

Deteccão de alterações ambientais a partir de imagens digitais obtidas com plataforma VANT: Estudo de caso do desastre ambiental na região da comunidade Floresta – Morretes -PR.

Niarkios Luiz Santos de Salles Graça ¹
Edson Aparecido Mitishita ¹
José Eduardo Gonçalves ²

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR Departamento de Geomática.

niarkiosnl@hotmail.com; mitishita@ufpr.br

² Instituto Tecnológico SIMEPAR

jgoncalv@simepar.com.br

Abstract: UAV (unmade Aerial Vehicle) platforms have been used to acquire low cost high resolution images and to perform many studies of geoinformation extraction using Photogrammetry and Remote Sensing approaches. Nowadays due to the operational ability to realize an aerial survey for small areas, an UAV platform became the best cost benefit to acquire high spatial and temporal resolution images for Remote Sensing applications. This paper presents a study done in order to detect environmental changes on the Floresta community area, caused by an environmental disaster in Serra do Mar - State of Paraná in March of 2011. The proposed methodology to detect the environmental changes used a WorldView image, showing the environmental conditions at the region in July of 2011 and a block of images taken from an UAV platform in December of 2011. The obtained results from the performed experiments, showed that UAV images can be used to perform accurate visual analyzes and to detect the environmental alterations in the study region.

Key-words: remote sensing, photogrammetry, digital elevation model, uav imagery, changed detection, environmental alterations.

1. Introdução

Atualmente, a tecnologia conhecida por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode ser considerada com sendo a plataforma aérea que possui o melhor custo- benefício na obtenção de imagens de alta resolução espacial e temporal para fins de extração de geoinformações de pequenas áreas (Everaerts,2008; Eisenbeiss,2009).

Fatores como baixo custo, miniaturização e integração de sensores de posição/orientação (GNSS/INS) de pequena e média resolução, viabilizaram a automação dos VANTS na execução de trabalhos voltados à Fotogrametria, principalmente aspectos do trabalho relacionados com o recobrimento aéreo autônomo e determinação direta da posição e orientação da câmera no instante das tomadas das imagens.

A facilidade para a obtenção de imagens em posições previamente planejadas viabiliza o aumento do número de imagens homólogas, observações redundantes e conseqüentemente, o incremento do desempenho das tecnologias de extração de informações métricas espaciais, desenvolvidas nas Áreas da Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Visão Computacional. Neste segmento, Westoby, et al., (2012), realizaram um importante estudo sobre uma revolucionária técnica fotogramétrica de baixo custo e de fácil operacionalização denominada de SFM – Structure From Motion. O artigo descreve o fluxo de trabalho do método SFM, experimentos e discussões sobre o seu desempenho na obtenção de uma nuvem de pontos para a geração de modelo digital de elevação com alta resolução espacial usando um bloco de imagens tomadas com câmera digital de baixo custo.

Aicardi, et al., (2016), apresentam o estudo realizado para a reconstrução tridimensional de edifícios históricos empregando fotos inclinadas tomadas com uma câmera digital de baixo custo instalada numa plataforma VANT. A metodologia utilizada para a geração da nuvem de pontos tridimensional que define a geometria das edificações foi fundamentada na

redundância de imagens e no método SFM. A exatidão obtida no experimento se deu partir da comparação com dados de levantamento Laser Scanner Aéreo convencional.

Diferente dos métodos fotogramétricos tradicionais, empregados para a reconstrução tridimensional de superfícies ou objetos, o SFM não necessita, a rigor, de pontos de apoio, parâmetros de orientação Interior e Exterior das imagens e definição manual de pontos de ligação, a depender da exatidão requerida. O método SFM, empregando uma fototriangulação por feixes de raios, altamente redundante, orienta e posiciona as imagens em um referencial não geodésico (orientação relativa). A escala do referencial é próxima da real, estimada com base na distância focal da câmera e altura média de voo. Os pontos de ligação de imagens e pontos definidores da superfície tridimensional são obtidos com as técnicas de correspondência com múltiplas imagens. Pontos de apoio são empregados quando maior exatidão é exigida no processo.

