



UTILIZAÇÃO DE VANTS DE PEQUENO PORTE EM ESTUDOS DE ROMPIMENTO DE BARRAGENS

Arthur da Fontoura Tschiedel¹, Vinícius Quadros de Oliveira², Rodrigo Cauduro Dias de Paiva³

Resumo – A intensificação do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) nos últimos anos é notória, devido à popularização dos mesmos em meio a sociedade civil. Dentre as diversas aplicabilidades de VANTS na área da engenharia pode ser destacada a geração de informações topográficas a baixo custo, a partir do levantamento de seções transversais em cursos hídricos de pequeno porte. Este tipo de técnica pode ser utilizada para subsidiar estudos de rompimento de barragens e atender legislação federal específica, facilitando a obtenção de informações em locais muito declivosos e de difícil acesso. Esta metodologia foi demonstrada neste trabalho, em que se realizou o levantamento, com VANT de pequeno porte (Phantom II, da empresa DJI, com uma GoPro Hero2+ embarcada) de quatro seções em rio a jusante de uma UHE. Mostrou-se, portanto, que a utilização de VANTS de pequeno porte e baixa autonomia pode contribuir significativamente em estudos de rompimento de barragens carentes de dados topográficos.

Palavras-Chave – Modelo Digital de Superfície; Drones; Rompimento de Barragens

USE OF SMALL-SCALE UAVS IN DAM-BREAKING STUDIES

Abstract – The intensification of the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in recent years is notorious, due to their popularization among civil society. Among the various applications of UAVs in the engineering area, it is possible to highlight the generation of topographic information at a low cost to cross sections in small hydrological courses. This type of technique can be used to support studies of dam breaking and to comply with specific federal legislation, making easier the obtaining of information in very declining and difficult to reach places. This methodology was demonstrated in this work, in which a small UAV (Phantom II, from the company DJI, with a GoPro Hero2 + onboard) was studied in four sections downstream of a Dam. It has been shown, therefore, that the use of small-scale and low-autonomy UAVs can contribute significantly in studies of dam break lacking of topographic data.

Keywords – Digital Surface Model; Drones; Dam Break

1 INTRODUÇÃO

Uma das situações observadas no escopo do gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros refere-se à intensificação da presença de barragens em solo nacional. Isto ocorre devido a diversos fatores, que vão desde a necessidade de aumento do parque energético brasileiro até a necessidade de abastecimento da população. O número de maciços presentes no Brasil, mapeados até o ano de 2015, era de 17.256 barragens, segundo o Relatório Anual de Segurança de Barragens de 2015 (ANA, 2016), que considera tanto barragens utilizadas para fins energéticos e abastecimento como também utilizadas para aquicultura, captação de água, regularização, uso industrial e estocagem de

¹* Universidade Federal do Rio Grande do Sul – arthurtidel@hotmail.com

² Companhia Estadual de Energia Elétrica - viniciuso@ceee.com.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – rodrigocdpaiva@gmail.com

resíduos. Alguns autores como Menescal (2005), por outro lado, estimam algo em torno de 300.000 barramentos existentes no Brasil.

Como possíveis rompimentos destas estruturas estão atrelados a altos riscos para a sociedade, percebeu-se a necessidade de regulação do setor, que veio com a Lei 12.334, que instaura a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (BRASIL, 2010). Esta regulação prevê, então, que uma das formas de proteger os cidadãos que moram a jusante de barramentos é justamente saber como a onda de cheia proveniente de um hipotético rompimento irá se comportar. E para este tipo de estudo, são aplicados modelos de simulação hidráulica, como por exemplo o Hec-Ras (Rocha *et al.*, 2015) e DAMBRK (Collischonn & Tucci, 1997). Entre os principais dados de entrada utilizados nestes estudos se encontra a topografia do vale de jusante, uma informação importante cuja variação em pequena escala pode alterar significativamente os resultados obtidos através da simulação, dependendo do tipo de vale estudado (Tschiedel, 2017).

