

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) NA IDENTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONTRUÇÃO CIVIL (RCC) DISPOSTOS EM LOCAIS INADEQUADOS

DÊNIS CARDOSO PARENTE

Centro Universitário Luterano de Palmas | Brasil
denis@ceulp.edu.br

AURÉLIO PESSOA PICANÇO

Universidade Federal do Tocantins | Brasil
aureliopicanco@uft.edu.br

PALAVRAS-CHAVE:

Resíduo de construção civil, veículo aéreo não tripulado, imagem aérea

RESUMO:

Existe um número considerável de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos de construção civil (RCC) na cidade de Palmas – TO que extrapolam o alcance das ferramentas de controle e fiscalização do município. Esta pesquisa busca verificar a aplicabilidade da tecnologia VANT no auxílio da identificação desses resíduos bem como os pontos de descarte, tomando como unidade amostral áreas de descarte preliminarmente mapeadas por meio de imagens de satélite. Com metodologia que permitisse atestar a potencialidade dos produtos gerados em termos de fotointerpretação de imagens RGB e NIR, precisões geométricas, foram feitos sobrevoos com diferentes sobreposições de imageamento. Os resultados encontrados mostram que as imagens e os ortomosaicos gerados podem auxiliar de forma confiável, rápida e segura na identificação de pontos de lançamento de RCC, atestando que as plataformas VANTs e os sensores passíveis de serem acoplados a elas podem servir adequadamente para o estudo proposto.

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN IDENTIFICATION OF CONSTRUCTION WASTE (RCC) DISPOSALS IN INADEQUATE SITES

ABSTRACT:

There is a considerable number of areas used as waste disposal sites in the city of Palmas - TO, which extend beyond the scope of the control and inspection tools of the municipality. This research seeks to verify the applicability of the VANT technology in the aid of the identification of these residues as well as the disposal points, taking as preliminary sampling areas mapped by means of satellite images. With a methodology that allowed attesting the potential of the products generated in terms of photointerpretation of RGB and NIR images, geometric precisions, overlaps with different image overlays were made. The results show that the generated images and orthomosaics can reliably, quickly and safely assist in the identification of RCC launch points, attesting that the VANTs platforms and the sensors that can be coupled to them can adequately serve the proposed study.

KEYWORDS:

Civil construction waste, unmanned aerial vehicle, aerial image

UTILIZACIÓN DE VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN LA IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN CIVIL (RCC) DISPUESTOS EN LOCAL INADECUADO

PALABRAS CLAVE:

Residuos de la construcción, vehículos aéreos no tripulados, imagen aérea

RESUMEN:

Hay un número considerable de áreas utilizadas como puntos de eliminación de residuos de la construcción (RCC) en la ciudad de Palmas - TO que van más allá del ámbito de las herramientas de control y supervisión del condado. Esta investigación tiene como objetivo verificar la aplicabilidad de la tecnología UAV para ayudar a la identificación de estos residuos y el punto de eliminación, tomando como unidades de la muestra áreas de disposición preliminarmente mapeadas a través de imágenes de satélite. Con metodología que atestigüe el potencial de los productos generados en condiciones de fotointerpretación de imágenes RGB y NIR, precisiones geométricas se hicieron sobrevuelos con diferentes superposiciones de imágenes. Los resultados muestran que las imágenes generadas y ortomosaicos pueden ayudar de forma confiable, rápida y segura para identificar los puntos de lanzamiento de RCC, certificando que las plataformas de vehículos aéreos no tripulados y sensores que se pueden conectar a ellos pueden servir de manera adecuada para el estudio propuesto.

INTRODUÇÃO

O histórico de desenvolvimento do país, segundo IBGE (2010), mostra que o Brasil tem 85% de sua população em áreas urbanas e torna-se perceptível que esse crescimento não foi acompanhado pela evolução da infraestrutura e dos serviços urbanos, como o saneamento.

A capacidade de gerir problemas advindos do crescimento das cidades brasileiras, como a geração de resíduos sólidos, deveria estar alicerçada nas diretrizes legais trazidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e pela Lei Federal de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007).

