

GERAÇÃO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS A PARTIR DO USO DE ARP EM UMA REGIÃO DE RISCO DE INUNDAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOSÉ PEREIRA

Júlia Ramos da Silva Carvalho¹ (IC), Samara Calçado de Azevedo (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Aerofotogrametria. ARPs. Inundação. Pontos de apoio.

Introdução

Ao longo da história, as atividades humanas têm exercido uma influência significativa sobre o meio ambiente, resultando em impactos que se estendem pelos âmbitos ambiental, econômico e social ao redor do mundo (SHUKLA et al., 2022).

Uma consequência que vem sendo observada da falta de planejamento para ocupação do território é a ocorrência de inundações urbanas. Estas têm-se mostrado um problema sério e recorrente nas cidades, principalmente com o aumento na ocorrência de eventos extremos. Economicamente, as inundações podem causar destruição de estradas, pontes e edificações, resultando em altos custos de reparação e perda de bens (SOUZA, 1996). Ambientalmente, esses eventos promovem a degradação de ecossistemas, a erosão do solo e a contaminação de corpos d'água, afetando a biodiversidade local (SANTOS, 2012). Do ponto de vista social, as inundações podem levar ao deslocamento de comunidades inteiras, exacerbando desigualdades e aumentando a vulnerabilidade de populações já marginalizadas (TUCCI, 2003). Diante disso, torna-se crucial o desenvolvimento de tecnologias e metodologias capazes de mapear e monitorar áreas suscetíveis a inundações.

Nesse cenário, a aerofotogrametria, realizada com Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), emerge como uma solução promissora para o estudo e monitoramento de áreas sujeitas a inundações. O uso de ARPs na aerofotogrametria tem se mostrado eficaz em projetos de monitoramento ambiental e mapeamento de áreas de risco, como é o caso das inundações urbanas (GUIMARÃES et al., 2023). As imagens capturadas por essas aeronaves permitem a análise detalhada do relevo e da ocupação do solo, proporcionando uma base sólida para várias análises (YAO et al., 2019). Além disso, os dados obtidos por ARPs podem ser integrados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), facilitando a elaboração de mapas de risco e planos de contingência para as áreas vulneráveis.

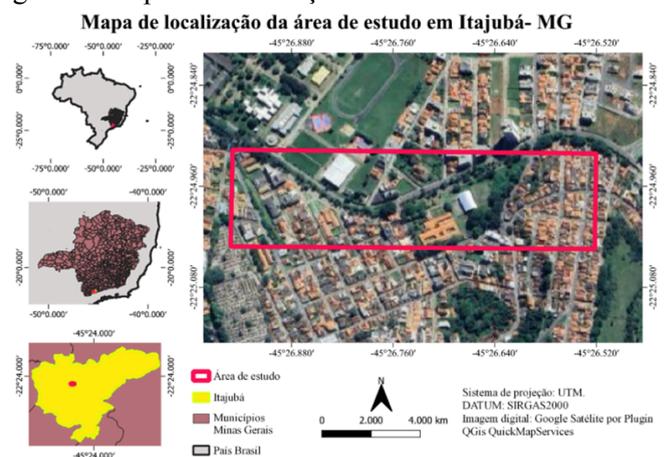
Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar a geração de produtos cartográficos, por meio da aerofotogrametria com ARP, na região da sub-bacia do Ribeirão José Pereira, haja vista que esta área apresenta

frequentes episódios de inundações, agravadas por intervenções em seu curso natural, como a retificação para permitir a expansão urbana e pontos de estrangulamento da vazão que em eventos de cheia causam inundações e alagamentos (CARVALHO, 2012). Uma metodologia de aquisição e processamento baseado na área de estudo foi desenvolvida, uma vez que trata-se de área com topografia variada e assim, procurou-se compreender os parâmetros que influenciam a aquisição e o processamento dos dados coletados por meio de ARP. Por fim, os produtos cartográficos gerados como ortofotos, modelo digital de superfície e de terreno (MDS e MDT) foram avaliados e verificados para servirem de subsídios para posteriores trabalhos acerca do estudo de inundações nessa região da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão José Pereira, localizada no município de Itajubá.