Apesar de todas estas vantagens oferecidas pela tecnologia VANT, salvo o melhor juízo pela falta de maiores informações, seu emprego em trabalhos de Engenharia ainda encontram-se encapsulados em estudos e desenvolvimentos metodológicos acadêmicos. De acordo com Everaerts(2008), o emprego de Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT's como plataformas de Sensoriamento Remoto têm dado a muitos grupos de pesquisa a oportunidade de adquirir dados com custo e tempo de aquisição reduzidos em face a um recobrimento aéreo convencional. Segundo o autor, as plataformas VANTs podem captar novos usuários e ampliar o uso das Tecnologias fundamentadas na Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, principalmente à medida que houver adequada regulamentação do espaço aéreo para aceitá-los como plataformas aéreas para o aerolevanteamento.

Diante do exposto e diferente dos estudos experimentais de uso da plataforma VANT, este artigo mostra a metodologia adotada para a detecção de alterações ambientais, a partir de imagens digitais de baixo custo, obtidas de um projeto de engenharia que foi realizado pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR. Especificamente, o artigo verifica as condições remanescentes, após trabalho de remoção de detritos, em uma região afetada por processos de corrida de massa.

2. Materiais e Métodos

Nesta seção são apontados e discutidos tópicos inerentes a condução do trabalho desenvolvido.

2.1 Área de estudo

A Área de estudo, vista nas Figuras 1 e 3, faz parte da Bacia do Rio Jacareí inserida na Serra do Mar do Estado do Paraná. Especificamente, é a região da Comunidade de Floresta, localizada a aproximadamente 15 km do centro de Morretes. A região passou por um desastre natural em Março de 2011, provocado pela ocorrência de chuvas torrenciais que transbordaram os rios e lagos, inundaram ruas e estradas, derrubaram pontes e destruíram casas e propriedades.

Na ocasião, os elevados índices pluviométricos em conjunto com as características geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região, desencadearam uma combinação de variados processos de movimentos de massa, acarretando desprendimento e rolamento de blocos, deslizamentos e corridas de detritos (Pinto et al., 2014). Na Figura 1(a) podem ser vistas as cicatrizes nas cabeceiras das encostas, comprovando a perda de material pelo movimento de massas. A região a jusante, planície de inundação, atingida pelas corridas de massa, sofreu diretamente os efeitos do desastre natural na população local e em mudanças consideráveis no ambiente natural como podem ser vistas na Figura 1(b). As mudanças ambientais provocadas por desastre naturais denominados de corridas de massa são apresentadas e discutidas em Sausen e Lacruz, (2015).



Figura 1: (a) cicatrizes nas cabeceiras das encostas; (b) depósitos de detritos na região de inundação.

2.2 Recobrimento Aéreo

Em dezembro de 2011, o recobrimento aéreo da região de Floresta foi realizado pelo Instituto Tecnológico SIMPEPAR, que teve o objetivo a obtenção de imagens fotográficas para verificar as condições da área após a execução dos serviços de remoção de detritos. Na missão foi empregado o VANT SIMEPAR, construído em madeira balsa e compensado, equipado com o sistema de navegação MP2128g2 da Micropilot, que permite efetuar voos autônomos de longo alcance (fora do campo visual do operador). Este sistema utiliza sensores GPS/INS (Global Position System/Inertial Navigation System) para a sua orientação espacial, sensores de pressão para determinação de altura e velocidade de voo e acelerômetros para determinação da atitude de voo. A plataforma aérea, mostrada na Figura 2 (a), possui 2,0 m de envergadura e 1,6 m de comprimento. Opera com motor de 20cc, gasolina de aviação e possui autonomia de voo de 60 minutos na velocidade de 90 km/hora. O sistema elétrico é composto por modem de 900 MHz, Piloto Automático e ignição eletrônica, mantidos por um conjunto de três baterias de LiPo (Lítium Polímero) com capacidade total de 8200 mAh. Integra no sistema fotogramétrico uma câmera digital modelo Sony alfa NEX 3 com distância focal nominal de 16mm, sensor CMOS 23.4 x 15.6mm e imagem digital de 4592 x 3056 pixels.

