

Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá

Henrique Llacer Roig¹
Alexandre Moreno Richwin Ferreira¹
Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes¹
Giuliano Santanna Marotta¹

¹ Universidade de Brasília - UnB/IG/LSRAE
Caixa Postal 04465 - 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
roig@unb.br; moreno.rferreira@gmail.com; phjunker@unb.br; marotta@unb.br

Abstract. Satellite multispectral imageries are usually limited in low space resolution, long revisit cycle or high cost. This paper presents our ongoing research on developing cost-effective unmanned airship on board Multispectral imagery system to acquire high-resolution multispectral imagery for quick-response to change suspended sediments discharge issues. First, the overall architecture of developed system is described. After that, system integration including CCD cameras coupling, GPS/INS synchronization, stabilize platform control and wireless communication are discussed in detail. Next, describe the image processing, mainly band ration. Finally, flight experiments are implemented to acquire high-resolution multispectral imageries along the Paranoá Lake in two dates (dry season and wet season). The team was able to obtain two multispectral georeferenced images with 0,01m of ground resolution from a collection of 300 individual images collected from 60 meters high. Conclusions are conducted as well. The analysis of two images possibility to understand the relation between the input discharge of Bananal river and drainage system of Norwest neighborhood.

Palavras-chave: UAV, multispectral imagery, sediments discharge, VANT, análise multispectral, transporte de sedimentos, Lago Paranoá

1. Introdução

O monitoramento de sistemas aquáticos se baseia, de uma maneira geral, em campanhas de levantamento de campo com coleta de dados por meio de estações de monitoramento que precisam ser visitadas com intervalo de tempo regular o suficiente para medir as variações dos parâmetros monitorados. A eficácia desse monitoramento é dada em função do número de parâmetros, da frequência de amostragem e da distribuição espacial das medições na bacia. Além disso, o monitoramento exige que estas estações forneçam informações contínuas por longos períodos de tempo.

No entanto, o custo de instalação e de manutenção de uma rede de estações pode inviabilizar, muitas vezes, na prática, um monitoramento preciso dos recursos hídricos. Segundo Villar (2011) as técnicas convencionais de monitoramento das águas não podem acompanhar a crescente demanda de controle da qualidade das águas, sendo necessário criar soluções alternativas.

Considerando o exposto, o uso de sensoriamento remoto tem sido largamente explorado em estudos aplicados a sistemas aquáticos (Lui et al. 2009). Sistemas sensores multiespectrais e hiperespectrais de baixa e média resolução espacial como MODIS, Landsat TM e ETM tem sido utilizados para este fim (Alcantara, 2007, Martinez et al, 2011), cada um com suas limitações no que diz respeito principalmente às características de resolução espectral, resolução temporal e resolução espacial (Nebiker et. al., 2008; Turner et al. 2012).

Outro fator limitante do uso desses sistemas sensores orbitais é a cobertura de nuvens constantemente presente nos períodos de chuva, onde os principais eventos que carregam sedimentos e outros materiais para os reservatórios e lagos acontecem. Em reservatórios de

pequeno porte esse fator pode impedir a aquisição de imagens em épocas de chuva, período no qual ocorrem os eventos extremos que devem ser monitorados na bacia e no reservatório.

Neste contexto, os recentes progressos no desenvolvimento de pequenas aeronaves leves controladas remotamente, associado a sensores imageadores de pequeno porte têm incrementado os esforços na criação de uma nova geração de plataformas leves de sensoriamento remoto, oferecendo características que não podem ser cobertas pelos mecanismos convencionais, ou seja, altíssima resolução espacial com uma flexibilidade operacional incomparável (pontualidade, alta taxa de revisita com baixo custo). Esta tecnologia está inserida nos Veículos Aéreos Não Tripulados -VANT (Nebiker et. al., 2008; Bento, 2008, Pegoraro, & Philips 2011).

Para Furtado et al (2008), a aplicação comercial dos VANTs no espaço aéreo civil brasileiro ainda possui grandes barreiras, onde pode-se destacar o processo de regulamentação e a falta de experiência operacional. Estas limitações podem comprometer a segurança na execução dos vôos. No entanto, muito já se progrediu no uso desses equipamentos para várias áreas de aplicação, com destaque para a agricultura (Nackaerts et al, 2010; Turner et al. 2011). Enquanto a regulamentação não sai, os estudos estão voltados para as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). Entretanto deve-se destacar que os estudos com ARP e/ou VENT's voltados para recursos hídricos são escassos (Lui et al. 2009)

Como estudo de caso, para avaliar a aplicação dessa tecnologia no monitoramento da qualidade das águas de reservatórios de pequeno a médio porte, escolheu-se o Lago Paranoá. Trata-se de um “reservatório” de uso múltiplos com entrada de material proveniente tanto da rede de drenagem natural como, da rede pluvial, em evento normalmente de grande intensidade e pequena duração (horas), exigindo uma boa flexibilidade operacional para o seu monitoramento, mesmo em períodos nublado.

