

## **Análise Morfométrica do Perímetro Urbano de Goiás/Rio Vermelho com Dados obtidos por VANT's**

Janete Rêgo Silva<sup>1</sup>  
Leomar Rufino Junior<sup>1</sup>  
Manuel Eduardo Ferreira<sup>1</sup>  
Pedro Alves Vieira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás - UFG  
Instituto de Estudos Socioambientais - IESA  
Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento - LAPIG  
Campus Samambaia, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
{janetegt25, mferreira.geo} @gmail.com, leomar\_jr@hotmail.com

<sup>2</sup>Prefeitura da Cidade de Goiás - Goiás  
Secretaria de Meio Ambiente  
gelpedrovieira@gmail.com

**Abstract.** In recent years, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) has received a major attention on the national scenario as they allow monitoring different areas and scales at a low cost and easy operation. This study aims to describe the application of the UAV in mapping the city of Goiás, more specifically its urban area, in order to assess the impacts resulting from human occupation in the floodplain of the Vermelho river, due to recurring flood events in the region. To conduct this analysis, we employed a Swinglet Cam UAV model, from Sensefly, equipped with GNSS system and digital camera, covering the visible range. A geodetic GPS was employed for collecting control points to improve the accuracy of cartographic products of this UAV. Thus, a partnership between the Image Processing and GIS Laboratory (LAPIG), and Environment Department from the City of Goiás, five aerial surveys were conducted in July 2014, with a total area flown more than 1300 hectares. Among the obtained results, we highlights the urban area and the surrounding region ortomosaics, with spatial resolution of 20 cm, with respective digital elevation models of the surface (MDE). With this methodology and data set, we confirmed the physical characteristics of the upper course of the Vermelho river and its abrupt break near this city, making its velocity flow higher. The elevation gradient in the Vermelho river at the city of Goiás reaches 513 meters, which is possible noted that such variation is a key to the impact of this river flood event.

**Palavras-chaves:** UAV, morphometry, precision, natural disasters, VANT, morfometria, precisão, desastres naturais.

### 1. Introdução

Nos últimos anos, o emprego no Brasil dos chamados Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), a exemplo de outros países como EUA, França e Austrália, vem aumentando significativamente, sobretudo para o mapeamento em grande escala de representação. Com custo relativamente mais baixo que aeronaves tradicionais e boa precisão geométrica, os VANT's têm sido utilizados para diversos fins, como no monitoramento agrícola, mapeamento de infraestruturas, monitoramento de unidades de conservação e também em sítios urbanos (Figueira e Volotão, 2012; Linhares et al., 2013).

Pesquisas recentes demonstram que este tipo de equipamento apresenta uma boa resposta temporal e espacial, podendo empregar vários tipos de câmeras e sensores, desde o visível até o termal. Somado a isto, o mapeamento em alta resolução espacial permite aos pesquisadores e profissionais da área de geotecnologias a tomada de decisões quanto ao uso do solo, por exemplo, com maior fidedignidade.

Mais especificamente no planejamento do uso do solo, eventos caracterizados como desastres naturais já podem ser melhor compreendidos e até evitados com o uso dos VANT's. Como exemplo, cita-se as enchentes no município de Goiás, as quais a cada 10 anos,

aproximadamente, acometem de forma bastante intensa esta histórica cidade, antiga capital do estado de Goiás (Oliveira et al., 2005). Neste caso, têm-se duas vertentes de pesquisas que descrevem este processo como eventos naturais ou como de origem antrópica (Ferreira e Tedesco, 2013). Neste caso, alguns estudos demonstram que a ocorrência desse fenômeno já ocorria antes da ocupação da planície do rio Vermelho, enquanto outros demonstram que as enchentes começaram a partir do desmatamento das margens deste rio para a atividade de pecuária (Aquino et al. 2009). Seja qual for a origem, o levantamento aéreo em elevada escala cartográfica tem indicado parte da solução, ao detalhar a ocupação humana, o relevo e os possíveis processos envolvidos nestes extremos climáticos.

Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar e monitorar, por meio de fotografias aéreas obtidas com um VANT, o sítio urbano de Goiás, buscando descrever os impactos advindos da ocupação humana na planície de inundação do rio Vermelho, haja vista que este corta toda a cidade, com recorrente registro de cheias. A atividade faz parte de um projeto de cooperação com a Secretaria de Meio Ambiente e a Universidade Federal de Goiás/LAPIG.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Área de Estudo**

A área de estudo compreende o perímetro urbano do município de Goiás, tendo por referência a cidade de Goiás, Patrimônio Histórico da Humanidade. A mesma situa-se a 15° 56' 4" de latitude Sul e 50° 08' 25" de longitude Oeste, numa altitude média de 520 m acima do nível do mar, distante da capital do estado (Goiânia) em 134 km.

O sítio urbano tem ao sul o Parque Estadual da Serra Dourada, a leste e norte os morros Dom Francisco e Cantagalo, respectivamente, e a oeste o curso hidrográfico do rio Vermelho, em terreno acidentado, mas sem morros. A área urbana é banhada pelo rio Vermelho, afluente do rio Araguaia, sendo este o principal rio da rede hidrográfica que atravessa a cidade e tem como afluentes, no perímetro urbano, os córregos Manoel Gomes e Prata, e nas proximidades os ribeirões Ouro Fino, Bacalhau e Bagagem, possuindo uma área de drenagem de aproximadamente 5.000 km<sup>2</sup>.

O rio Vermelho nasce na direção nordeste da cidade, antes do perímetro urbano, percorrendo trechos de morros onde seu leito é estreito e encaixado em rocha cristalina (de idade arqueana) com fortes declives. A partir da área urbana, a declividade e a tortuosidade são menores. Nas suas margens foram construídos cais para viabilizar o percurso urbano. Em alguns trechos, os fundos de quintais aproximam-se da margem direita. Há casos em que os alicerces das casas, como a Casa de Cora Coralina (famosa poetisa goiana), foram construídos limitando-se com as águas deste rio.

Sobre as cheias do rio Vermelho, estes eventos estão associados a grandes volumes pluviométricos concentrados numa pequena parcela de tempo, com bastante recorrência, conforme ilustrado na Figura 1. Dessa forma, a vazão do rio aumenta rapidamente, devido principalmente à ocupação urbana na sua planície de inundação. Os impactos associados às enchentes já foram evidenciados por notícias em jornais, como a enchente de 2001, durante a qual foi veiculada como a de maior intensidade em 100 anos de medições da vazão do rio Vermelho (O Popular, matéria de 04 janeiro 2002).

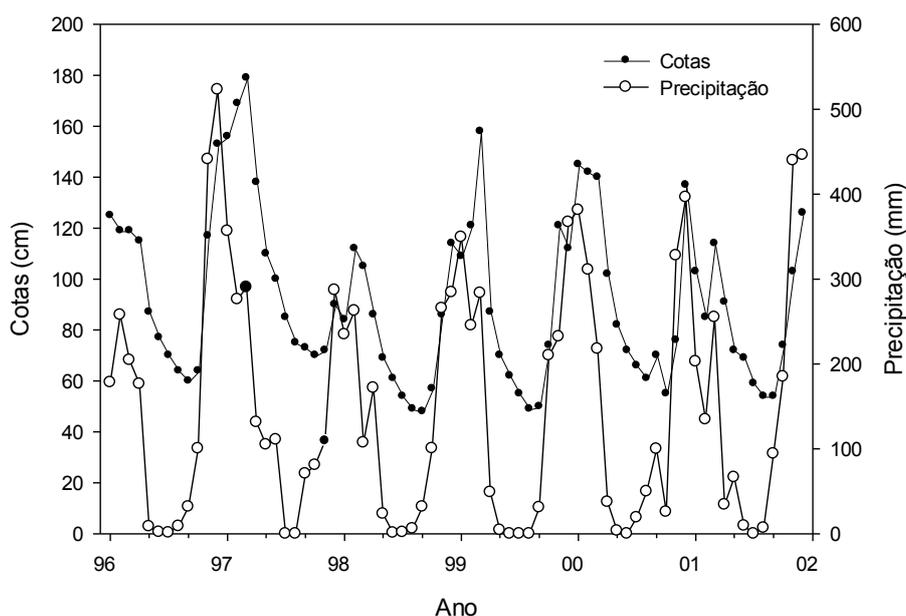


Figura 1. Valores de vazão e pluviosidade medidos na estação Balneário Cachoeira Grande, Cidade de Goiás, entre 1996 e 2002.