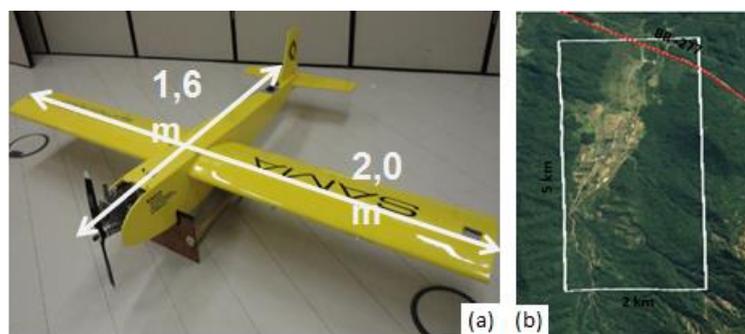


Figura 2: (a) Sistema VANT SIMEPAR; (b) área delimitada para os voos.

As imagens foram obtidas de acordo com planejamento prévio (plano de voo) com as seguintes características: altura aproximada de voo de 480m, recobrimentos entre imagens e faixas de 60% e 30% respectivamente. Para cobrir toda região de interesse, com os recobrimentos planejados, foram necessárias 6 faixas com 30 imagens em cada, resultando um bloco de 180 imagens distribuídas na área de estudo, conforme Figura 2 (b). Nestas condições, a resolução espacial no terreno GSD (Ground Sample Distance) foi de 15cm. Desta forma, uma imagem singular recobre uma região de 690 x 458m.

2.3 Processamento

Para realizar o estudo proposto foram usados os seguintes insumos:

- Imagens digitais obtidas de recobrimento aéreo descrito no item 2.2;

- Imagem de satélite WorldView 2,pancromática, com resolução espacial de 0.5m, gerada em junho/2011, fornecida pela Minérios do Paraná S/A - MINEROPAR;
- Software fotogramétrico (versão trial) AGISOFT PHOTOSCAN;
- Topodata – Banco de dados Geomorfométricos do Brasil.(TOPODATA,2016)

A metodologia empregada para verificar a eficiência da limpeza dos detritos depositados na área de estudo, está fundamentada em tecnologias que permitem comparações visuais entre imagens em duas épocas. Na primeira época, uma imagem WorldView, gerada dois meses depois da ocorrência do desastre ambiental. E na segunda, imagens de altíssima resolução espacial, obtidas a partir de um VANT oito meses depois do desastre e da limpeza dos detritos.

As seguintes etapas de trabalho foram realizadas para viabilizar as análises visuais:

- Geração de ortoimagens a partir do recobrimento fotogramétrico realizado, sendo duas abordagens utilizadas: a primeira, sem pontos de apoio, empregando somente dados de medida direta do sensor; a segunda associando um conjunto de pontos de apoio extraídos a partir de detalhes pontuais comuns nas imagens VANT e WorldView. As coordenadas altimétricas dos pontos de apoio foram obtidas com base em informações extraídas do banco de dados TOPODATA.

- Obtenção de mosaicos das ortoimagens produzidas;
- Verificação de precisões e exatidões obtidas nos mosaicos referenciados no sistema de projeção cartográfico;
- Análise visual das alterações ocorridas nas diferentes épocas.

3. Resultados e Discussões

O objetivo principal desse estudo é a verificação da viabilidade de utilização da plataforma VANT na obtenção de imagens digitais de alta resolução espacial em aplicações de análise de mudanças ambientais. Especificamente, verificar a partir de imagens aéreas, a qualidade dos serviços executados para a limpeza dos detritos depositados na região de estudo após março de 2011. Desta forma, o principal pré-requisito para qualquer metodologia a ser empregada para essa atividade, visual ou autônoma, é dispor de informações/imagens referenciadas a um sistema cartográfico (imagens em projeção ortogonal - ortoimagens).

Tratando-se de um recobrimento de baixo custo, realizado com uma plataforma VANT, optou-se por um procedimento fotogramétrico fundamentado na tecnologia SFM, comumente utilizado para blocos de imagens com elevada redundância no recobrimento entre imagens, apesar do bloco de imagens utilizado não cumprir completamente essa geometria. O bloco de imagens, como pode ser visto na Figura 3(a), possui recobrimento convencional entre imagens e faixas. Somente uma faixa cruzada foi empregada para aumentar a redundância nos recobrimentos. Já a Figura 3(b) mostra as distribuições espaciais dos pontos de apoio e de verificação no referido bloco de imagens. Os triângulos vermelhos são pontos de apoio e os círculos amarelos são pontos de verificação. A Figura 3(c) apresenta o ortomosaico obtido.