Como um desdobramento dessa geração de resíduos sólidos, tem-se a geração de resíduos de construção civil (RCC), produtos de perdas em processos construtivos e também provenientes de demolições.

Para Oliveira et al., (2015) o alongamento do espaço urbano que acontece em Palmas - TO, praticamente, inviabiliza soluções minimamente satisfatórias de acesso à cidade e gera graves problemas para o poder público local, que terá de dispor de verbas mais elevadas para instalar infraestruturas que garanta, por exemplo a coleta ou mesmo limpeza de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos.

Inserido nesse cenário o uso de tecnologias, como informações geográficas, imageamento e aéreo, tem se despontado como ferramenta auxiliar para fins civis e científicos. Segundo Silva et al., (2015), os veículos aéreos não tripulados (VANTs)

apresentam-se como uma alternativa potencial no processo de obtenção de imagens que auxiliam na identificação e caracterização de superfícies, cobertura e uso do solo.

VANTs também são às vezes referidos como sistemas aéreos não tripulados ou mesmo sistemas aéreos pilotados remotamente, capaz de transportar diferentes dispositivos de medição, podendo ser controlado manualmente por uma pessoa treinada no solo ou autonomamente de acordo com um plano de voo pré-programado. (GAGO et al., 2015)

Segundo Siebert e Teizer (2014), a versatilidade e o baixo custo são umas das principais características dessa ferramenta, pois os levantamentos oferecem a possibilidade de uma resolução temporal totalmente flexível, considerando que pode realizar vários voos em épocas diferentes da mesma área e são considerados mais baratos que aerolevantamentos por veículos aéreos tripulados. Além disso, é possível adquirir imagens aéreas com melhores resoluções espaciais, livre de interferência de obstáculos atmosféricos como nebulosidade e gases. Sendo assim obtêm-se imagens com alto grau de sobreposição, o que possibilita a visão tridimensional de objetos a partir de duas ou mais imagens planas tomadas de posições diferentes (estereoscopia).

Breen et al., (2015) relata que a relação custo-eficácia, facilidade de utilização, flexibilidade de planeamento e implantação de voo, a disponibilidade de uma gama de sensores de alta resolução e software de pós-processamento conferem a essa ferramenta o potencial superior em relação às imagens de satélite e imagens de aviões tripulados.

Nos últimos anos, o uso de VANTs para fins civis começou a aumentar graças aos avanços tecnológicos, redução de custos e tamanho dos sensores relacionados ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), voos pré-programados, IMUs (unidades de movimento inercial) e auto-pilotos. Neste sentido, a tecnologia pode preencher algumas lacunas de conhecimento, melhorando a resolução espacial e temporal dos sistemas de sensoriamento remoto atuais mais comuns. (NISHAR et al., 2016)

Buscou-se avaliar a qualidade das imagens obtidas por meio de diferentes sobreposições em áreas adjacentes e dentro do perímetro urbano de Palmas – TO, bem como a potencialidade da tecnologia VANT na identificação de pontos de descarte clandestino de resíduos de construção civil, confrontando dados obtidos por meio das imagens com dados de campo. Como cenário para a aplicação da metodologia proposta aqui, tem-se a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, localizada na região norte do país. O município encontra-se em processo acelerado de urbanização e em constante transformação por meio de obras de infraestrutura, atividades que contribuem diretamente para o aumento do consumo de insumos básicos e consequentemente a geração de RCC.

Materiais E Métodos

Área de estudo:

O município de Palmas, cenário para o desenvolvimento da pesquisa, está localizado na região central do Tocantins, norte do Brasil. À margem direita do rio Tocantins, a cidade possui 279.856 habitantes e área de 2.218,94 km² (IBGE, 2016).

Como parcelas amostrais foram sobrevoadas 2 áreas dentro do perímetro urbano e 2 áreas fora do perímetro urbano.