Dentre as diversas formas de se obter a topografia do vale de jusante da barragem podem ser destacadas quatro, segundo Tschiedel (2017): (i) Métodos convencionais, representados por levantamentos *in situ* com GPS de alta precisão; (ii) Utilização de sensor LiDAR (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) embarcado em aeronaves de pequeno porte; (iii) Utilização de técnicas de aerofotogrametria aliadas a fotografias aéreas sequenciais, obtidas a partir de aeronaves de pequeno porte e; (iv) Utilização de dados orbitais oriundos de missões como, entre outras, o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), AW3D30, TANDEM-X e DIGITAL GLOBE DSM.

Em meio a estas quatro formas de se obter dados da topografia, o modo convencional ainda é vastamente utilizado por empresas, visto ser muitas vezes o mais barato (pelo fato de muitas empresas que necessitam destas informações já terem hidrotécnicos e técnicos em cartografia no quadro de funcionários) e consolidado no mercado. Desse modo, para estudos de rompimento de barragens normalmente são levantadas algumas seções transversais a jusante do barramento para representar a topografia. A obtenção destas informações, por outro lado, pode ter como fator complicador o difícil acesso a determinadas áreas, que porventura possam se localizar em meio de mato fechado e em terrenos de altas declividades.

Paralelamente a este problema, observa-se nos últimos anos uma intensificação no mercado mundial e brasileiro, de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) de baixo custo. Num primeiro momento, a utilização deste tipo de equipamento ocorria na área da engenharia para, entre outros, estimar índices de vegetação para a agricultura e se obter informações topográficas, como demonstrado por Flenner *et al.* (2013) e Leitão *et al.* (2016). Num segundo momento, VANTs tem sido utilizado para observação de outras variáveis hidrológicas, como vazão (Tauro *et al.*, 2016), evapotranspiração (Hoffmann *et al.*, 2016), cotas máximas (Bandini *et al.*, 2016a) e interação entre água superficial e subterrânea (Bandini *et al.*, 2016b). O potencial de utilização desta tecnologia, em conjunto com novos satélites e smartphones gera, portanto, perspectivas muito positivas para o futuro da hidrologia e hidrometria, segundo McCabe *et al.* (2017).

Sob esta perspectiva, este trabalho tem o intuito de apresentar uma metodologia que utiliza dados gerados por VANTs em levantamento de seções topográficas a jusante de barragens a fim de subsidiar estudos de rompimento. Estes dados gerados podem ser utilizados para melhor estimar seções transversais a serem inseridas em modelos de rompimento unidimensionais ou podem ser utilizados para melhorar Modelos Digitais de Elevação obtidos por meio de sensoriamento remoto definidos como dados de entrada em modelos de rompimento bidimensionais.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área utilizada para realizar este estudo é referente à UHE Canastra, usina hidrelétrica de derivação localizada no alto da bacia do Rio Paranhana, mais especificamente no Rio Santa Maria, no município de Canela, no Estado do Rio Grande do Sul. A usina tem uma potência total de 44 MW, representados por duas turbinas Francis de eixo horizontal de 22 MW cada. O reservatório, com área superficial de aproximadamente 0,05 km² e com volume útil da ordem de 0,37 hm³ (CBDB, 2011) é constituído a partir de uma barragem do tipo Ambursen em concreto armado, com altura máxima de 26 metros e comprimento de 179 metros (CEEE, 2011). A Figura 1a mostra uma imagem de satélite da barragem e de seu reservatório, enquanto que a Figura 1b mostra detalhes dos contrafortes da ombreira esquerda, em fotografia obtida a partir do uso de um VANT.



Figura 1 – UHE Canastra

O trecho do rio Santa Maria estudado se encontra entre dois reservatórios: O de Canastra, a montante e o de Laranjeiras, a jusante, perfazendo em torno de 10 km de comprimento e 35m/Km médios de declividade ao longo do curso hídrico, para 4 seções localizadas conforme o mapa da Figura 2.



Figura 2 – Área de Estudo: Rio Santa Maria

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A aerofotogrametria, segundo Jensen (2009) “... é a arte e a ciência de realizar medições precisas por meio de fotografias aéreas...” e pode ser utilizada para obtenção de Modelos Digitais de Superfície de determinadas áreas com alta acurácia. A exatidão de MDSs obtidos por aerofotogrametria é dependente diretamente do sensor utilizado para captar as imagens, sendo necessário que as imagens estejam com pelo menos 60% de sobreposição lateral (Linder, 2003) para que haja pelo menos 1 par estereoscópico no processo.

