 2019).

A aerofotogrametria, é também conhecida como fotogrametria aérea, pois é uma ramificação da fotogrametria em que os registros fotográficos de um espaço-imagem ou espaço-objeto são realizados por uma câmara de alta precisão instalada em um veículo não tripulado (Lima, 2020 citado por MARTILDES, 2021).

Sempre que o pensamento for “precisão” no levantamento aéreo, não se pode deixar de parte os pontos de controle ou então GCP (ground control points). Os GCPs são utilizados basicamente com a

S
a
m
Finalidade de estabelecer a relação entre
o sistema de coordenadas da imagem e
o sistema de coordenadas do terreno.
(EXTERCKOETTER, 2019).

M

2.3.2. Padrão de Exactidão Cartográfica

Com a evolução tecnológica e as demandas dos usuários indicaram a necessidade de serem estabelecidos novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos, isto actualizado o Decreto n.º 89.817 de 1984, como referência o Padrão de Exactidão Cartográfico (PEC). O decreto de Lei n.º 89.817 de 20 de junho de 1984 estabelece que 90% dos pontos

definidos, quando testados no terreno, não podem ultrapassar erro superior ao Padrão de Exactidão Cartográfica Estabelecida (PEC) pelo órgão competente. O mesmo decreto recomenda que o indicador estatístico de dispersão relativo a 90% de probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o valor do erro padrão (EP) encontrado, assim sendo o $PEC = 1,6449 * EP$ (VASCONCELOS, 2019).

Tabela 5 - Padrão de Exactidão Cartográfica (Planimetria)

| PEC-PCD | Escala do produto cartográfico | | | | | |
|---------|--------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 1:1 000 | | 1:2 000 | | 1:5 000 | |
| | PEC(m) | EP(m) | PEC(m) | EP(m) | PEC(m) | EP(m) |
| A | 0,28 | 0,17 | 0,56 | 0,34 | 1,40 | 0,85 |
| B | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,60 | 2,50 | 1,50 |
| C | 0,80 | 0,50 | 1,60 | 1,00 | 4,00 | 2,50 |
| D | 1,00 | 0,60 | 2,00 | 1,20 | 5,00 | 3,00 |

Fonte: DSG (2016)

Tabela 6 - Padrão de Exactidão Cartográfica (Altimetria)

| PEC-PCD | Escala do produto cartográfico | | | | | |
|---------|--------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 1:1 000 | | 1:2 000 | | 1:5 000 | |
| | 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: DSG (2016)

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudo

g

40 *Onde nasce a ciência*

t
ã
o

A Vila da Muxima fica localizada na província de Luanda, município da Quiçama, dista a cento e vinte quilómetros a nordeste da Cidade de Luanda, capital de Angola. A peregrinação à Nossa Senhora da Imaculada Conceição “Mamã Muxima”

em Angola é a marca de referência social, religiosa e turística desta localidade por isso o nome Vila da Muxima. Foi adoptado uma extensão de aproximadamente 16 hectares.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



3.1. Material

São descritos neste tópico os materiais ou ferramentas utilizadas para aquisição e tratamento de dados (gabinete e campo). Para recolha e tratamento de dados, utilizou-se os seguintes materiais:

Equipamentos

- Receptor GNSS geodésico da marca Tersus modelo Óscar;
- Drone *DJI Phantom 4 Pro*®;
- *Smartfone* Redmi Note 11;

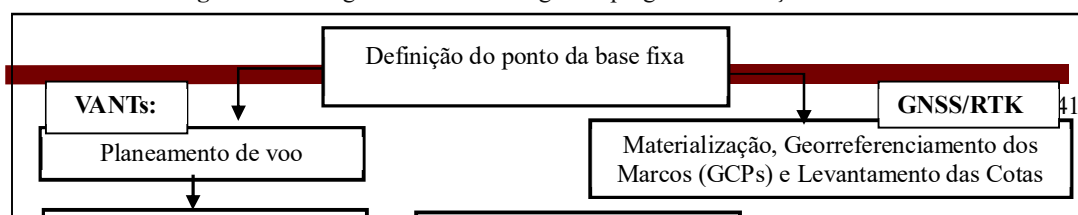
Softwares

- Drone Deploy (planejamento de missão);
- Pix4dmapper pro (processamento das fotos);
- CloudCompare (Classificação da nuvem de pontos);
- QGIS
- Autodesk AutocadCivil3D