A escolha das áreas está fundamentada pelo mapa preliminar de identificação de áreas de disposição de RCC, gerado por Silva (2015). Por meio do uso de tecnologia computacional foram feitas análises preliminares da área urbana de Palmas – TO e a interpretação de imagens de satélite do software Google Earth que possibilitaram a identificação de pontos de concentração de resíduos distribuídos em toda a área urbana do distrito sede e áreas adjacentes.

Materiais:

VANT eBee e softwares para voo e processamento de imagens

A escolha da ferramenta a ser utilizada, a aeronave a qual foi acoplado os sensores de captura das imagens e todos os seus periféricos, aconteceu de forma preliminar, planejada e, principalmente, vinculada à necessidade da pesquisa e particularidades do ambiente urbano. A simplicidade na execução dos planos de voos, autonomia e mobilidade frente à falta de áreas para decolagem e pouso, contribuíram para a escolha do modelo eBee (Figura 1).

Figura 1. VANT modelo eBee.



Fonte: Os Autores.

Vias movimentadas, pavimentadas e a presença de edifícios em grande parte das quadras do perímetro urbano da área de estudo estabeleceram uma série de limitações e entraves no processo de obtenção das imagens. Seria necessária uma ferramenta que demandasse de pequenas áreas para decolagem e pouso, bem como Operação em Linha de Visada Visual (Visual LineofSight – VLOS operation), onde o

piloto remoto mantém constante contato visual direto com o VANT ou o aeromodelo com vistas a manter as separações previstas e prevenir colisões.

A aeronave vem acompanhada do software Emotion 2, que permite a configuração prévia do plano de sobrevoo bem como alteração do mesmo em tempo real. O mesmo software configura-se como uma plataforma de onde é possível definir a altitude, resolução e sobreposição longitudinal e latitudinal da área a ser sobrevoada, altitude, velocidade do vento, nível de bateria e sinal de rádio em tempo real. Ainda por meio de sistema inercial e do GPS (Global Position System) ou opcionalmente GPS com sensor RTK (Real Time Kinetics - precisão relativa de centímetros) embarcado à aeronave proporciona a posição e orientação de cada imagem.

Dispositivo de captação de imagem (câmeras)

As câmeras que foram utilizadas na captura das imagens, dois modelos RGB S110 e NIR S110, reuniram características adequadas e compatíveis com o sistema eBee e o aplicativo de formação de ortomosaico. Ambas dispunham de sensores Live MOS de 12,3 megapixels, com uma gama ISO de 100 a 6400, com capacidade de gravar imagens em RAW (12-bit de compressão sem perdas), JPEG, JPEG + RAW e salvar em cartões SDHC.

Procedimentos:

Planejamento do voo

O plano estabelecido para a presente pesquisa, mesmo buscando atestar a potencialidade no processo de identificação de pontos de lançamento de RCC, também vislumbrou o interesse em produzir resultados por meio de arranjos diferenciados de sobreposições de voo e tipo de sensor utilizado na captura das imagens. Para tanto as áreas selecionadas como objeto de pesquisa foram sobrevoadas, cada uma delas, conforme os planos detalhados a seguir.

- 1º - Voos com diferentes sobreposições de imageamento

O primeiro procedimento trata-se da representação do terreno por meio de fotografias expostas sucessivamente ao longo de uma direção, formando uma faixa de voo. Para se obter estereoscopia, as fotos são expostas em intervalos de tempo tais que, entre duas fotos sucessivas de uma faixa, haja uma sobreposição de cerca de 60% e nas faixas expostas, paralelamente, para compor a cobertura de uma área foi mantida uma distância entre os eixos de voo que garanta uma superposição de cerca de 50% entre duas faixas adjacentes. O método procura garantir que as faixas possam ser “amarradas” pelos pontos de ligação determinados na área comum e formem um bloco.

Para o primeiro método foram feitos 3 sobrevoos em uma mesma área e a uma mesma altura. No procedimento foi mantida a resolução das imagens por meio da fixação da altura e do formato da trajetória para os três voos, alterando-se somente a sobreposição das imagens.