No gráfico apresentado na Figura 1, o mesmo traz os dados obtidos na estação Balneário Cachoeira Grande, a 3 km a jusante do sítio urbano, numa série de seis anos de dados em que é possível verificar que os picos da vazão estão associados ao grande volume pluviométrico ocorrido nesta área. Ressalta-se ainda que as enchentes deste rio estão condicionadas a forma de sua bacia hidrográfica, mais precisamente na alta bacia do rio Vermelho, com um índice de circularidade de 0,85 (Cavalcanti et al., 2008). Este índice varia de 0 a 1, de forma que quanto mais próximo a 1 maior a propensão de enchentes na bacia Christofolleti (1988).

Quanto ao relevo, a cidade está localizada nas unidades do planalto do Alto Tocantins-Paranaíba e Depressão do Araguaia. A primeira unidade está sob rochas do grupo Goiás-Velho, e possui relevos serranos de formas aguçadas com vertentes íngremes e/ou convexas, com altitudes que chegam a 1000 metros; já a segunda unidade está sobre as rochas do Complexo Granitóide-Gnáissico, e caracteriza-se pelo relevo arrasado com baixas altitudes, em média 400 metros.

Na depressão do sítio urbano predominava (antes da ocupação humana) o cerrado denso, constituído por floresta ciliar e de encosta ao longo dos cursos d'água. A vegetação natural, de formação rupestre, ainda predomina nos morros e serras do entorno do sítio urbano. Desde o início da ocupação, foram plantadas nos quintais espécies frutíferas vindas de outras regiões, como o cajú, manga, jenipapo e jaca. Até hoje, estas espécies são as mais evidentes nos quintais do espaço urbano.

## 2.2 Equipamentos e procedimentos de análise

O mapeamento do perímetro urbano de Goiás foi realizado em três campanhas de campo, no mês de maio, junho e julho de 2014. O objetivo destas foi coletar dados com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo Swinglet Cam, da empresa Sensefly. Com este veículo aéreo foram realizados seis sobrevôos; destes, cinco recobriram a área urbana do município, com resolução espacial de 20 cm (i.e., GSD de 20 cm), totalizando uma área de 1.386,27 ha, ou cerca de 300 hectares por voo. A altitude média de cada voo foi de 660 metros (Tabela 1). Os sobrevôos foram realizados em horários diurnos, com boa incidência da radiação solar, afim de evitar o efeito de sombras. Cada voo gerou aproximadamente 30

fotografias aéreas, para as quais utilizou-se os programas de processamento de dados Postflight e Pix4D mapper - o primeiro relaciona cada fotografia com sua coordenada geográfica, enquanto o segundo realiza os mosaicos e a geração do Modelo Digital de Superfície.

Tabela 1: Especificações de cada sobrevôo realizado em Goiás.

Vôos	Duração	Atitude média de voo	Overlap lateral	Área de recobrimento	Número de fotografias	Tamanho de pixel (GSD)
1	22 min	660 metros	40%	231.834 ha	24	24,12 cm
2	25 min	660 metros	40%	323.876 ha	26	24,23 cm
3	7 min	660 metros	40%	156.816 ha	17	25,66 cm
4	11 min	660 metros	40%	228.685 ha	31	19,1 cm
6	16 min	660 metros	40%	445,059 ha	33	25,6 cm

Os arquivos de saída podem ser processados em qualquer SIG, tendo em vista que as imagens são em formato geotiff, com sistema de referência DATUM WGS84, coordenadas planas UTM.

Foi empregado também um par de GPS Geodésico, marca/modelo Topcon/HiperLite+ RTK (Real Time Kinematic), método de posicionamento Estático Rápido, visando a posterior correção planialtimétrica do ortomosaico obtido com o processamento. Foram utilizados pontos de controle em solo em todos os mosaicos gerados pelo VANT, com cerca de 16 pontos em média por imageamento. A base do GPS foi nivelada na altura de 84 cm, na Praça do Coreto, centro da cidade. O uso do método de posicionamento RTK só foi possível num raio de 1 km da base; portanto, teve-se poucos pontos com esse método de coleta, sendo a maior parte com o método Estático Rápido, com 5 min de coleta de dados para cada ponto.