3.2. Metodologia

Os dados obtidos através dos VANTs são processados e analisados para calcular o volume da área em questão. Afim de apresentar uma sequência lógica e temporal das etapas do projecto, o autor propõe um modelo conceptual a seguir.

Figure 2 - Fluxograma da Metodologia Empregada na Geração de MDT



3.2.1. Definição da Base Fixa, Materialização e Georreferenciamento dos Marcos (GCPs)

O Sistema de Coordenadas adoptado foi o WGS84, fuso 33S, hemisfério Sul, meridiano 15°. Esta etapa é acompanhada da etapa do levantamento geral das coordenadas do terreno. Para o auxílio do georreferenciamento e correcção do modelo digital gerado, foram materializados 11 pontos de controle, sendo 7 que serão usados no processamento das imagens e os 4 pontos são de checagem, não são utilizados no georreferenciamento, mas sim para verificar a qualidade dos modelos gerados. Na tabela 4, estão representados os pontos de controle utilizados no processamento das imagens e os respectivos pontos de checagem.

2
0
2
5
)

3.2.2. Execução do Voo (aquisição de imagens)

Esta etapa inicia com a checagem dos equipamentos em campo, na hipótese de

42

t
ã
o

detecção de algum problema ou anomalia que possa perigar o trabalho, por medida de segurança, a operação é cancelada. Após feita a verificação, faz-se a decolagem automática e ao atingir a altura de voo estabelecida no planeamento, a aeronave vai ao ponto inicial e começa a tomada automática das fotográficas. Para este projecto, obedecendo a janela de voo favorável com menor quantidade de sobras, executou-se o levantamento no período matinal no intervalo das 09 às 10h.

3.2.3. Pós-Voo (Avaliação da Qualidade das fotografias)

Finalizada a etapa anterior é feita a avaliação dos dados obtidos (fotografias), a fim de verificar a qualidade das imagens enquanto se está no campo, isto é, nitidez, distorções, vazios, luminosidade, falha captura.

3.2.4. Processamento das Imagens e Geração dos Modelos do Terreno

Após a conclusão das três etapas anteriormente descritas (planeamento, execução e avaliação), segue-se o processamento das fotografias aéreas no software de processamento de imagens Pix4dMapper pro V.4.2.27 e outros auxiliares para a classificação e visualização. A partir das coordenadas do centro de cada fotografia o programa faz o alinhamento das fotos gerando um mosaico e a posterior a nuvem de pontos

que dela advêm outros produtos tais como a Nuvem densa, MDS e Ortomosaico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produtos Gerados

A tabela a seguir representa os parâmetros utilizados no mapeamento aerofotogramétrico.

Tabela 7 - Parâmetros de Voo utilizados

| PARÂMETROS DE VOO | |
|-------------------------------------|---------------|
| Altura de voo em relação ao solo | 120m |
| GSD | 3.6cm/pixel |
| Nº de linhas de voo | 11 |
| Área sobrevoada (ha) | 16 hectares |
| Intervalo de tomada das fotografias | 2s |
| Nº de fotografias | 218 |
| Recobrimento frontal e lateral | 80% e 70% |
| Tempo de Voo | 14:04 minutos |

Dos resultados obtidos, todos estiveram intrinsecamente ligados aos pontos de

controle no solo, a tabela 4 apresenta as coordenadas dos GCPs.