- 2º - Voos com trajetórias perpendiculares

Nessa etapa, mais uma vez objetivando analisar o resultado da superposição longitudinal e lateral entre os mosaicos, foram realizados sobrevoos em trajetória perpendicular. Como desdobramento do objetivo principal tem-se a verificação das

distorções de elementos e pontos de coordenadas geradas pela instabilidade da aeronave em missão.

Resultados E Discussões

Optar por uma ferramenta capaz de oferecer uma grande variedade de resultados, no que se refere à qualidade desses resultados, aos custos gerados e à eficiência do método, induz o pesquisador a um estudo aprofundado sobre as especificações que melhor atendem as necessidades de cada trabalho.

Neste trabalho a observação dos parâmetros técnicos da tecnologia VANT buscou atender as especificidades e possibilidades existentes no cenário de gerenciamento de resíduos de construção civil, convergindo para sua identificação e dos pontos de descarte desses resíduos.

Alcance e autonomia de voo:

Como a identificação de pontos clandestinos de descarte de resíduos não necessitam de identificação e ações emergenciais do órgão fiscalizador, quando comparados com resíduos não inertes, o alcance de operação do VANT pode ser restrito. A maioria das quadras de Palmas tem formato retangular e as áreas não ultrapassam 70.000m² o que facilitou o alcance de sobrevo.

O alcance do link de rádio estabelecido entre a aeronave utilizada nesta pesquisa e a plataforma de controle não ultrapassou os 3.000m de limite estabelecido pelo equipamento, o que condicionou a utilização de pontos mais adequados para sobrevo e decolagem e o alcance em visada.

Como já mencionado, a autonomia de voo também estabeleceu um limite de distância entre a área de decolagem e o percurso feito pela aeronave durante o imageamento. As áreas que foram recobertas não ultrapassaram os 65 ha, correspondendo a um voo de duração de aproximadamente 30min, correspondendo a um consumo de bateria de aproximadamente 70%.

Sensores embarcados:

Cabe lembrar que a simples identificação de resíduo de construção em áreas urbanas não exige grande exatidão geométrica e geodésica, o que acaba sendo necessário somente em casos de determinação de volumes e superfícies.

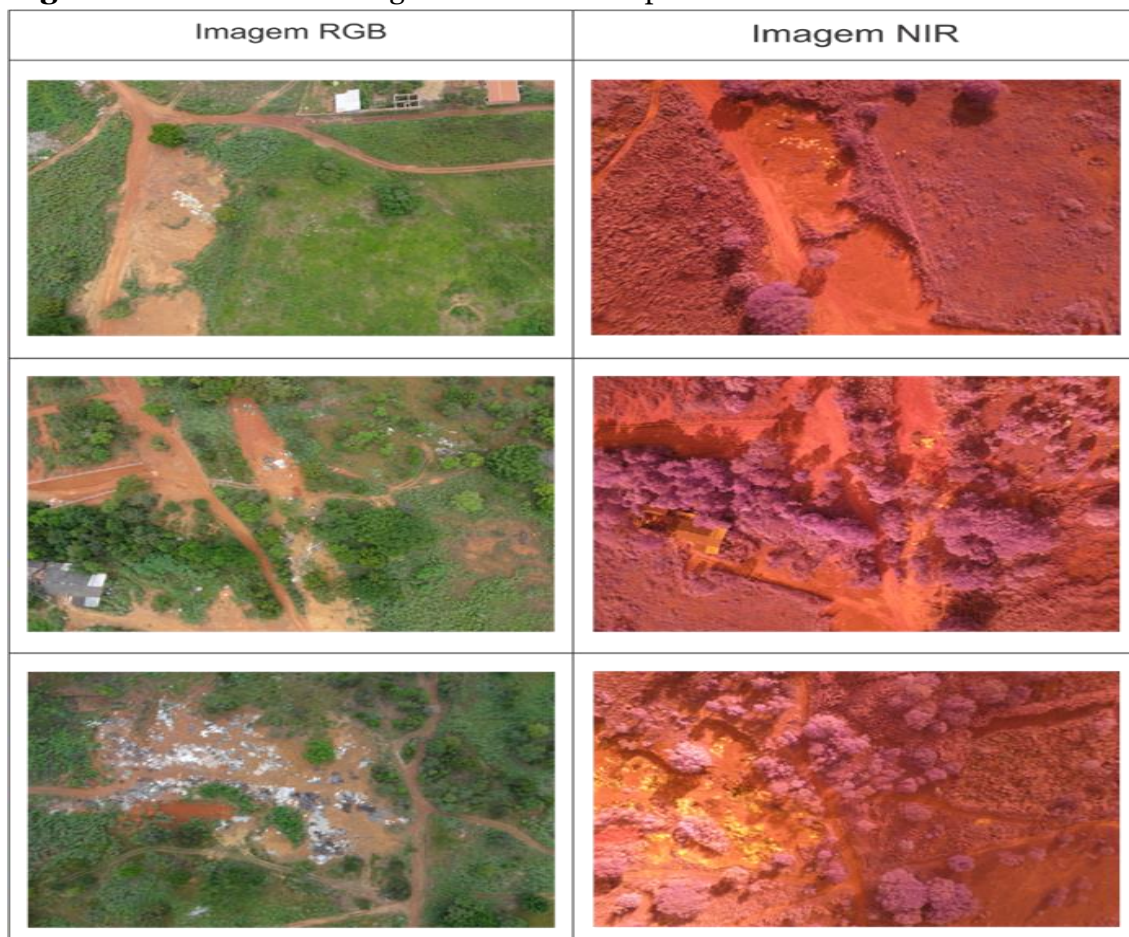
Mesmo as áreas aerolevantadas não ultrapassando os 65ha, os alvos identificados em algumas situações apresentaram-se reduzidos, o que tornou necessário resoluções mais refinadas, com pixels representando 4,0x4,0cm em solo.

