



AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONE NO ATERRO SANITÁRIO DE AVARÉ - SP: MONITORAMENTO PRECISO E EFICIENTE PARA GESTÃO AMBIENTAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.XI-001>

Thiago Augusto de Paula Pepe (*), Diogo Rodrigues Junior

* Abaré-y Drone – Geotecnologia e Meio Ambiente – thiago.pepe@abareydrone.com.br

RESUMO

Aerofotogrametria é um método de obtenção de dados topográficos através de fotografias aéreas. Utilizando-se de aeronaves tripuladas ou drones, a aerofotogrametria captura imagens da superfície terrestre. Essas imagens, posteriormente processadas por softwares especializados, permitem a criação de diversos produtos cartográficos, tais como Nuvem Densa de Pontos, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Terreno, Ortomosaico de alta resolução e curvas de nível. Uma das grandes vantagens da aerofotogrametria por drone é a sua agilidade e baixo custo de operação, especialmente quando comparada a métodos tradicionais de topografia terrestre. Além disso, os drones permitem o acesso a áreas de difícil acesso, como florestas densas ou terrenos acidentados. O presente estudo avaliou a viabilidade dos produtos gerados através da aerofotogrametria por drone como ferramenta para a gestão ambiental de aterros sanitários. O estudo de caso foi realizado no aterro sanitário municipal de Avaré, São Paulo, em setembro de 2023. Ao todo foram coletadas 554 imagens com altitude de voo de 120 metros. Foi utilizada a câmera do drone DJI AIR 2S, Modelo Test Pro, com distância focal fixa de 8.38 mm, resultando em um GSD (Ground Sample Distance) de 3.27cm. A base de dados produzida através da aerofotogrametria por drone servirá para uma gestão ambiental eficaz do equipamento de disposição final de rejeitos. O monitoramento ambiental da operação do aterro sanitário, a identificação de drenos de chorume e biogás, a determinação das cotas dos taludes, a localização das lagoas de chorume, o depósito de galhadas e a avaliação do avanço da operação, são algumas das atividades que podem ser obtidas através observação do ortomosaico georreferenciado produzido.

PALAVRAS-CHAVE: Aerofotogrametria, Drone, Aterro Sanitário, Topografia, Avaré

ABSTRACT

Aerial photogrammetry is a method for obtaining topographic data through aerial photographs. Using manned aircraft or drones, photogrammetry captures images of the Earth's surface. These images, subsequently processed by specialized software, allow the creation of various cartographic products, such as Dense Point Cloud, Digital Surface Model, Digital Terrain Model, high-resolution Orthophotomap, and contour lines. One of the great advantages of UAV-based photogrammetry is its agility and low operating cost, especially when compared to traditional ground-based surveying methods. Furthermore, UAVs enable access to difficult-to-access areas, such as dense forests or rugged terrain. This study evaluated the feasibility of products generated by UAV-based photogrammetry as a tool for environmental management of landfills. The case study was carried out at the Avaré Municipal Landfill, São Paulo, Brazil, in September 2023. A total of 554 images were collected with a flight altitude of 120 meters. The DJI AIR 2S drone camera, Model Test Pro, with a fixed focal length of 8.38 mm was used, resulting in a Ground Sample Distance (GSD) of 3.27 cm. The database produced by UAV-based photogrammetry will serve for effective environmental management of the final waste disposal facility. Environmental monitoring of landfill operation, identification of leachate and biogas drains, determination of slope elevations, location of leachate lagoons, brushwood disposal, and evaluation of operation progress are some of the activities that can be obtained through observation of the produced georeferenced orthomosaic.

KEY WORDS: Aerial photogrammetry, Drone, Landfill, Topography, Avaré

INTRODUÇÃO

As chamadas geotecnologias são tecnologias desenvolvidas com objetivo, função de coletar e processar dados de posicionamento geográfico, possibilitando análises de alta complexidade através da integração de diferentes e inúmeras informações em um único banco de dados geográfico.



De acordo com Rosa (2005), as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software e peopeware que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões.

As geotecnologias possuem uma ampla gama de ferramentas e aplicações, dentre as ferramentas pode-se destacar a aerofotogrametria, que se ocupa em analisar e obter dados quantitativos a partir de fotografias aéreas, tais como coordenadas geográficas, áreas, distâncias e volumes, tudo isso a partir de aeronaves tripuladas ou não tripuladas.

Segundo Melo (2020), a aerofotogrametria sumariamente pode ser descrita como um procedimento de representação métrica, tridimensional e em escala da superfície terrestre obtida por meio de fotografias aéreas ortogonais. É uma técnica antiga que historicamente era restrita a usos militares, ganhando destaque na época das grandes guerras, quando eram utilizados aviões e/ou helicópteros para tomada das imagens aéreas.