A utilização de aerofotogrametria e geração de informações altimétricas sempre foi vinculada a pequenas aeronaves tripuladas que são utilizadas para levar as máquinas fotográficas até a altitude desejada (Jensen, 2009). Esta técnica, apesar de historicamente estar sempre atrelada a altos custos operacionais, permite a realização uma varredura completa da área de estudo, que é possível graças à autonomia das aeronaves utilizadas. Um exemplo deste tipo de levantamento aerofotogramétrico é

apresentado na Figura 3, que apesar de ilustrar apenas as porções próximas da barragem de Canastra, contempla toda a área de estudo apresentada na Figura 2 (AEROGEO, 2001).

Nesse sentido, nos últimos anos o advento dos VANTs de baixo custo admitiu que fossem embarcadas câmeras fotográficas com determinadas características que permitissem a obtenção de fotografias sequenciais, gerando, portanto, um potencial de obtenção de informações topográficas de determinado local sem que fossem necessários grandes investimentos. Entretanto, diferentemente da utilização de tecnologia embarcada em aeronaves tripuladas, os produtos topográficos gerados a partir de VANTs de baixo custo ficam atrelados a escalas muito mais locais, não sendo possível até o momento realizar mapeamentos em grandes áreas com equipamentos de pequeno porte.

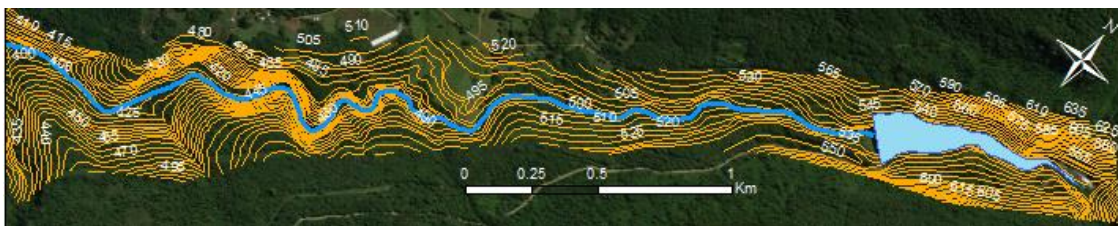


Figura 3– Levantamento Topográfico a Jusante da Barragem de Canastra

Isto leva a pensar que esta tecnologia pode ser utilizada não para o levantamento de toda a bacia, mas sim para o levantamento de seções de interesse de difícil acesso, principalmente em pequenos cursos hídricos.

A geração de informações topográficas a partir de imagens sequenciais obtidas por VANTs se tornou possível a partir da parametrização do algoritmo SIFT (*Scale Invariante Feature Transform*), que consegue identificar mesmas feições para diferentes ângulos de visada e diferentes padrões de inclinação. Antes da utilização deste algoritmo, a geração de informações topográficas a partir do uso de VANTs não era possível devido às turbulências que ocorrem durante o voo, que resultavam em fotografias sequenciais com diferentes inclinações. O algoritmo SIFT, segundo Silveira (2008) foi proposto por Lowe (2004), com o propósito de ser empregado na área da robótica e é atualmente utilizado por diversos setores, desde a elaboração de jogos de videogame (Kontogianni *et al.*, 2015) até utilização por arqueologistas (Verhoeven, 2011). Ele é invariante quanto à escala de rotação e parcialmente invariante quanto à iluminação. A implantação deste algoritmo em alguns *softwares*, como por exemplo o Agisoft Photoscan, permitiu obtenção rápida e automática da estereocorrelação de imagens sobrepostas, em porções sequenciais ortoretificadas. Assim torna-se possível calcular a paralaxe (e correspondente elevação) associada a cada novo ponto do modelo estéreo (Jensen, 2009) formado por fotografias aéreas fornecidas por VANTs.