Outro aspecto observado foi a diferenciação dos resíduos identificados. Haja vista a variedade de componentes dos resíduos dispostos, a resposta dos sensores das câmeras embarcadas com quatro bandas nas faixas espectrais do visível (RGB) mostrou-se eficiente na identificação e diferenciação dos rejeitos. Essa variedade de material disposto está associada às características das obras.

As fases das obras geram rejeitos característicos de cada uma delas, com diferentes tonalidades e consequentemente diferentes respostas aos sensores. A fase de infraestrutura, que envolve movimentação de grandes volumes de terra, acaba dando a tonalidade do solo para os rejeitos, enquanto as fases de acabamento e demolições geram um material de cor mais clara, devido à grande quantidade de concreto, argamassas e revestimentos.

Foram feitos também imageamentos com sensor infravermelho (câmera NIR) e os resultados encontrados mostraram-se mais satisfatórios em áreas fora do perímetro urbano. A diferenciação dos objetos sobre o solo acabou facilitando a identificação dos resíduos lançados em áreas com a presença de cobertura vegetal e em terrenos desnudos em razão do contraste de cores. A Figura 2 traz um comparativo de pontos imageados com o sensor RGB e NIR.

Figura 2. Resultados de imagens de um mesmo ponto obtidas com sensor RGB e NIR.