Através das evoluções tecnológicas e científicas recentes permitiu-se a integração da inteligência artificial ao aeromodelismo, dando origem aos VANTs ou drones. O avanço da integração tecnológica entre as áreas do conhecimento que envolvem a mecânica, aeronáutica, eletrônica, computação, inteligência artificial e robótica, em conjunto com a difusão de uso dos sistemas de informação automatizados, deram origem aos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones (Greenwood e cols., 2019).

Estas aeronaves não tripuladas são operadas de maneira remota e incorporam sistemas de posicionamento geográfico, acelerômetro, controle de estabilidade, sensores anticollisão, dentre outros. Esses equipamentos tecnológicos podem ainda ser munidos de sensores fotográficos de alta resolução, sensores multiespectrais, bem como laser scanners, prestando-se assim como uma excelente plataforma de aquisição de dados da superfície terrestre, com possibilidade de aplicações em várias áreas, tais como engenharia, mineração, agricultura de precisão, planejamento urbano, monitoramento ambiental, entre outros.

Através mapeamento aéreo com a utilização da aerofotogrametria é possível construir ortomosaicos (ou ortofotos) – mapas escalonáveis em visão ortogonal, e Modelos Digitais de Terreno (MDTs) – representação tridimensional, em escala, da elevação da superfície terrestre, sendo ambos georreferenciados por sistemas de coordenadas espaciais (Tomaselli, 2009).

Segundo Rodrigues e Gallardo (2018), a grande vantagem da aerofotogrametria quando comparada aos métodos convencionais de topografia são: a grande densidade de pontos georreferenciados, nuvem de pontos tridimensionais, geração de Modelo Digital de Superfície - MDS, Modelo Digital do Terreno - MDT, ortomosaico de alta resolução, além do diferencial de apresentação do produto final, já que o resultante de um levantamento topográfico tradicional é um desenho vetorial contendo apenas pontos, linhas e polígonos enquanto o produto final gerado através da aerofotogrametria é uma imagem de alta resolução e nuvem de pontos tridimensional com dados geoespaciais em X, Y e Z.

Uma das principais demandas para esse tipo de mapeamento são atividades de monitoramento, como por exemplo, detecção de novas construções, mudanças em áreas florestais e urbanas, acompanhamento volumétrico de pilhas de minério e aterros sanitários.

Aterro sanitário é um método de engenharia para disposição de resíduos sólidos de forma ambientalmente correta e operacionalmente eficiente, buscando melhor aproveitamento de espaço disponível aliado à mitigação de impactos ambientais e sociais (Melo & Simões, 2019).



Uma vez iniciadas as atividades de disposição de resíduos sólidos em um aterro sanitário, estas devem ser monitoradas de maneira periódica sob aspectos ambientais, operacionais e geotécnicos (Catapreta, 2008). Os levantamentos topográficos estão dentro das diversas atividades de monitoramento ambiental de um aterro sanitário. A topografia fornece os dados principais que permitem realizar acompanhamentos, avaliações e tomada de decisões relacionadas à operação. Devido ao grande volume de resíduos depositados de maneira contínua, associado às características de deformabilidade desses, os maciços estão em constante mudança de sua geometria.

Os registros realizados por drones veem apresentando resultados positivamente significativos em termos de precisão geográfica resolução espacial, fornecendo dados robustos para composição dos monitoramentos em aterros sanitários.

Os produtos cartográficos obtidos através da aerofotogrametria por drone são a base para realização do monitoramento preciso e da gestão ambiental eficiente de aterros sanitários.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade dos produtos gerados através da aerofotogrametria por drone com intuito de auxiliar na gestão ambiental do aterro sanitário de Avaré, São Paulo.

METODOLOGIA

O aerolevanteamento foi realizado no aterro sanitário municipal, localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo, zona rural do município de Avaré. O aterro sanitário possui uma área de 19.199 ha. A infraestrutura projetada para disposição final de rejeitos recebe todos os resíduos sólidos produzidos no município, que possui uma população de 92.805 habitantes, de acordo com o último censo demográfico datado do ano de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A quantidade diária de resíduos sólidos recebida pelo aterro sanitário de Avaré é de aproximadamente 2.800 toneladas. Entre os resíduos recebidos estão inclusos os domiciliares, os resíduos de comércio e repartições públicas, bem como galhadas provenientes de corte de árvores e arbustos (Avaré, 2022).

Os dados primários foram coletados em campo no dia 25 de setembro de 2023 e a aeronave utilizada foi o drone da marca DJI do modelo AIR 2S.