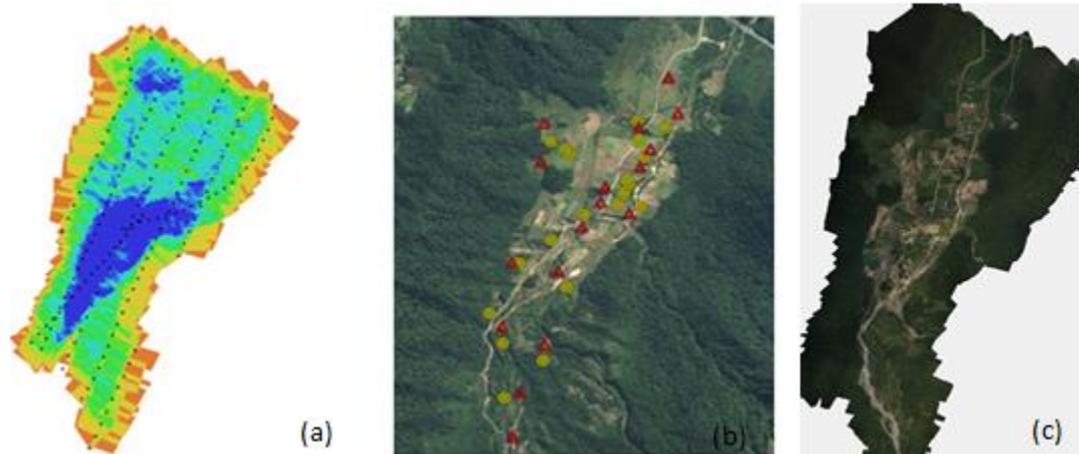


Figura 3: (a) distribuição espacial das estações de exposição das imagens no bloco e recobrimento; (b) distribuição dos pontos de controle e verificação; (c) ortomosaico gerado.

3.1 Análises e Discussões na Geração das Ortoimagens

Dois procedimentos foram testados para a obtenção das ortomagens. No primeiro, somente as coordenadas das posições das estações de exposição das imagens, obtidas com medidas diretas do sensor, foram utilizadas. Entretanto, apesar de ser um processo totalmente autônomo e com o mínimo de interferência operacional, o referenciamento cartográfico das ortomagens, comparado com o da imagem WorldView, não atendeu as necessidades para a realização do estudo. Considerou-se como valor tolerável a exatidão planimétrica próxima de três GSD da imagem WorldView ou 1,5m. A exatidão planimétrica obtida, com base na utilização de 21 pontos de verificação extraídos da imagem WorldView, ficou inferior ao valor admitido como sendo tolerável. Os erros quadráticos médios das discrepâncias planimétricas e altimétricas obtidos foram iguais a 7,5m e 7,2m respectivamente. A Figura 6 mostra a distribuição das discrepâncias planimétricas e altimétrica nos pontos de verificação no processamento sem pontos de apoio. A exatidão altimétrica, obtida com a análise realizada, pode ser considerada como sendo aceitável. Por falta de um mapeamento cartográfico de escala grande, optou-se por obter as coordenadas altimétricas dos pontos de verificação a partir do banco de dados TOPODATA do INPE que utiliza as informações altimétricas do levantamento SRTM com malha de 90 metros, mas refinado para uma malha de 30 metros com procedimento de interpolação por krigagem (Marques et al., 2011).