Desse modo, nos dias 09 e 10 de agosto de 2016 foi realizada uma campanha de campo ao longo dos 10 km de Rio Paranhana que teve como objetivo levantar seções topográficas ao longo do trecho analisado para subsidiar um estudo de rompimento de barragem. O levantamento das quatro seções apresentadas na Figura 2 foi realizado de uma Estação Total e GPS RTK (*Real Time Kinematic*) e um VANT Phantom II, da empresa DJI, com uma Go-Pro Hero3+ acoplada, apresentado no detalhe da Figura 4. A Estação Total foi da marca Topcon, modelo GPT 7501, com precisão angular de 1", enquanto que o GPS RTK também foi da marca Topcon, modelo GR 3, de 72 canais e constelações GPS e GLONASS, com precisão horizontal de 10mm e vertical de 15mm.

A criação de Modelos Digitais de Superfície a partir de fotografias aéreas obtidas por VANTs utilizando o software Agisoft Photoscan ocorre a partir diversas etapas. A etapa prévia mais importante ao voo propriamente dito resume-se à identificação das coordenadas x,y,z de pontos de controle espalhados no terreno que se deseja mapear, que podem ser, por exemplo, cartolinas

brancas espalhadas pelo chão. Após esta etapa, com os pontos de controle fixados, deve ser realizado o voo no local, mantendo-se, sempre que possível, uma velocidade e altitude constante. Inseridas as imagens dentro do software Agisoft Photoscan, deve-se proceder com comandos que não são aprofundados no âmbito deste trabalho, mas que podem ser facilmente encontrados em Agisoft (2016). A título de exemplificação, a Figura 4 destaca também a localização dos pontos de controle utilizados no levantamento topográfico realizado na Seção 01, ou seja, no pé da barragem da UHE Canastra. Para esta seção, foram utilizados 8 pontos de controle e 709 fotografias aéreas. Para a seção 02, foram utilizadas 310 imagens e 4 pontos de controle. Para a seção 03 foram utilizadas 514 fotografias e 9 pontos de controle. Por fim, para a seção 04 foram utilizadas 402 fotografias e 4 pontos de controle.



Figura 4– Pontos de Controle utilizados na Barragem de Canastra

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação das técnicas aqui apresentadas, foram obtidos os Modelos Digitais de Superfície (MDS) para cada uma das seções estudadas. Estes MDSs, em conjunto com as imagens ortoretificadas das seções são apresentados nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Ao contrário do levantamento topográfico convencional, que gera um único perfil longitudinal em forma de linha, para uma dada seção, a utilização em conjunto de um VANT de baixo custo permite a obtenção de um MDS mais representativo da área em estudo, podendo essa informação ser inserida como seção de controle em MDEs gerados a partir de sensores orbitais. A resolução espacial dos quatro MDS gerados girou em torno de 10cm, enquanto que o total de área mapeada com o VANT neste trabalho foi aproximadamente 7,7 hectares, distribuídos da seguinte forma: Para a seção 01, foram levantados 1,4 hectares. Para a segunda seção, 1,1 hectare, enquanto que para a seção 3 mapeou-se em torno de 2,3 hectares. Para a última seção foi mapeado em torno de 2,9 hectares.