Tabela 8 - Coordenadas dos Pontos de Controle (GCPs)

| ID | ESTE | NORTE | ALT. |
|------|------------|-------------|--------|
| PF1 | 385623.910 | 8947623.380 | 25.780 |
| PF2 | 385581.862 | 8947689.980 | 25.870 |
| PF3 | 385494.946 | 8947697.820 | 26.390 |
| PF4 | 385486.430 | 8947611.944 | 32.130 |
| PF5 | 385727.494 | 8947332.274 | 31.550 |
| PF6 | 385668.809 | 8947236.840 | 36.310 |
| PF7 | 385551.025 | 8947273.716 | 45.830 |
| AUX1 | 385468.780 | 8947655.915 | 29.640 |
| AUX2 | 385489.200 | 8947643.058 | 30.490 |
| AUX3 | 385623.670 | 8947569.226 | 28.220 |
| AUX4 | 385634.500 | 8947645.408 | 25.440 |

4.1.1. Nuvens de Pontos

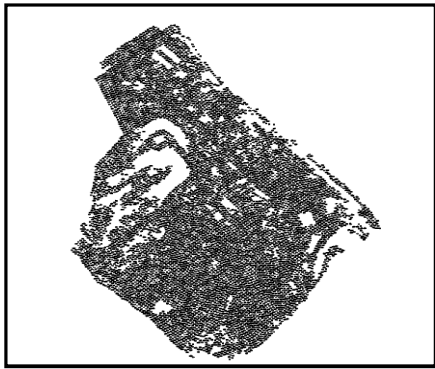
Em comparação as nuvens de pontos obtidos pelo método tradicional

S
a
m
c
m
i
M
M
o
a
S
de
do
No
o
o
K
g
e
S
t
ã
o

GNSS/RTK, na figura 3a (a esquerda) é possível ver um maior espaçamento entre os pontos e consequentemente baixo nível de triangulação e de pontos homólogos. Quando há insuficiência na densidade da nuvem corre-se o risco de obter um modelo menos consistente em termos de representação do terreno e um volume não muito aproximado ao real. Essa insuficiência ocorre por conta do factor humano que percorre o terreno com perfis equidistantes em 5m ou 10m, o facto que com o VANT (a direita) o distanciamento é muito estreito na casa de centímetros. Pelo que observamos na figura 3b (a direita), maior densidade, suficientemente alta que permite melhor representação do modelo da topografia do terreno.

No contexto desta pesquisa a densidade das nuvens de pontos é crucial na garantia da precisão e a resolução dos modelos digitais do terreno ou superfície em estudo, que em contrapartida servirão para a determinação da volumetria.

Figure 3 - Nuvem de pontos gerado pela técnica GNSS/RTK e VANT



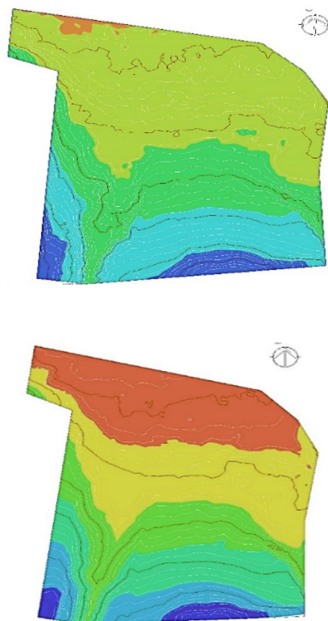
Em comparação dos dois modelos foi possível notar que a nuvem de pontos gerada a partir do método proposto apresenta melhor consistência e tem representado na nuvem as zonas de difícil acesso para o pessoal técnico. No pós-processamento, foi necessário reduzir a densidade(malha) da nuvem em espaçamentos de 2m x 2m de modos a facilitar a manipulação nos softwares de projectos e GIS.