Anteriormente ao voo, foi realizado o levantamento dos pontos de controle no terreno (em inglês, Ground Control Points - GCPs) para o correto georreferenciamento das imagens obtidas através do sensor do drone. Este procedimento foi feito por GNSS (Global Navigation Satellite System) pelo método RTK – (em inglês, Real Time Kinematic). Os dados referentes às coordenadas planialtimétricas foram processadas pelo serviço PPP do IBGE. O IBGE-PPP permite aos usuários com receptores GNSS alcançar coordenadas de alta precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000).

Para que as coordenadas planialtimétricas fornecidas pelo GNSS-RTK fossem reconhecidas no ortomosaico, foram implementados quatro pontos de controle previamente especializados e devidamente identificáveis na área de interesse. Os pontos de controle no terreno foram identificados por um “X” desenhado em solo por meio de cal hidratada com tamanho de aproximadamente 45 x 45 cm, deixando assim como forma de fácil identificação a posteriori pelas imagens obtidas através do sensor do drone (Figura 1).

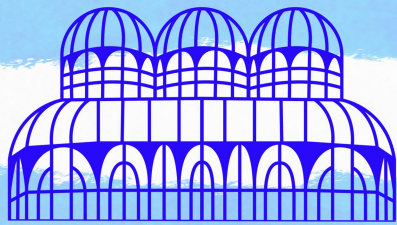


Figura 1- Coleta de pontos de controle com GNSS - RTK. Fonte: Autor do trabalho.

Os pontos distribuídos no terreno são demarcados em todas as imagens em que eles foram identificados, atribuindo àquele ponto a mesma coordenada coleta em campo, este processo é tecnicamente conhecido como identificação dos pontos homólogos.

Na etapa de planejamento de voo (Figura 2), foram parametrizados os dados relativos ao levantamento no software online Drone Harmony. Esta etapa é de extrema importância, pois define os parâmetros que serão utilizados durante o voo, tais como altura, sobreposição longitudinal e lateral das fotos, bem como a velocidade da aeronave durante o aerolevanteamento.

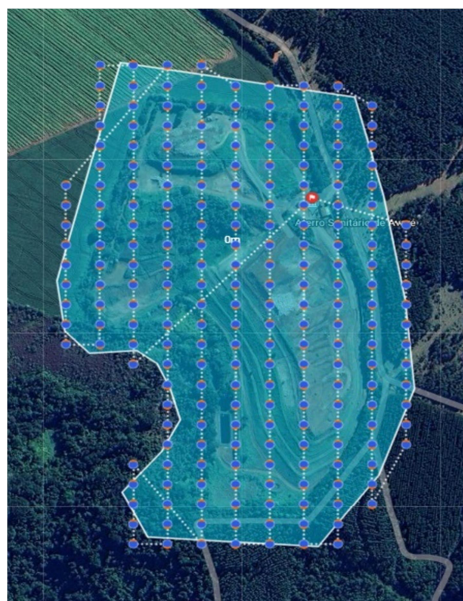


Figura 2- Linhas de voo e espacialização das fotos. Fonte: Autor do trabalho

A altura utilizada no presente aerolevanteamento foi de 120 metros (o máximo permitido para o tipo de aeronave utilizada), com sobreposição longitudinal de 80%, lateral de 80% e com velocidade de 08 metros por segundos.

Para projetos aerofotogramétricos digitais, o conceito utilizado é chamado de GSD – (em inglês, Ground Sample Distance). O GSD representa uma determinada fração real do terreno em uma matriz de pixels que formam uma imagem. A escolha do GSD é determinada de acordo com a necessidade da resolução espacial do projeto, variando conforme a demanda por melhor resolução da imagem. O GSD definido para o presente trabalho foi de até 5cm/pixel.

RESULTADOS

Ao todo foram coletadas 554 imagens com altitude de voo de 120 metros. Foi utilizada a câmera do drone DJI AIR 2S, Modelo Test Pro, com distância focal fixa de 8.38 mm, resultando em um GSD (Ground Sample Distance) de 3.27cm no ortomosaico e 10.8cm em ambos os modelos digitais. Observou-se que os resultados obtidos na Figura 3 e 4 apresentam as áreas no intervalo altimétrico de 753 metros a 846 metros e servirão para o monitoramento ambiental, bem como realizar o cálculo volumétrico dos resíduos sólidos depositados na área do aterro sanitário municipal de Avaré.

As bases cartográficas geradas pela aerofotogrametria por drone foram: Nuvem Densa de Pontos (Figura 3), Modelo Digital de Superfície (Figura 4), Modelo Digital do Terreno (Figura 5), Ortomosaico Georreferenciado (Figura 6) e curvas de nível com equidistância de 01 metro.