Metodologia

As áreas de estudo foram selecionadas devido ao fácil acesso com os equipamentos para a aquisição de dados e imagens, e sua localização em pontos com inundações recorrentes, o que permite uma posterior análise detalhada dos padrões de inundação, das causas subjacentes e dos impactos ambientais e socioeconômicos resultantes desses eventos. Todas as áreas de voo estão localizadas dentro da área urbana da Sub-bacia do Ribeirão José Pereira localizado no município de Itajubá-MG, mais especificamente em frente ao campus da UNIFEI (Figura 1).

Figura 1- Mapa de localização



Ao total, foram feitos cinco voos na área urbana do Ribeirão José Pereira localizado em Itajubá-MG. As áreas de voo foram determinadas, por meio do aplicativo *Google Earth*, tendo como base a capacidade da bateria do drone e com sobreposição entre as áreas de aproximadamente 45 metros, e o plano de voo foi feito no aplicativo *DroneDeploy*. A autorização de voo foi obtida junto aos órgãos competentes e assim, foram feitos três dias de voos em épocas diferentes para aquisição de dados das cinco áreas de estudo diferentes, sendo que todos foram realizados com sobreposição das imagens de 80% por 80% e altura de 100 metros.

Para o processamento das imagens é necessário uma referência em relação à posição geográfica e altitude para garantir a precisão do mapeamento. Assim, coletou-se com o equipamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) no modo estático, pontos de apoio naturais, ou seja, já presentes no terreno que foram selecionados de modo a atender toda a área de estudo. Ao todo foram coletados 45 pontos para as 5 áreas de voo (Figura 2). A distribuição dos pontos foi de maneira a contemplar toda a área e a escolha deles foi em função da sua visualização na imagem, ou seja, pontos naturais que se destacam como quinas de calçadas, linhas divisórias de quadras, faixas de pedestres, etc, além da fácil aquisição das coordenadas nesses locais.

Figura 2- Distribuição do pontos de apoio coletados na área de estudo



O processamento das imagens consiste primeiramente em uma etapa de pré-processamento (Figura 3), processamento e confecção dos produtos cartográficos (Figura 4), para isso utilizou-se o *software Agisoft Metashape*. O *software Google Earth* também foi utilizado para fins de planejamento e checagem de informações da área.

Por fim, após as duas etapas do processamento dos dados, realizou-se a exportação de cada produto cartográfico para que fosse possível utilizá-los futuramente em outros programas. Além disso, utilizando o *software QGIS*, realizou-se uma comparação entre as coordenadas dos pontos de apoio e do MDT

gerado com as coordenadas de pontos já levantadas em trabalhos anteriores com o GNSS na mesma região, a fim de verificar se haveria uma variação entre os dados processados.