4.1.2. Modelo Digital do Terreno

A nuvem de pontos gerada a partir do levantamento aerofotogramétrico e com GPS geodésico, depois de classificada gerou-se os MDT's que serviram para gerar as superfícies do terreno a fim de visualizar a variação do relevo do terreno representada por prancha de cores designado de hipsometria (Figura 4). A variação em termos de desnível da área de estudo é de aproximadamente 30

metros em relação a altitude máxima e a mínima. As cores abaixo representadas no MDT tem as seguintes variações: Vermelho – 20 a 32 m; Verde 32 a 43 m; azul 43 a 58 m. Este comportamento do relevo se assemelha aos dois modelos. Para uma outra avaliação sucinta do terreno, fez-se um traçado do perfil longitudinal, observou-se que a variação do relevo é semelhante, pois se trata da mesma área de estudo e com a precisão do GNSS.

Figura 4 - Mapa hipsométrico da variação das altitudes VANT e GNSTT/RTK



4.1.3. Ortomosaico

Como resultado final do processamento da nuvem de pontos, foi possível obter o Ortofoto com uma área de cobertura total

de 23.3207 hectares e um GSD de 3.26 cm/pixel e depois recortada apenas a área de interesse. Com o Ortofoto foi possível avaliar de maneira precisa as zonas com vegetação e habitações, estes elementos são cruciais para análise da qualidade dos modelos 3D do terreno gerados a partir destes dados da altimetria. Diferente do levantamento convencional, em não é possível ter uma visão precisa das feições geográficas (casas, vales, estradas, árvores). Vemos aqui a grande vantagem do uso dos VANTs.

4.2. Cálculo das Discrepâncias dos Modelos

As informações que são obtidas no terreno precisam de uma avaliação para que se ateste a sua qualidade e veracidade. O facto do drone ter feito as fotografias e depois feito o pós-processamento, isso não garante que estes dados estão apto para o seu uso, há que se fazer uma avaliação com as normas existentes de modos a aferir a precisão e qualidade dos mesmos. Deste modo, como foram utilizados pontos de controle (PF) a fim de georreferenciar os produtos gerados pelo Aerolevanteamento, precisamos verificar os seus desvios.

4.2.1. Discrepâncias Planialtimétricas

S
a
m
u
c
A
m
O
i
M
M
M
J
J
;

A partir das coordenadas dos GCPs e do Ortofoto com as mesmas posições, foram calculadas as discrepâncias de formas a comparar os resultados. A tabela 5 apresenta o relatório de cálculo para coordenadas planimétricas. Como pode se observar na Tabela 5, nos 11 pontos (7 GCP e 4 PT Verificação) levantados com

GNSS/RTK, permitiu fazer uma avaliação das discrepâncias na planimetria (ΔEN) e altimetrias (ΔH) onde é possível observar erro médio ($\hat{\sigma}_{\Delta EN}$) de 7.21 cm, o desvio padrão ($S_{\Delta EN}$) de 6.89 cm e o erro padrão (EP) de 2,10 cm, na planimetria e 8,40 cm de erro padrão (EP) na altimetria.

Tabela 9 - Relatório de Cálculo da discrepância com GCPs

| ID | Variações (cm) | | | Discrepâncias (cm) | | | | |
|---------------|----------------|------------|------------|--------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|
| | ΔE | ΔN | ΔH | ΔEN | $\hat{\sigma}_{\Delta EN}$ | $S_{\Delta EN}$ | $\hat{\sigma}_{\Delta H}$ | $S_{\Delta H}$ |
| PF1 | -0,9 | 5 | 8,1 | 5,08 | 7,21 | 6,88 | -15,47 | 27,85 |
| PF2 | 1,46 | 0,9 | 2,4 | 1,71 | | | | |
| PF3 | -3,98 | 1,3 | 4,86 | 4,19 | | | | |
| PF4 | -10,75 | -3,7 | 0,85 | 11,37 | | | | |
| PF5 | -2,7 | 7,3 | 10,15 | 7,78 | | | | |
| PF6 | -2,63 | 0,2 | 6,67 | 2,64 | | | | |
| PF7 | -7,6 | 1,5 | -5,1 | 7,75 | | | | |
| AUX1 | 3,01 | 0,9 | -51,67 | 3,14 | | | | |
| AUX2 | 7,67 | 24,3 | -61,8 | 25,48 | | | | |
| AUX3 | -0,16 | -1,1 | -47,35 | 1,11 | | | | |
| AUX4 | -4,14 | -8 | -37,27 | 9,01 | | | | |
| E. P = | | | | | 2,10 cm | | | 8,40cm |