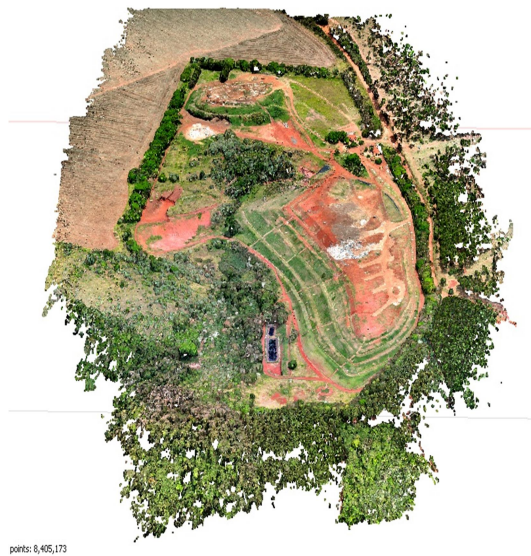


Figura 3- Nuvem Densa de Pontos. Fonte: Autor do trabalho

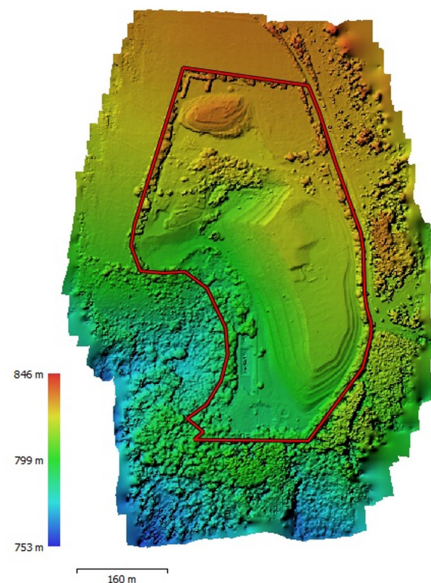


Figura 4- Modelo Digital de Superfície – MDS. Fonte: Autor do trabalho

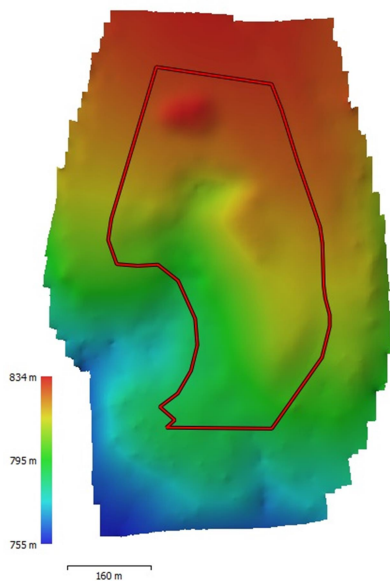
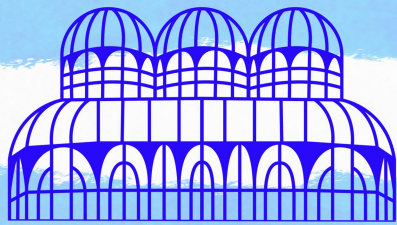


Figura 5- Modelo Digital de Terreno– MDT. Fonte: Autor do trabalho



Figura 6- Ortomosaico Georreferenciado. Fonte Autor do trabalho

CONCLUSÕES

A base de dados produzida através da aerofotogrametria por drone servirá para uma gestão ambiental eficaz do equipamento de disposição final de rejeitos. O monitoramento ambiental da operação do aterro sanitário, a identificação de drenos de chorume e biogás, a determinação das cotas dos taludes, a localização das lagoas de chorume, o depósito de galhadas e a avaliação do avanço da operação, são algumas das atividades que podem ser obtidas através observação do ortomosaico georreferenciado produzido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Avaré – Plano Municipal de Resíduos Sólidos da Estância Turística de Avaré, 2022
2. Catapreta, C.A.A. Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 337p, 2008.
3. Greenwood, W., Lynch, J., Manousakis, J., Athanasopouloszekkos, A., Clark, M., Saroglou, C. Lessons learned from the application of UAVenabled Structure-from Motion photogrammetry in geotechnical engineering. International Journal of Geoenvironment Case Histories. Vol. 4, n. 4, p.254, 2018.
4. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2022: população e domicílios: primeiros resultados / IBGE, Coordenação Técnica do Censo Demográfico. Rio de Janeiro: editora IBGE, 2023.
5. Mello, C.C.S. Aerofotogrametria com VANT: aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários, 2020.
6. Mello, C.C.S., Simões, G.F. Aerofotogrametria com VANT aplicada ao monitoramento volumétrico de aterros sanitários. REGEO/Geossintéticos, São Carlos/SP, Brasil, 2019.
7. Rosa, R. Geotecnologias na geografia aplicada. Revista do Departamento de Geografia, 16 (81-90), 2005.
8. Tommaselli, A.M.G. Fotogrametria Básica – Introdução. Capítulo 1. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. 14p, 2009.