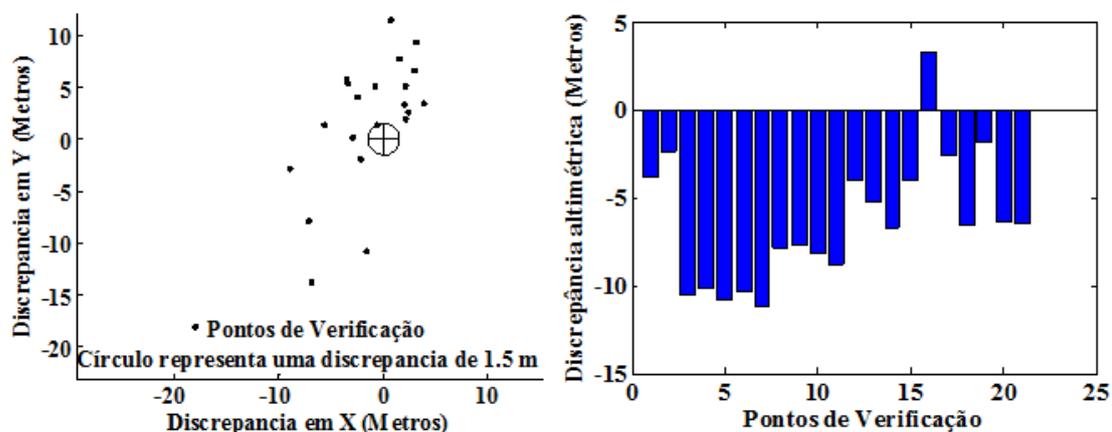


Figura 4: Gráfico das discrepâncias planimétricas (esquerda) e altimétricas (direita) dos pontos de verificação nas ortomagens geradas sem pontos de apoio.

As causas mais prováveis da baixa exatidão planimétrica, obtida no processo fotogramétrico, considerando ser o referencial geodésico da imagem WorldView igual ao utilizado para o posicionamento das imagens, podem ser atribuídas à baixa precisão do sensor GPS - instalado na plataforma VANT, falta de elevada redundância no recobrimento entre imagens, região com muita área de cobertura homogênea (área de floresta natural). Áreas de floresta, nas bordas do bloco, dificultaram as medidas automáticas de pontos homólogos nessas regiões, acarretando falhas nas conexões e conseqüentemente muitas imagens foram automaticamente eliminadas.

Desta forma, para aumentar a exatidão planimétrica do referenciamento cartográfico entre as ortoimagens e a imagem orbital WorldView, 17 pontos de apoio foram utilizados no procedimento fotogramétrico, sendo as coordenadas planimétricas dos pontos de apoio manualmente extraídas da imagem orbital WorldView e as altimétricas do modelo TOPODATA.

A análise de precisão da fototriangulação por feixes de raios (Bundle Adjustment) foi realizada com base nos resíduos dos 17 pontos de apoio. Os valores obtidos dos erros quadráticos médios nas componentes X, Y e Z foram 0,238, 0,312 e 0,355 metros, respectivamente.

Informa-se que nos dois processamentos realizados (com e sem pontos de apoio) não foram informados os parâmetros que recuperam a geometria interna do sensor, apesar de serem conhecidos. O motivo dessa opção foi para verificar o desempenho do processo e do software numa aplicação de imagens VANT que não requer elevada exatidão posicional. Nesta condição os Parâmetros de Orientação Interior são estimados em conjunto com a aplicação.

As exatidões das ortoimagens geradas com a adição de pontos de apoio no processamento foram obtidas a partir das discrepâncias tridimensionais nos pontos de verificação. Os valores resultantes dos erros quadráticos médios foram 1,97m em planimetria e 4,40m em altimetria. As exatidões planimétrica e altimétrica melhoraram significativamente se comparadas com as obtidas no processamento sem pontos de apoio. O comportamento das discrepâncias planimétricas e altimétricas é mostrado nos gráficos da Figura 5.

Apesar de haver uma melhora significativa do erro quadrático médio planimétrico, o valor obtido encontra-se maior que o tolerável (três GSD da imagem WorldView). Dois problemas contribuíram significativamente com essa qualidade: o primeiro está relacionado com a dificuldade de identificar e medir o detalhe pontual na imagem orbital WorldView; o segundo, com qualidade altimétrica do MDE, obtido no processo fotogramétrico, pois as coordenadas altimétricas dos pontos de apoio foram extraídas do modelo TOPODATA (SRTM interpolado). E o erro quadrático médio altimétrico pode ser considerado aceitável.

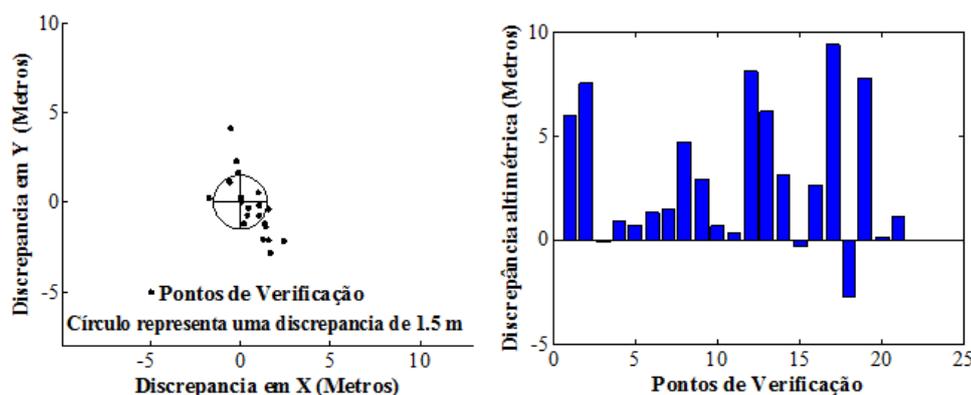


Figura 5: Gráfico das discrepâncias planimétricas (esquerda) e altimétricas (direita) dos pontos de verificação nas ortoimagens geradas com pontos de apoio.