Figura 3- Fluxograma das etapas do pré-processamento

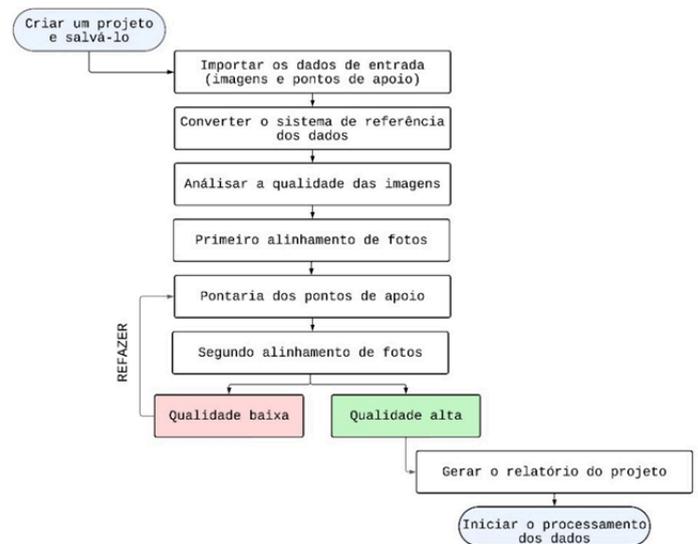
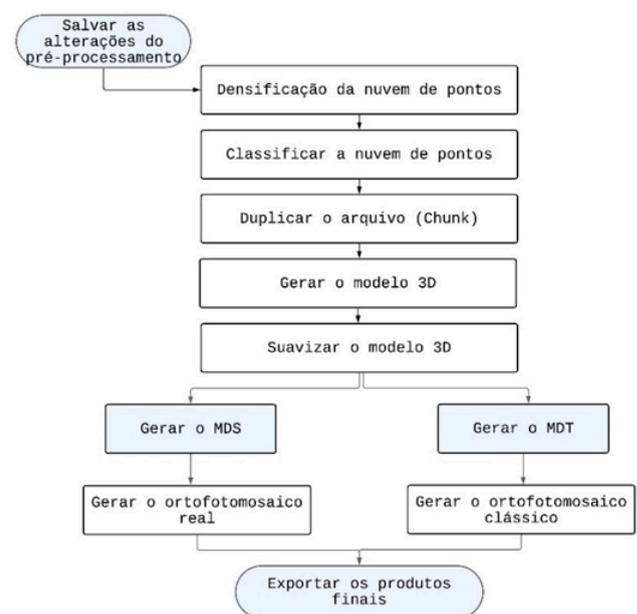


Figura 4- Fluxograma das etapas do processamento



Resultados e discussão

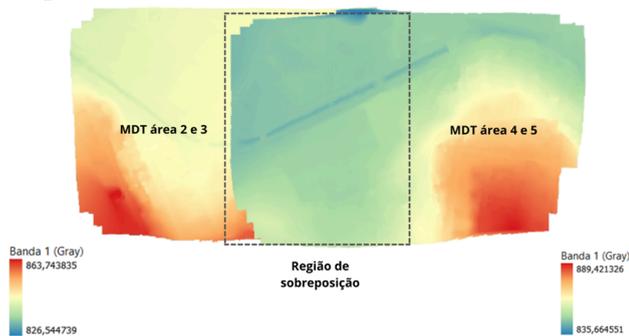
Realização dos voos e processamento dos dados

Os 5 voos foram realizados entre dezembro de 2023 a junho de 2024 e resultaram em média, cerca de 200 fotos por voo. Após a aquisição das imagens, realizou-se o processamento. Durante o processamento, percebeu-se que alguns pontos de apoio, especialmente aqueles situados em bocas de lobo, bueiros e posicionados abaixo de postes e fiação, apresentaram problemas de identificação significativos. Esses locais

mostraram-se problemáticos para a etapa de pontaria dos pontos de apoio em todos os processamentos devido à dificuldade de identificar com precisão o centro do alvo de coleta. Em virtude dessas dificuldades, vários pontos de apoio foram descartados durante a fase da pontaria e da avaliação da qualidade do projeto. Essa etapa de seleção foi fundamental para assegurar que os pontos de apoio restantes contribuíssem positivamente para a precisão e dos resultados finais do estudo. Em geral, os resultados de qualidade do relatório de processamento obtido do software ficaram em torno de 5 a 11 cm na planimetria e de 7 a 14 cm na altimetria para os 5 voos realizados.

A Figura 5 apresenta o resultado do MDT para as áreas. A partir das análises sobre os mosaicos, notou-se uma diferença de altitude na área de sobreposição entre os MDTs (Figura 5), o que pode estar relacionado aos erros planialtimétricos de cada processamento individualizado.