S
Pelos resultados obtidos, de acordo a Norma PEC-PCD, pode se dizer que os dados têm um nível de precisão aceitáveis, em termos de planimetria o EP = 0,02 m \approx menor que EP=0,17m tabelado para Classe A, ficando para escalas de 1:250 a 1:1000. Para exactidão altimétrica dos Pontos cotados

e dos MDT, MDS ou MDE, o EP=0,08m comparando com EP da tabela 1 e 2, fica então enquadrado na Classe A, na escala 1:1000.

4.2.2. Cálculo Volumétrico

46 *Onde nasce a ciência*

A partir da nuvem de pontos geradas do aerolevante (VANT) ou GNSS/RTK, foram geradas superfícies (MDT) e foi definido um plano topográfico (de terraplanagem) uniforme para ambos os casos a fim de se obter as diferenças volumétricas. Adotou-se então a altitude 38 metros como cota projecto, isto é, 12 metros acima da cota mínima, e definiu-se o plano topográfico de corte ou também conhecido como plano de projecto. Com auxílio do software da Autodesk AutocadCivil3D 2018 fez-se o cálculo do volume considerando os dados adoptados no projecto conforme mencionado acima. A diferença na densidade da nuvem de pontos entre os métodos é considerável, é claramente visível que o levantamento

com drone oferece uma representação mais homogénea que, implica melhor detalhamento da superfície e consequentemente melhor resultado de volume que se aproxima a realidade. A tabela 6 é a representação das diferenças entre os dois métodos topográficos de aquisição de dados para a volumetria. Os resultados do volume de aterro, escavação e o volume total é perceptível que o VANT teve maior consistência no seu modelo deste modo elevando maior volume em relação do método tradicional, porém estes resultados dependeram muito da densidade da nuvem de pontos entre os dois modelos onde o VANT sai em vantagem por ter acesso em zonas do terreno que no método tradicional parecia inacessível.

Tabela 10 - Estatísticas dos Volumes com base aos MDT's

| Descrição | GNSS/RTK | VANT | $\Delta V/GPS$ |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Volume aterro (m ³) | 20 2582.043 | 198 793.951 | -3 788.092 |
| Volume escavação (m ³) | 235 768.888 | 238 670.868 | -2 901.98 |
| Volume total (m ³) | 33 186.845 | 39 876.917 | -6 690.072 |
| Densidade da Nuvem de pontos (un) | 3 890 | 9 539 | -5 649 |
| Triangulação TIN (un) | 4 056 | 8 845 | -4 789 |



Um outro aspecto que precisa ser evidenciado é a malha triangular que tem uma influência na consistência do modelo, maioríssima distância entre os lados gera deficiência no modelo, podendo exagerar na planimetria ou criar cotas muito negativas(buracos), mas quando os lados dos triângulos são curtos a interpolação é feita com melhor consistência e em contrapartida melhor representação da superfície topográfica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das diversas metodologias utilizadas actualmente em obras de engenharia para determinação de volumetria em depósitos ou na terraplanagem, apresentam orçamentos caros, equipamentos caros e muitas as vezes requerem recursos humanos altamente qualificado para o manuseio do equipamento, tratamento e interpretação de dados. Em muitos casos o volume determinado dos estoques nem se aproxima a realidade, gerando perdas para a direcção de obras.

O presente estudo não tinha intensão explicita de comparar a metodologia proposta e a tradicional em termos de precisão de posição ou altimetria, para que se fizesse esse comparativo os dois métodos deveriam ser independentes e

estudar outros aspectos que contribuem na precisão dos equipamentos. Pelo contrário, este estudo teve como necessidade de apresentar um a caminho mais acessível, dinâmico e benéfico quando se trata de obtenção de dados topográficos em relação ao custo e benefícios. Mas não poderíamos considerar como válidos os dados obtidos pela metodologia proposta sem antes avaliar a qualidade das informações.