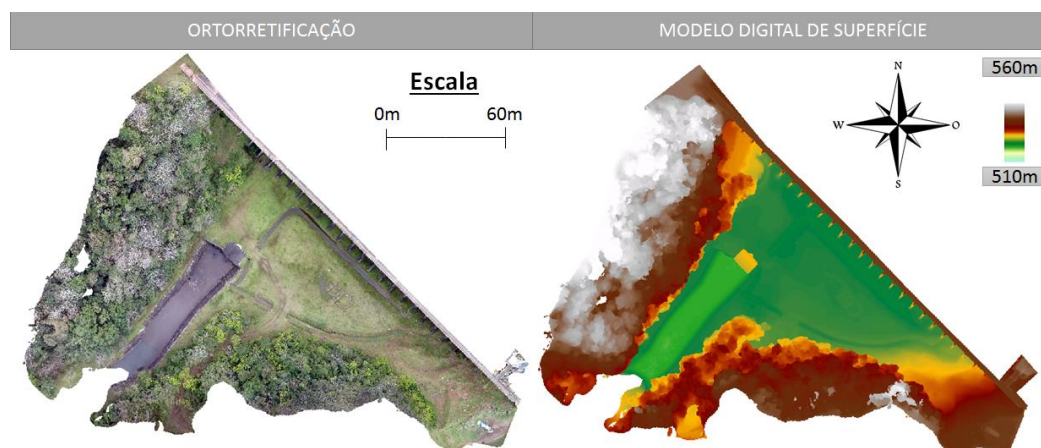


Figura 5 – Seção 01

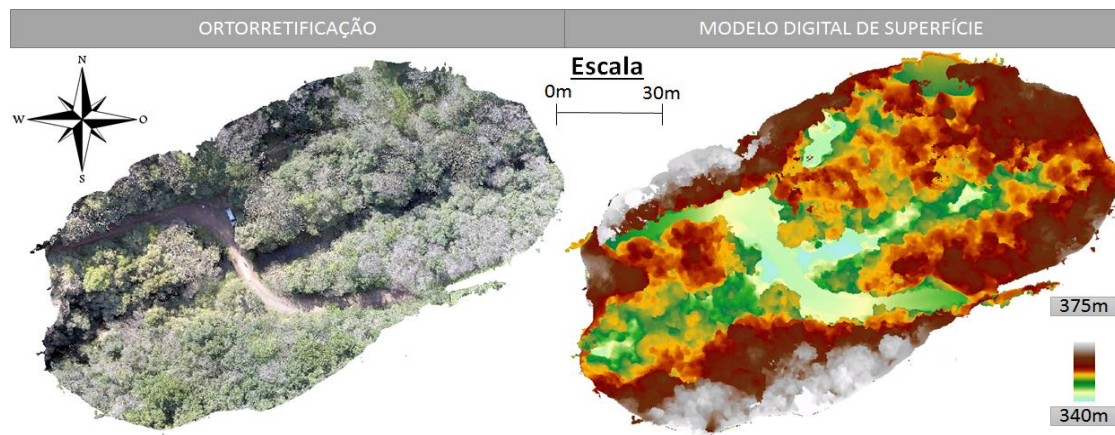


Figura 6 – Seção 02

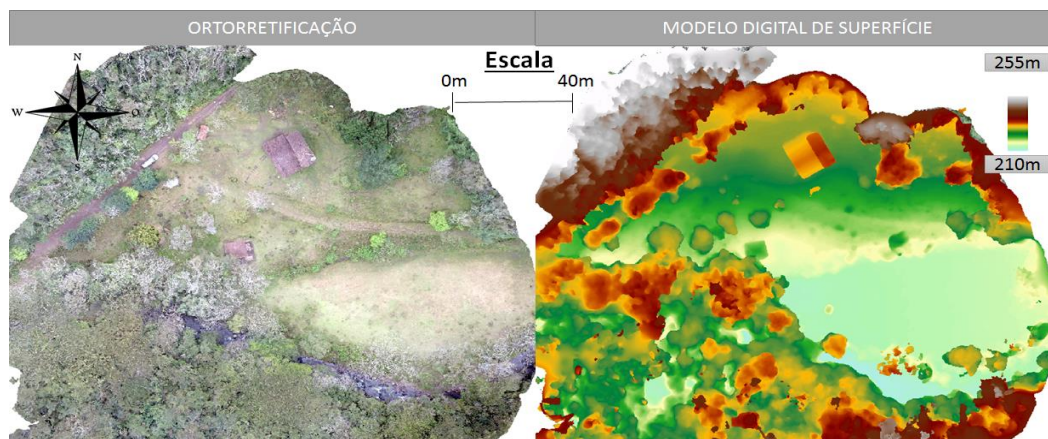


Figura 7 – Seção 03

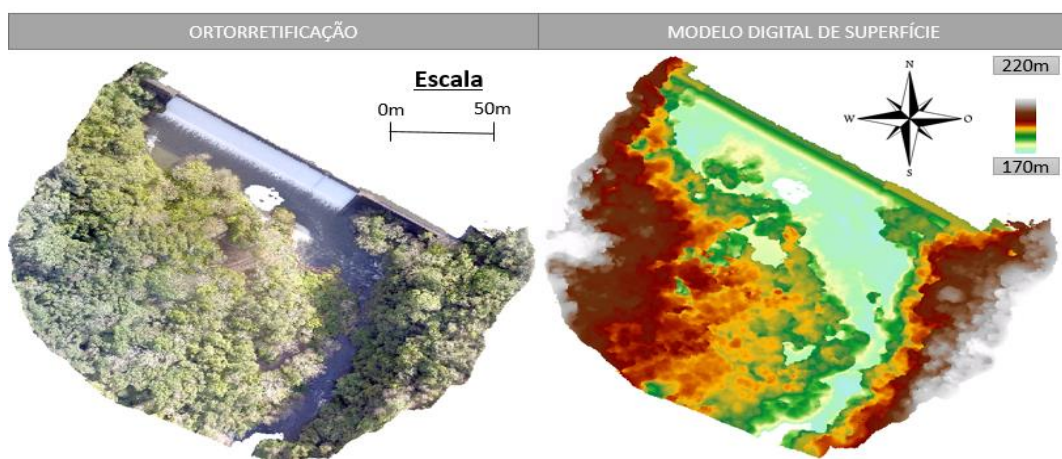


Figura 8 – Seção 04

A partir dos Modelos Digitais de Superfície obtidos foi possível extrair uma seção transversal para cada um dos 4 locais avaliados e comparar estas seções com os resultados apresentados por AEROGEO (2001). Esta comparação é apresentada na Figura 9, em que é possível observar uma coerência relativa entre os dois produtos. Deve ser destacado, entretanto, que as diferenças

observadas entre as cotas médias (em média, a campanha com o VANT apresenta uma cota 10 metros menor) dos gráficos ocorreu devido a diferença do *datum* vertical adotado em ambas campanhas de campo.