3.2 Análise Visual de Imagens

Com o ortomosaico de imagens VANT no mesmo referencial cartográfico da imagem orbital WorldView foi possível realizar análises visuais das alterações ambientais existentes entre as duas épocas de obtenções das imagens e verificar a qualidade dos serviços executados para a limpeza de detritos.

Na Figura 6 têm-se dois recortes da região estudada, tanto na imagem WorldView (Figura 6 (I) e Figura 6 (III)), quanto para o ortomosaico gerado (Figura 6 (II) e Figura 6 (IV)). Por meio de uma simples comparação visual entre imagens, verifica-se uma significativa diferença entre as duas épocas, e colimando-se ao estudo proposto, estima-se na Figura 6 (I) um grande volume de detritos que foi depositado na margem esquerda do rio em março de 2011, permanecendo na região em julho do mesmo ano (mês de obtenção da imagem orbital). Analisando-se a Figura 6 (II), pode-se estimar com exatidão que os detritos foram totalmente removidos pelos serviços de limpeza contratados, ficando-se somente uns pequenos amontoados de toras que foram provavelmente separados para serem destinados em outras atividades.

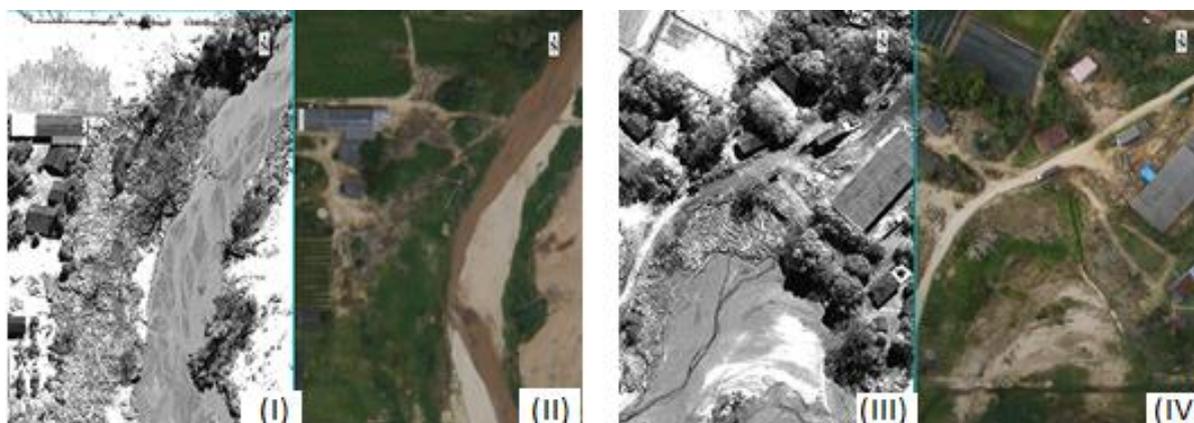


Figura 6: Comparativos entre a imagem WorldView e o ortomosaico, evidenciando depósitos de resíduos e a sua correta remoção.

De forma similar, na Figura 6(III), têm-se amontoados de detritos nas regiões central, inferior a direita e a esquerda, sendo o de maior dimensão na região central da imagem. Através de uma rápida análise infere-se ser os detritos de origem vegetal (troncos de árvores). Analisando a Figura 6 (IV), verifica-se com elevada exatidão, que os serviços contratados para a limpeza da região foram corretamente executados.

Na Figura 7, tem-se um par de recortes de imagens que mostra um exemplo de acúmulo e remoção de detritos rochosos na região de estudo. Neste caso, diferente dos exemplos anteriores, que confirmaram uma perfeita limpeza da região, a remoção dos detritos rochosos não foi totalmente realizada. Infere-se facilmente pela a análise visual do recorte do ortomosaico que alguns detritos ainda ficaram presentes na região, confirmando uma deficiência nos serviços de limpeza.