### 3. Resultados e Discussões

A área urbana de Goiás é acometida pelas enchentes provocadas pelas cheias do rio Vermelho, tendo em seus limites um dos maiores patrimônios históricos do período colonial; assim, os impactos humanos e materiais gerados por este fenômeno natural são significativos, haja vista tais eventos se darem cada vez mais em função das mudanças do meio natural (Cavalcanti et al., 2008), a qual o rio estava condicionado, atualmente alterado pelos desmatamentos e ocupação antrópica de suas margens. O ortomosaico de fotografias aéreas geradas nesta pesquisa reforça a compreensão deste problema socioambiental, conforme ilustrado pela carta-imagem na Figura 2.

O ortomosaico apresenta uma área de recobrimento de 1.386,27 ha, envolvendo por completo o sítio urbano de Goiás. O mesmo possui uma qualidade altimétrica dentro do recomendado para este produto cartográfico, graças ao apoio dos pontos de campo obtidos com GPS geodésico. É possível também notar na Figura 2 que a área urbana de Goiás está totalmente inserida na planície do rio Vermelho, e, portanto, sujeita aos problemas decorrentes de uma ocupação e habitações irregulares.

O rio Vermelho percorre uma distância de aproximadamente 3,5 km dentro do perímetro urbano de Goiás, adentra a cidade em sua porção Sul, migrando em seguida para a porção Norte e Noroeste; as edificações que ficam a uma distância de até 500 metros das margens do rio Vermelho são aquelas mais afetadas pelo fenômeno das enchentes. Desta forma, é importante que o poder público, prefeitura, IPHAN e outros órgãos gerenciem a melhor forma de amenizar tal evento.

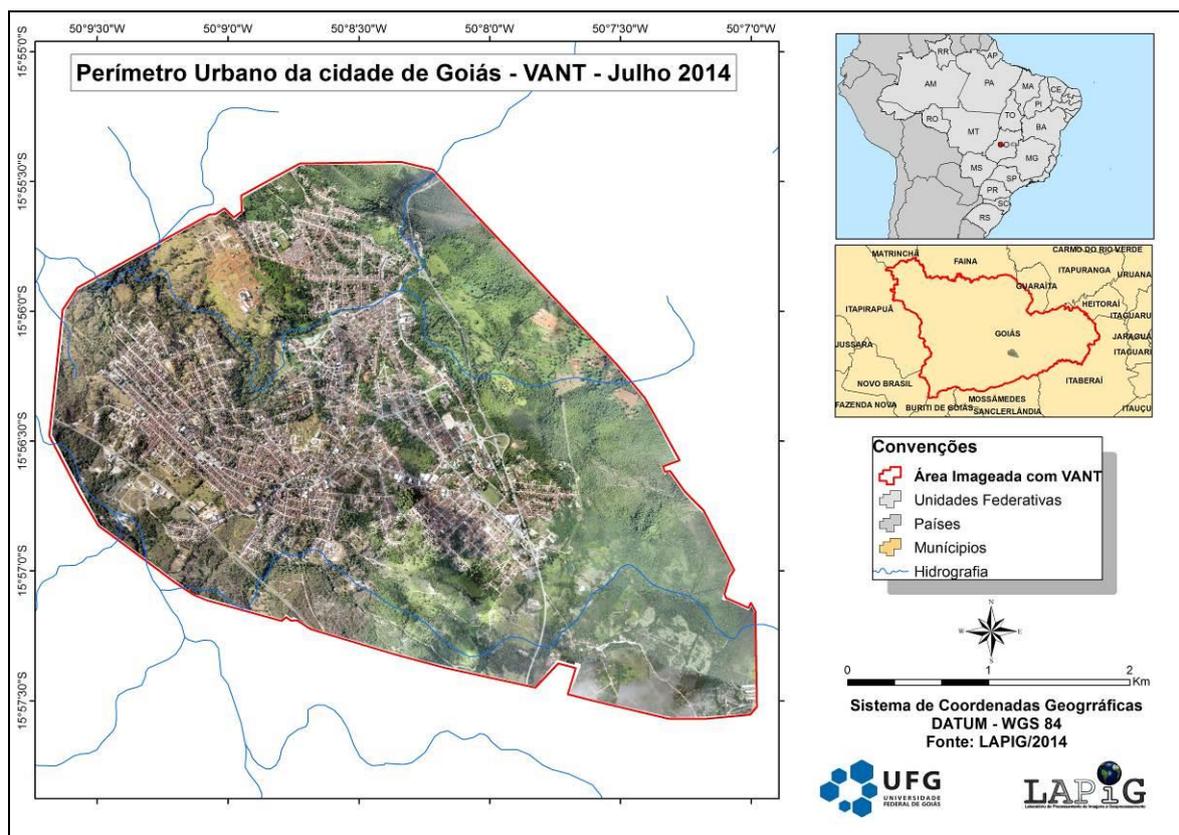


Figura 2. Ortomosaico final gerado com fotografias aéreas obtidas com um VANT (soma de 5 sobrevôos), em julho de 2014, recobrendo todo o perímetro urbano da Cidade de Goiás.