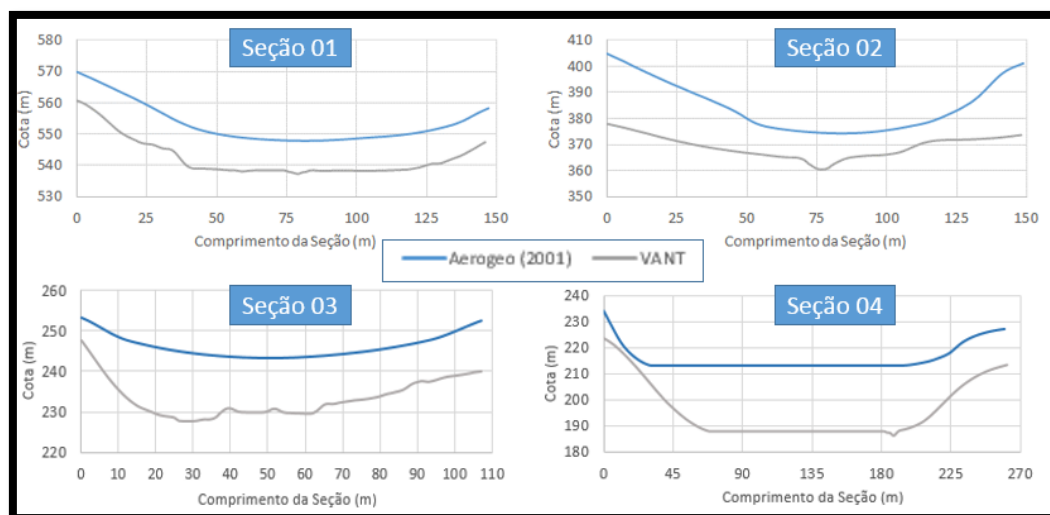


Figura 9 – Comparação Entre Seções

CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou a viabilidade de utilização de VANTs de pequeno porte para subsidiar dados topográficos em estudos de rompimento de barragens, mostrando-se resultados obtidos em agosto/2016, a partir de voos de um VANT Phantom II, para diferentes trechos do Rio Santa Maria e comparando-os com produto aerofotogramétrico de menor acurácia gerado no ano de 2001. A utilização de VANTs nestes estudos se mostra como uma ferramenta muito útil que tem grande potencial para se tornar, num futuro próximo, uma das principais formas de se obter dados de topografia em locais de difícil acesso. Não só para subsidiar estudos de rompimento de barragens, mas também para fornecer dados topográficos que podem ser utilizados em diversos outros tipos de projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROGEO. Levantamento Topográfico do Rio Santa Maria. Relatório Técnico. 2001.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). Relatório de Segurança de Barragens 2015. Superintendência de Regulação (SRE). Brasília, DF. 2016.
- AGISOFT. Agisoft Photoscan User Manual. Professional Edition, Version 1.2. AgisoftLLC. 2016.
- BANDINI, F.; OLESEN, D.; JACOBSEN, J.; GUTIERREZ, J.A.R.; GOTTWEIN, P.B. (2016a). Measuring orthometric water heights from lightweight Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In Anais do Geophysical Research Abstracts EGU General Assembly 2016.
- BANDINI, F.; BUTTS, M.; JACOBSEN, T. V.; GOTTWEIN, P.B. (2016b). Water level observations from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for improving probabilistic estimations of interaction between rivers and groundwater. In Anais do Geophysical Research Abstracts EGU General Assembly 2016.
- BRASIL. Lei n. 12.334, de 20 de setembro de 2010. Política Nacional de Segurança de Barragens Diário Oficial da União, Brasília, 20 set. 2010.

- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (1997). Análise do Rompimento hipotético da barragem de Ernestina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 2 n.2 Jul/Dez 1997, 191-206.
- COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB (2011). *A História das Barragens no Brasil: Séculos XIX, XX e XXI*. Ed. Corrado Piasentin. Rio de Janeiro.
- COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CEEE). *Plano de Uso e Ocupação do Solo no Entorno do Reservatório da UHE Canastra*. Porto Alegre. 2011.
- FLENER, C.; VAAJ, M.; JAAKKOLA, A (2013). Seamless mapping of river channels at high resolution using mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing Journal*. DOI: 10.3390/rs5126382. pp 6382-6407.
- HOFFMANN, H. et al. (2016). Estimating evaporation with thermal UAV data and two-source energy balance models. *Hydrology and Earth System Sciences*. doi:10.5194 pp 697–713.
- JENSEN, J. R. (2009) *Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. Ed. Parêntese. São Paulo
- Kontogianni, G.; Georgopoulos, A. (2015). Exploiting Textured 3D Models for Developing Serious Games. In *Anais do 25th International CIPA Symposium, Taiwan, Agosto de 2015*.
- LEITÃO, J. P.; VITRY, M.; SCHEIDEGGER, A.; RIECKERMANN, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*. doi:10.5194, pp. 1637–1653
- LINDER, W. (2003). *Digital Photogrammetry: Theory and Applications*. Ed. Springer-Verlag. 189p.
- LOWE, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale Invariant Key points. *International Journal of Computer Vision*. DOI:10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94. pp 60-91
- MCCABE MF et al, (2017). The Future of Earth Observation in Hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*. doi:10.5194
- MENESCAL, R (2005). *A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. Ed. ProÁgua. DF.
- ROCHA, F. F. (2015). *Retroanálise da Ruptura da Barragem São Francisco - Mirai, Minas Gerais, Brasil*. 2015. Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- SILVEIRA, M. T.; FEITOSA, R. Q.; JACOBSEN, K.; BRITO, J. L. N. S.; HECKEL, Y. Um método híbrido para localização automática de pontos homólogos em pares de imagens estereoscópicas. In: *Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação*. Recife. 2008.
- TAURO, F.; OLIVIER, G.; PETROCELLI, M.; PORFIRI, M.; GRIMALDI, S. (2016). Flow monitoring with a camera: a case study on a flood event in the Tiber River. *Environmental Monitoring and Assessment*. DOI: 10.1007/s10661-015-5082-5.
- TSCHIEDEL, A. F. (2017). *Avaliação de Incerteza em Estudos de Rompimento de Barragens*. 2017. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre.
- VERHOEVEN, G. (2011). Taking Compute Vision Aloft – Archaeological Three-Dimensional Reconstructions From Aerial Photographs with Photoscan. *Archaeological Prospection*. DOI: 10.1002/arp.399. pp 67 -73