As análises visuais apresentadas e discutidas anteriormente comprovam a eficiência da aplicação da Tecnologia VANT no estudo realizado. A elevada resolução espacial das imagens digitais, obtidas com a plataforma VANT, viabilizou a realização de análises visuais de imagens e detectar com exatidão a remoção ou não dos detritos nas regiões após os serviços contratados para a limpeza da região.



Figura 7: Detritos rochosos não removidos.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente artigo mostrou o estudo realizado para a detecção visual de alterações ambientais existentes na região da comunidade Floresta, Estado do Paraná, pela ocorrência do desastre ambiental em março de 2011. Especificamente, o estudo teve o objetivo principal de verificação da limpeza da região ou remoção de detritos depositados na região pelas corridas de massa. A metodologia utilizou uma imagem orbital WorldView mostrando a deposição dos detritos em julho de 2011 e um bloco de imagens tomadas com plataforma VANT em dezembro do mesmo ano, após os serviços contratados para a remoção dos detritos. Com base nos experimentos realizados, as seguintes conclusões são apresentadas.

- Ortomosaicos gerados com imagens do recobrimento VANT e software AGISOFT PHOTOSCAN (versão trial) não alcançou exatidão planimétrica requerida para o estudo quando somente as coordenadas das estações de exposição da câmera, medidas diretamente do sensor GPS/VANT, foram utilizadas. A exatidão planimétrica foi aceitável (aproximadamente quatro vezes mais) quando um conjunto de pontos de apoio foi utilizado no processo;
- Regiões homogêneas de floresta natural na periferia do bloco dificultaram as definições e medidas automáticas de pontos homólogos;
- A utilização do banco de dados TOPODATA – INPE viabilizou a obtenção das coordenadas altimétricas nos pontos de apoio e geração de Modelo Digital de Elevações com precisão necessária para a obtenção de ortoimagens VANT e a realização do estudo proposto;
- A não utilização de parâmetros de orientação interior da câmera, determinados com procedimento de calibração terrestre, não inviabilizou o processo fotogramétrico empregado para a geração de ortoimagens com precisão planimétrica requerida ao estudo realizado;
- A utilização de recobrimento convencional, entre imagens e faixas, não inviabilizou a obtenção de ortoimagens e ortomosaico necessários à execução do estudo proposto;
- Ortomosaico, gerado com imagens de alta resolução espacial obtidas de uma plataforma VANT, permitiu de forma visual, inferir, com exatidão, se remoção ou não de detritos existentes na região foi corretamente realizada.

Os trabalhos futuros, nessa mesma temática de estudo, concentram-se para o desenvolvimento de metodologias automáticas ou semiautomáticas voltadas para detecções de mudanças (remoção de detritos) entre as imagens trabalhadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Tecnologia SIMEPAR por disponibilizar as imagens digitais obtidas com plataforma VANT e a imagem WorldView. Agradecem também as agências de Fomento Nacional CAPES e CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aicardi, I.; Chiabrando, F.; Grasso, N.; Lingua, A.M., Noardo, F., 2016 UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2016, 41, 835–842.

Eisenbeiss, H. UAV Photogrammetry. Curych., DISS. ETH NO. 18515. ETH Curych, 2009.

Everaerts, J., 2008. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 (2008): 1187-1192.

Marques, H. G., Penatti, N. C., Paranhos Filho, A. C., Froehlich, O.; De Almeida, T. I. R., Shimabukuro, Y., 2011. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30 de abril a 5 de maio de 2011, Anais... INPE, v. 1, p. 1271 – 1278. 2011

Pinto, R. C., Passos, E., Caneparo, S. C., 2014. Movimentos de Massa como Processos Naturais de Evolução das Encostas, Estudo de Caso: Bacia do Rio Jacareí, Municípios de Morretes e Paranaguá-PR. *Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia* 6.1 (2014): 23-45.

SAUSEN, T. M., LACRUZ, M. S. P., (2015). Sensoriamento remoto para desastres. São Paulo: Oficina de Textos.

Topodata - Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php>. Acesso em 14 de Outubro de 2016

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., and Reynolds, J. M., 2012. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology*, 179, 300–314, 2012