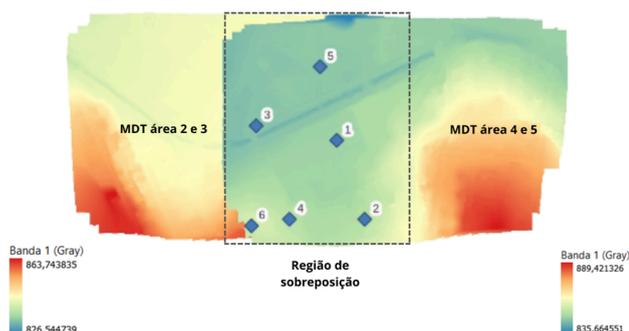
Figura 5- Variações de altitude entre áreas de sobreposição no MDT



Análise e verificações de coordenadas

Devido às variações de altitude observadas visualmente entre os modelos (Figura 5), fez-se uma comparação entre as coordenadas de pontos arbitrários (Figura 6), definidos aleatoriamente, presentes na região de sobreposição dos MDTs para avaliar a variação entre eles.

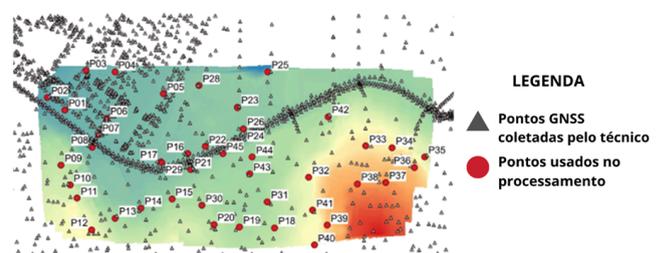
Figura 6- Pontos selecionados para comparação de coordenadas entre os MDTs



Comparando as coordenadas entre o MDT das áreas 2 e 3 com o MDT das áreas 4 e 5, percebe-se que há compatibilidade entre os valores de altitude, com erros da ordem de mm a cm na maioria dos pontos analisados. Mais uma vez, observa-se maiores variações altimétricas para os pontos de maiores altitudes, como o caso do ponto 6 que apresentou uma diferença de 3,6 metros de diferença. Este fato pode estar relacionado a própria área de estudo que contempla uma geometria complexa e também por esses pontos estarem nas extremidades do mosaico, gerando distorção de perspectiva. Ademais, ao concluir os processamentos e analisar os produtos de forma mais detalhada, constatou-se que as variações obtidas nos produtos podem estar associadas aos pontos de controle diretamente, pois foram observadas divergências entre coordenadas de pontos na mesma área.

Verificou-se então que na exportação dos dados GNSS processados entre os sistemas de coordenadas WGS-84 e SIRGAS 2000-UTM 23S, houve uma divergência entre coordenadas na ordem de 1,5 metros nas coordenadas dos pontos de apoio utilizados no processamento. Após isso, fez-se, também, uma comparação entre as coordenadas dos pontos de apoio utilizadas no processamento com as coordenadas levantadas com o GNSS em outra época na mesma região (Figura 7) pelo técnico do Laboratório de Informações Hídricas da UNIFEI, a fim de compreender a diferença entre as posições e avaliar a discrepância dos erros. Vale ressaltar que os pontos dessa análise não correspondem ao mesmo local exatamente, tendo esta comparação um foco principal na análise das coordenadas altimétricas, dessa forma, selecionou-se pontos em área próxima e aproximadamente plana.

Figura 7- Posição dos pontos coletados por GNSS em outra época na região de estudo sobre o MDT gerado



Da análise comparativa, foi possível perceber que as diferenças em módulo na região mais plana foram de 1 a, no máximo, 4 metros aproximadamente, o que sugere que os pontos não deveriam apresentar divergências ou deveriam ser muito pequenas. No entanto, em regiões mais altas, por exemplo no ponto 36, foi observado uma diferença de 20 metros, indicando

novamente problemas nos pontos de apoio que acarretaram em variações no MDT.