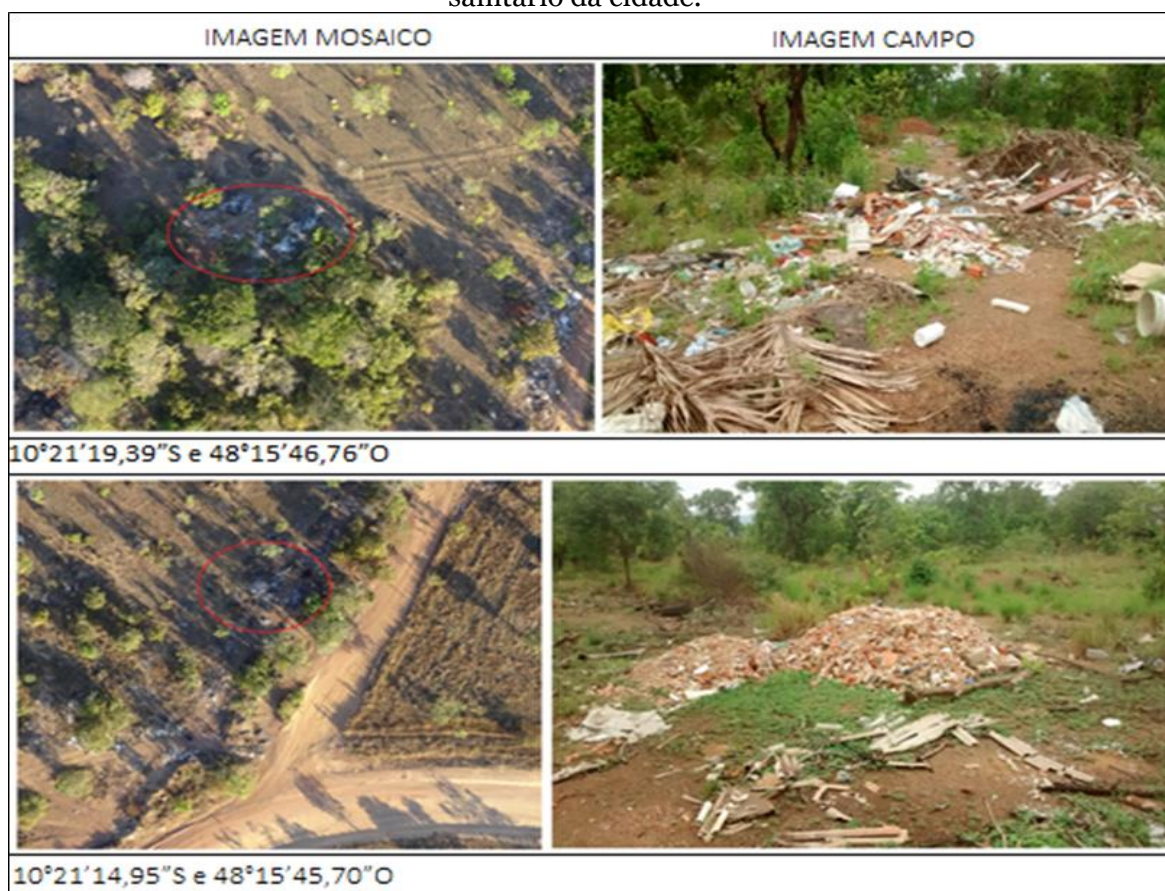
Fonte: Os autores.

Desta forma, o que se percebe é que a geração de composições coloridas associadas aos reais mostra-se suficientes para a fotointerpretação das imagens, cabendo destacar ainda que a resolução refinada das imagens permite a identificação dos objetos na superfície com maior facilidade.

Fotointerpretação e Identificação In loco das imagens pré-selecionadas:

Em visita às áreas pré-selecionadas como modelo de estudo do trabalho foram obtidos os resultados presentes na Figura 3. Por meio da sincronização das imagens obtidas com a aeronave e em campo, foi possível definir a potencialidade do uso das imagens e assim definir alguns métodos fundamentais para análises em maior escala. Todas as áreas imageadas foram consideradas irregulares para disposição, a exemplo das áreas fora do perímetro urbano, em que a disposição de RCC está sendo feita em estradas de acesso às propriedades rurais.

Figura 3. Pontos de descarte em área fora do perímetro urbano, próxima ao aterro sanitário da cidade.