Visto que este trabalho possibilitou apresentar o impacto do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) na eficiência do cálculo de volume de escavação em projecto de terraplanagem, com foco na Vila da Muxima. Após feita a análise dos dados aquisição dos e os resultados obtidos permitiram algumas conclusões importantes:

Em primeiro lugar, os resultados obtidos demonstram que o uso de VANTs proporcionou uma significativa redução no tempo necessário para aquisição de dados em comparação com o método convencional (GNSS/RTK). Facto que resultou em ganhos substanciais de eficiência no processo da aquisição dos dados, permitindo a conclusão mais rápida e precisa do levantamento e consequentemente processamento dos dados e geração dos produtos. O

S
a
m

Levantamento da área total com VANT foi de apenas 2 horas considerando a distribuição dos Pontos de controle e a respectiva observação. Ao passo que pelo método tradicional foram necessários 3 dias sem contar que foi apenas levantado os pontos cotas, não foi necessário levantamento de detalhes tais como ruas, lancis, edificações, arvores, etc.

Segundo lugar, a precisão dos dados obtidos por meio de VANT foi validada pela comparação com uma base cartográfica de referência, e pela insuficiência de normas técnicas no nosso país, para avaliação da precisão dos modelos digitais, foi adotada a Norma PEC-PCD do Ministério da Defesa Brasileira, o que possibilitou aferir a qualidade dos dados obtidos como aptos e precisos para o uso. Para que os dados obtidos estejam georeferenciados foi necessário o uso de Pontos de controle (PF). A integração dessas tecnologias inovadoras pode não apenas melhorar a eficiência e precisão dos projectos, mas também reduzir custos e tempo de execução, beneficiando tanto os profissionais do sector assim como a comunidade em geral.

Em última análise, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre o

uso de VANTs na engenharia e destacar o papel significativo na transformação e aprimoramento das práticas de aquisição de informações topográficas para planejamento de obras ou projectos. Pode se dizer que, a tecnologia VANT ganha vantagem em termos de qualidade na representação da superfície, nuvem de pontos bastante densa, malha triangular maior que permite melhor detalhar a área de estudo, imagem ortorretificação, autonomia, segurança e economia. Mesmo depois de saber das vantagens oferecidas pela plataforma de aerolevantamento com VANT, é importante não descurar a utilização de pontos de controle para atingir a precisão requerida e melhor acurácia e qualidade do produto final desejado.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 13133:** Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

BRANCO, L.H.C. **Maniac:** uma metodologia para o monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTs. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.

EXTERCKOETTER, A.T. Análise da volumetria obtida por dados GNSS/RTK e Drone. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense.

JUNIOR, E.I.F. **Importância da Geodesia na Engenharia Civil e no Cadastro de Lotes Urbanos e Rurais: Uma Visão sobre o Posicionamento Geodésico com GPS.** Revista Ibero – Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE, v.9, n.6, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i6.10099.

MACHADO, T.B.C. **A utilização de Unmanned Aerial Systems (UAS) para a aplicação de Fotogrametria Digital e produção de Cartografia para homologação.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Lisboa.

MARTILDES, J.A.L. **Variação Volumétrica de Aterro Sanitário Por Meio de Levantamento Topográfico Convencional e Técnicas de Aerofotogrametria.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vectoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV DEFESA F Ter),** 2016.

VASCONCELOS, S.L.D. **Aplicação do Levantamento Aéreo com VANT em Mina de Pequeno Porte.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia de Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral.

S
a
m
u
c
o
m
b
i
,
M
.
M
.
J
.
;
M
o
r
a
i
s
,
J
.
T
.
;
B
a
r
r
o
s
,
K
.
S
.
(
2
0
2
5
)
.

d

Onde nasce a ciência

s
t
ã