O entalhamento do canal do rio Vermelho no perímetro urbano de Goiás é gerado principalmente pelas rochas do embasamento cristalino, o qual favorece a uma concentração do fluxo de água em curto espaço de tempo, em função da elevada precipitação que se dá nesta região, principalmente nos meses de outubro a março (Vieira et al., 2014).

Considerando os ortomosaicos gerados com e sem pontos notáveis de campo, percebe-se que há uma diferença significativa na precisão planimétrica da imagem com os pontos de controle do GPS Geodésico, alcançando uma precisão de 20 cm, enquanto sem os pontos de controle a precisão passa a ser de 2,23 metros. Os alvos observados na figura 3 indicam esta qualidade do ortomosaico com e sem os pontos de controle, onde é possível notar que aqueles com controle de campo possuem uma maior acuidade e menor distorção dos alvos. Estas distorções são causadas na geração do MDS, quando a superfície do telhado é considerada no cômputo das curvas de nível do terreno, já que para que seja gerado o modelo à nuvem de pontos que o VANT gera considera os topos de prédios e árvores como cotas, erroneamente.

No edifício em destaque na figura 3 é possível notar em seu canto superior esquerdo uma distorção no ortomosaico, nos dois exemplos vê-se esta distorção, mas no mosaico com os pontos de controle estas distorções estão reduzidas.

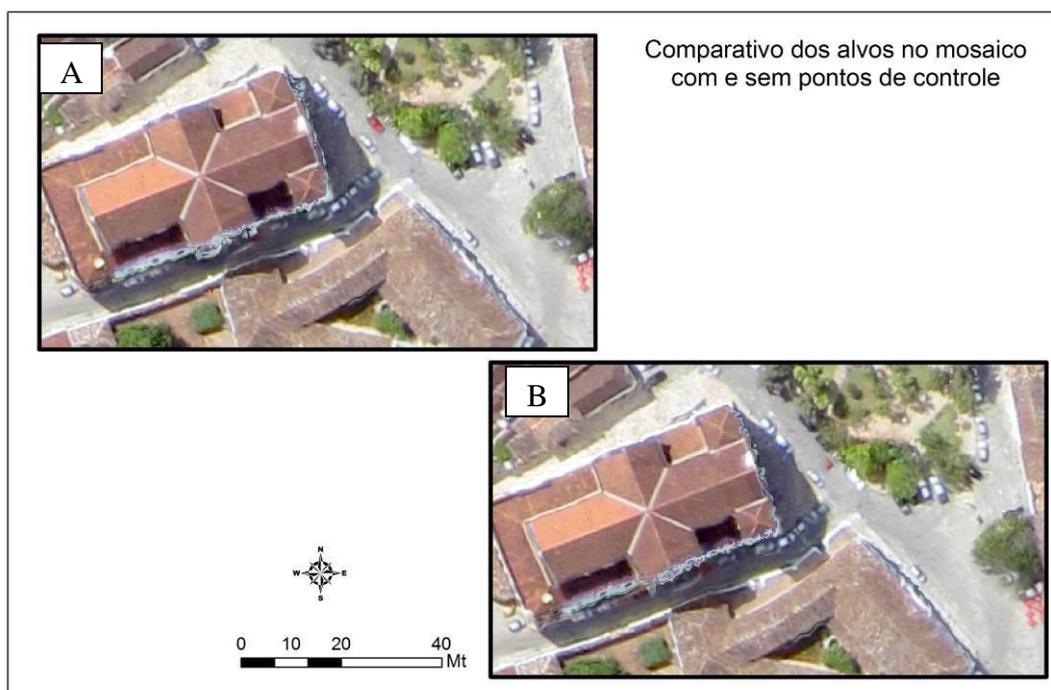


Figura 3. Alvos (habitações) sem pontos de controle (A) e com pontos de controle (B).