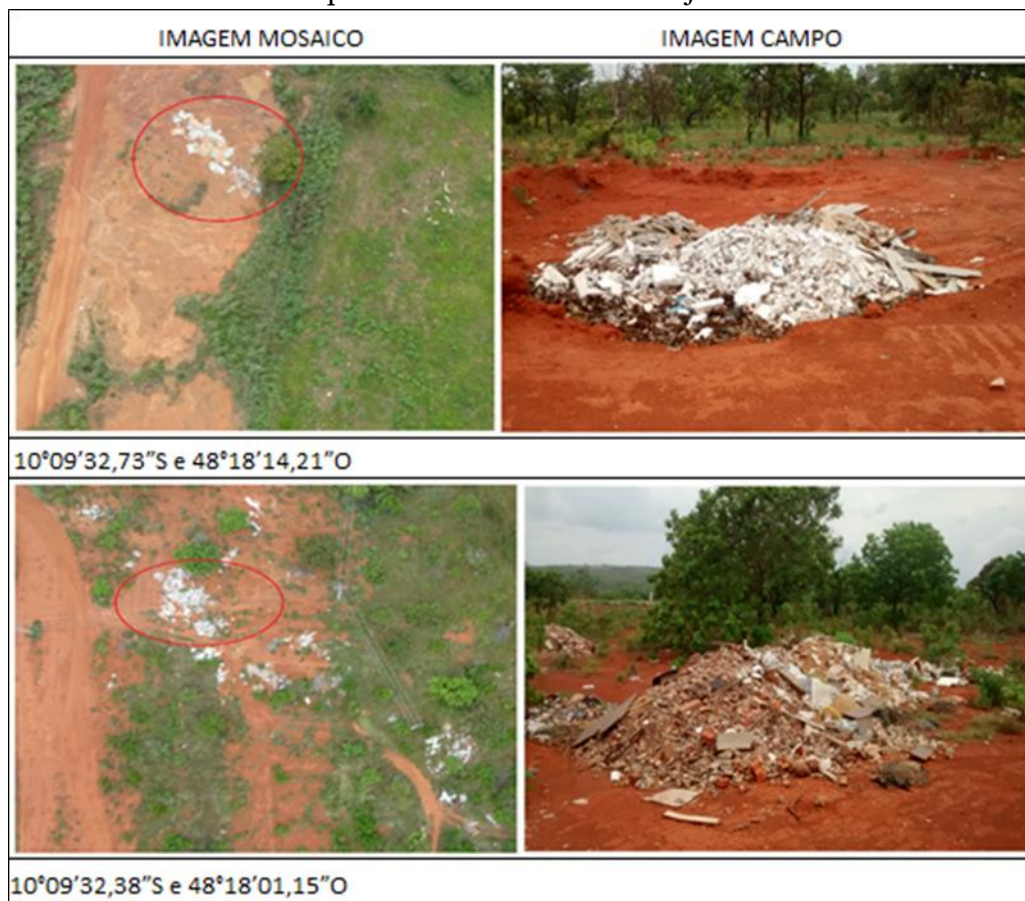


Fonte: Os autores.

Nas áreas dentro do perímetro urbano foi constatada a disposição de resíduos provenientes de demolições, situado as margens da rodovia que dá acesso às cidades vizinhas de Lajeado e Miracema do Tocantins. Os resíduos provenientes da construção civil foram encontrados, em alguns casos, misturados a outros tipos de resíduos e mesmo essa diversidade não se mostrou como dificuldade em se trabalhar com imagens aéreas.

Na Figura 4 é perceptível a presença de materiais provenientes de demolições, como gesso, argamassa, que conferem a cor clara aos resíduos, e material cerâmico, como telhas e tijolos, com coloração avermelhada.

Figura 4. Pontos de descarte em área dentro do perímetro urbano, próxima à rodovia que dá acesso à cidade de Lajeado – TO.



Fonte: Os autores.

Em todas as áreas sobrevoadas, tanto dentro do perímetro urbano quanto fora dele, foram identificadas pilhas de materiais descartados há algum tempo e pilhas recentes, com resíduos recém descartados. Este é um forte indício de que as mesmas áreas vêm sendo utilizadas há um bom tempo como pontos para descarte de RCC. Essa identificação pôde ser feita por meio dos mosaicos gerados e da identificação in loco.

O que se percebe é que a qualidade do produto final é inferior quando não se utiliza sobreposições maiores, apresentando muitas distorções geométricas. Essa percepção se potencializa quando se trata de áreas urbanas que apresentam formas e volumes bem definidos. A Figura 5 mostra as distorções em coberturas e muros de edificações indicando esta qualidade inferior do ortomosaico por meio de um comparativo entre imagens com sobreposições distintas. Na edificação é possível notar em seus cantos, arestas e limites, distorção no ortomosaico. Em áreas rurais a percepção dessas distorções torna-se mais difícil, em razão do menor número de objetos e formas imageadas.