Produtos cartográficos finais

Após a finalização de todos os processamentos, no *software* QGis versão 3.34, fez-se a junção dos arquivos de MDT (Figura 8) e ortofoto (Figura 9) para formar um mosaico de toda a área. Além disso, vale ressaltar que os MDTs apresentaram um pixel entre 9 a 12 cm e os ortofotomosaicos resultaram em um GSD de 2,4 a 3 cm, sendo estes gerados a partir do MDT de cada área. Os resultados são de grande importância para estudos e aplicações na bacia, dado a alta resolução espacial e detalhamento proporcionado, o que contribuirá tanto para a geração de manchas de inundação mais precisas e estudos de planejamento mais adequados.

Figura 8- MDT de todas as áreas



Figura 9- Ortofotomosaico de todas as áreas



Conclusões

Este trabalho evidencia a necessidade de estudos que gerem produtos de alta precisão e detalhamento em áreas urbanas, para planejamento e desenvolvimento de ações para gerenciamento de desastres, como é o caso de inundações. Além disso, mostrou a importância de selecionar meticulosamente os pontos de apoio no processamento aerofotogramétrico, para que estes não interfiram na qualidade final dos produtos.

Os modelos gerados durante o processamento apresentaram erros centimétricos nas áreas específicas, com destaque para discrepâncias altimétricas. Esses erros de precisão dos modelos estão, possivelmente, relacionados à natureza do terreno, que apresenta uma grande variação de altitude, e às condições de coleta de dados com o GNSS. Apesar da presença desses erros e da diferença entre um processamento e outro, percebeu-se que os MDTs gerados são compatíveis entre si para os valores de altitude, haja vista que os erros foram da ordem de mm a cm na maioria dos pontos analisados. Pode-se concluir que os produtos gerados

possuem qualidade para determinadas aplicações, uma vez que os MDTs disponíveis gratuitamente e que são usados para estudos de inundações urbanas, muitas vezes possuem resolução espacial na ordem de 30 metros, o que pode acarretar em subamostragem e perda de detalhamento da área de estudo.

Dessa maneira, para futuros trabalhos recomenda-se reprocessar os dados com a correção das coordenadas dos pontos de apoio no sistema adequado e incluir outros pontos pertinentes. Além disso, recomenda-se aprimorar a seleção da localização deles a fim de evitar problemas de identificação de centro de alvo e de descarte de pontos, evitando pontos que sofrem com efeito de sombras, como abaixo de postes e em bocas de lobo, para aumentar a acurácia dos produtos finais gerados, e diminuir os erros planialtimétricos de centímetros para milímetros.

Agradecimentos

Agradeço o apoio recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC). Sou grata também à Universidade Federal de Itajubá, à minha orientadora Samara Calçado de Azevedo pela oportunidade de aprendizado e enriquecimento acadêmico e ao técnico André Luiz Vieira Barouch e Alexandre Germano pelo auxílio com as atividades práticas em laboratório.

Referências

- CARVALHO, P. S. R. Estudo da propagação de ondas de cheias no Ribeirão José Pereira, em Itajubá, utilizando HEC-RAS. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos), UNIFEI, 2012, 109f.
- GUIMARÃES, M. J. M.; et al. Acurácia planimétrica de ortomosaico produzida com imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada. *Revista Brasileira de Geomática*, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 501-516, jun. 2023.
- SANTOS, K. R. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. *Élisée - Revista de Geografia da UEG*, Goiás, v. 1, n. 1, 2012.
- SHUKLA, P. R. et al. Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, v. 10, p. 9781009157926, 2022.
- SOUZA, C. R. de G. Cartografia de risco à inundação no Litoral Paulista: o exemplo do município de São Sebastião. Departamento de Geotecnia (USP), departamento de Geologia Aplicada (Unesp), 1996.
- TUCCI, C.E.M. Águas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M e BERTON, J.C. (Org). Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- YAO, H. ; QIN, R.; CHEN, X.. Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications: A Review. *Remote Sensing*, 18 jun. 2019.