A hipsometria gerada (Figura 4) indica que a maior parte da área urbana tombada como patrimônio está sob as mais altas altitudes do relevo, com as menores cotas na seção noroeste em que o rio deixa a cidade. Ainda é possível inferir que alguns dos pontos críticos em que ocorrem as enchentes, que chegam a comprometer o patrimônio histórico da cidade, estão às margens do rio Vermelho, o qual tem seu canal estreitado naturalmente pelas feições geológicas. Ou seja, ao adentrar a cidade, com um encaixe/encurtamento de suas margens, há um aumento da velocidade do rio, haja vista a cidade está numa menor cota de altitude em relação ao percurso da nascente até o encontro com a área urbana. Isso ocorre em apenas 14 quilômetros. A altitude em que o canal do rio adentra a cidade de Goiás é de 513 metros e vai se reduzindo ao longo da área urbana.

Observando a figura 2 e a figura 4 é possível inferir que a maior parte do perímetro urbano está entre as altitudes de 500 e 450 metros e, portanto, sob uma área mais aplainada; contudo, o rio Vermelho corre de uma porção mais elevada, com altitudes de 700 a 600 metros, com sua calha reduzida ao encontro dos obstáculos da área urbana, causando uma enchente com grande energia potencial.

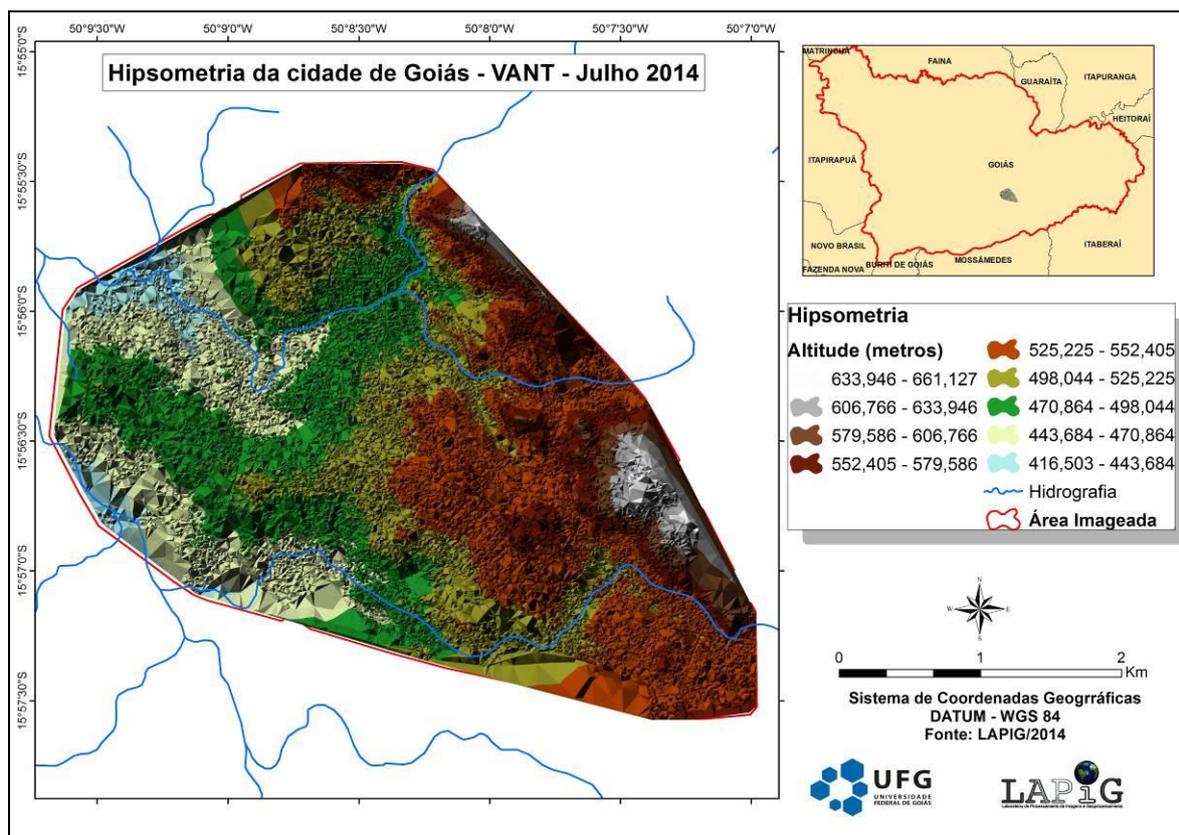


Figura 4. Carta hipsométrica obtida com o produto de MDS gerado pelo VANT, no perímetro urbano de Goiás.