Figura 5. Distorções em imagens apontadas em coberturas e muros de edificações.



Fonte: Os autores.

Cabe ressaltar que optar somente por sobrevoos com altos percentuais de sobreposições não garantem resoluções espaciais mais refinadas. As condições temporais adversas no momento do voo, como velocidade do vento e sombras podem comprometer a formação da nuvem de pontos gerada pelas imagens, mesmo com altas sobreposições, o que pode ser corrigido por meio da inserção de pontos de controle.

A eficiência técnica obviamente vai depender do cenário ambiental da área das características dos alvos que se pretende identificar e em hipótese alguma a obtenção de imagens aéreas de áreas utilizadas como pontos de descarte de resíduos substitui a necessidade da avaliação e fiscalização em campo. Ela deve sim auxiliar, com a possibilidade de geração de mais informações, e de forma mais rápida e segura.

CONCLUSÃO

O sistema de imageamento aéreo por VANT mostrou-se eficiente na geração de imagens para estudos referentes à identificação de áreas clandestinas de lançamento de

resíduos de construção, bem como sua caracterização, em áreas urbanas ou não, tendo alcançado o objetivo de produzir imagens com melhores resoluções a um baixo custo, de forma programada e sem a interferência do recobrimento de nuvens.

Como esperado, os ortomosaicos gerados com sobreposições inferiores foram os que apresentaram maiores distorções dos objetos. Ao se utilizar sobreposições maiores, os desvios diminuíram por darem ao bloco aerotriangulado mais rigidez. A análise de imagens com resolução espacial mais refinada permitiu identificar áreas de disposição de RCC bem como sua caracterização por meio de técnicas fundamentais de imageamento aéreo, podendo gerar bases informativas úteis para implantação de modelos de gerenciamento.

Como pontos negativos da ferramenta estão a sua instabilidade em voo, que pode gerar imprecisões geométricas dos seus produtos e o fato da presença de sombras, caso os voos não tenham horários propícios planejados e previsões de velocidade do vento não sejam feitos. Contudo, apesar das limitações, a ferramenta apresentou uma boa contribuição para subsidiar o manejo dos resíduos de construção.

REFERÊNCIAS

BRASIL. IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa nacional de saneamento básico. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>> Acesso em 05 de setembro de 2013.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BREEN, B.; BROOKS, J. D.; JONES, M. L. R.; ROBERTSONS, J.; BETSCHART, S.; KUNG, O.; CARY, S. C.; LEE, C. K.; POINTING, S. B. Application of an unmanned aerial vehicle in spatial mapping of terrestrial biology and human disturbance in the McMurdo Dry Valleys, East Antarctica. *Polar Biol*, (2015) 38:573–578.

GAGO, J.; DOUTHE, C.; SOOMMAN, R. E.; GALLEGOS, P. P.; RIBAS-CARBO, M.; FLXAS, J.; ESCALONA, J.; MEDRANO, H. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 153 (2015) 9–19.

NISHAR, A.; RICHARDS, S.; BREEN, D.; ROBERTSON, J.; BREEN, B. Thermal infrared imaging of geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei - Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand. *Renewable Energy*, 86 (2016) 1256 - 1264.

OLIVEIRA, C. F. P., BESSA, K. C. O. O espaço urbano de Palmas/TO: dispersão, periferias, vazios urbanos e transporte público por ônibus. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 6, n. 1, p. 15-40, jan./jun. 2015.

SILVA, J. S.; ASSIS, H. Y. E. G.; BRITO, A. V.; ALMEIDA, N. V. **VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra.** In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2015.

SIEBERT, S.; TEIZER, J. **Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using na Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system.** Automation in Construction. v.41, p. 1-14. 2014.

SILVA, J. P. **Caracterização de Resíduos de Construção Civil na Cidade de Palmas – TO.** Palmas: Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Tocantins, 2015.

Recebido em: 06/02/2017

Aprovado para publicação em: 21/12/2017