As enchentes no perímetro urbano de Goiás são favorecidas, ainda, pela Serra do Cantagalo, constituindo-se, assim, num paredão rochoso no sopé da cidade de Goiás, afetando o rio Vermelho quando este atravessa a área urbana, numa espécie de garganta controlada por falhamento e esculpida com o tempo geológico (Cavalcanti et al., 2008). O rio Vermelho fica assim confinado num *canyon* profundo e estreito, em que o mesmo aumenta sua velocidade para compensar o estreitamento do canal.

#### 4. Conclusões

O emprego de um VANT para o monitoramento e mapeamento de áreas urbanas como a da Cidade de Goiás se mostrou viável em termos metodológicos, e extremamente necessários após a obtenção e análise dos resultados. Além de auxílio na descrição física e socioambiental, tal equipamento possibilitou a obtenção de produtos cartográficos de elevada precisão, auxiliando a gestão desta cidade. A propósito, um novo plano diretor está sendo confeccionado com base neste levantamento.

Por outro lado, os impactos gerados pelas enchentes do rio Vermelho vêm fazendo com que a sociedade se conscientize cada vez mais da necessidade de se mitigar as interferências antrópicas frente aos fatores naturais deste rio. Embora o sítio urbano de Goiás tenha sido construído em uma planície de inundação, é possível criar soluções para a contenção e diminuição dos desastres naturais causados por este. Com apoio dos ortomosaicos e do MDS obtido nesta pesquisa, obras estruturais devem ser realizadas em breve, como a construção de “piscinões”, diques e formas de contenção da velocidade das águas.

## Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela bolsa concedida ao primeiro autor. À FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás), pelo apoio a esta pesquisa (PRONEX, processo n°. 201200766130154, chamada pública n°. 007/2012; Universal, processo n°. 201210267000966, chamada pública no. 05/2012; Programa de bolsas de pesquisa, processo n°. 201310267000423, chamada pública n°. 003/2013). À Santiago & Cintra, Sensefly e Pix4D, pela parceria com a UFG/LAPIG no uso de VANT's.

## Referências Bibliográficas

Aquino. S. Latrubesse, E. M. Souza Filho, E. E., Caracterização Hidrológica e Geomorfológica dos Afluentes da Bacia do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.1, p.43-54, 2009.

Cavalcanti, M. A. Lopes, L.M, Pontes, M. N. C. P. Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 28 n. 1 p. 167-186, 2008.

**Christofolletti, A.** Geomorfologia Fluvial. São Paulo, Edgard Blücher/Edusp, 1988.

Ferreira, A. P. B., Tedesco, G. V., A dinâmica de uso e ocupação da alta bacia do rio vermelho. Um patrimônio natural/ cultural da cidade de Goiás – GO. In: Anais da Semana de Integração Acadêmica. 2013. p. 70 -75. **Anais** v.1, n.1, 2013 |. Disponível em: <<http://www.anais.ueg.br/index.php/siacad/article/view/2314>> . Acesso em: 10 out. 2014

Figueira, N. M., e Volotão F. Sá de., Detecção do contorno de alvos em imagens adquiridas por vant. **Revista Brasileira de Cartografia**, N0 65/4, p. 643-650, 2013.

Linhares, M. M. A.; Rocha, N. C. C.; Amaral, B. A. S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 8254-8260. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GJN3>>. Acesso em: 09 nov. 2014.

Jornal O Popular. Cheias do rio Vermelho arrasam a cidade de Goiás. Goiânia, 04 de Janeiro de 2002.

Oliveira, A. S. Vieira, P. A., Amorim, P. M., Regime Hidrológico e Comportamento Morfo-Hidráulico do Rio Vermelho. In: Seminário de Iniciação Científica. Cidade de Goiás. 2005. Disponível em: <<http://www.prp.ueg.br/06v1/conteudo/pesquisa/inic-cien/eventos/sic2005>>. Acesso em: 25 set. 2014.

Vieira, P. A. Ferreira, N. C. Ferreira, L. G., Análise da vulnerabilidade natural da paisagem em relação aos diferentes níveis de ocupação da bacia hidrográfica do rio vermelho, Estado de Goiás. Sociedade. & Natureza. Uberlândia, 26 (2): 385-400, mai/ago/2014