Neste contexto o objetivo do estudo é avaliar o emprego de técnicas de processamento de imagens multiespectrais (visível e infravermelho próximo) obtidas por uma ARP, baseados na sua correlação com dados de turbidez e espectroscopia de campo, similar ao que vem sendo empregado para os dados do MODIS (Martines, 2011 e Villar, 2011).

Os estudos estão na fase inicial, onde as coletas de dados começaram em outubro de 2012. Este estudos deverão abranger um período de 3 anos, durante a vigência da Rede Pro-Centro Oeste que tem por objetivo estabelecer um procedimento metodológico baseado em técnicas de geoprocessamento e análises de campo que permita compor um índice de sustentabilidade para as bacias hidrográficas do Cerrado, com vista a avaliar a integridade ambiental dos corpos hídricos.

Neste artigo apresentaremos os primeiros resultados obtidos no braço da ponte do Bragueto, onde deságua a bacia do Ribeirão Bananal e a rede pluvial de um importante setor habitacional que encontra-se em fase de construção (O Noroeste), localizado na porção norte do Lago Paranoá (figura 01). O lago Paranoá é um reservatório amplamente estudado do ponto de vista das qualidades de suas águas, porém sem monitoramento do aporte de sedimentos originados pelos seus tributários e sua bacia hidrográfica está altamente impactada pelo padrão de uso e ocupação do solo (Menezes et al 2012).

2. Metodologia de Trabalho

Por tratar-se de procedimentos ainda novos para grande maioria dos pesquisadores brasileiros, além das etapas normalmente executadas (processamento das imagens e análise dos resultados) os trabalhos também focaram em uma ampla pesquisa bibliográfica objetivando reunir informações sobre as aplicações dos VANT para fins de investigação científica, mais especificamente os multirotores (modelos MK-Hexa e MD4 1000) e seus periféricos, assim como seu potencial de aplicação e limitações técnicas na obtenção de

imagens aéreas. Foi levantado o que a legislação vigente permite tratando-se de VANT/ARP e foi feito um apanhado de necessidades para a execução de determinadas missões (segurança, risco, áreas permitidas, planos de voo, tetos operacionais entre outras).

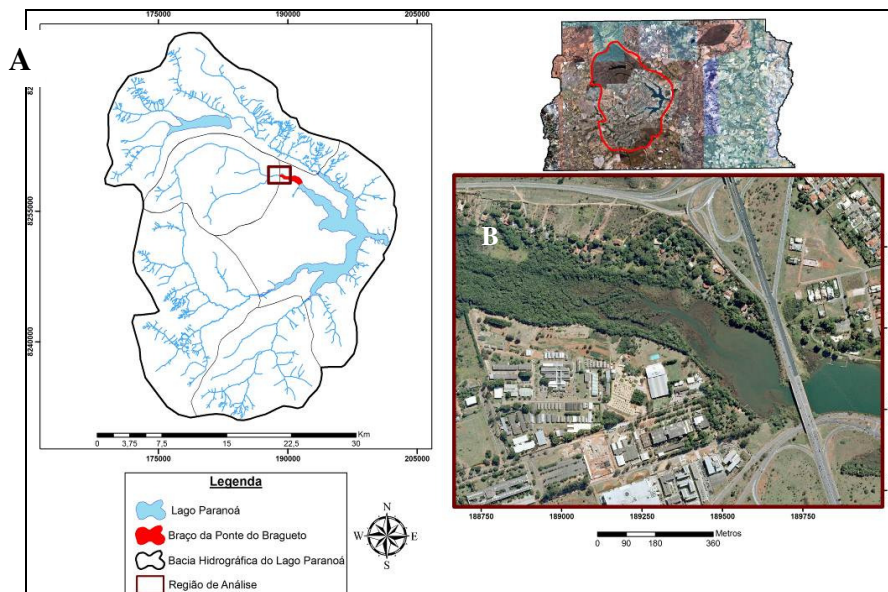


Figura 01. Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá (A), com destaque para a área de Estudo (B).

2.1 A plataforma

Para a realização dos trabalhos foi montado um Hexakopter baseado no modelo MK-Hexa desenvolvido pela empresa alemã Mikrokopter (Mikrokopter, 2011). Trata-se de uma aeronave de seis rotores com motores sem escova de alta performance em corpo de alumínio e fibra de carbono (Figura 2). Os equipamento eletrônicos incluem placa de circuito integrado para controle de voo (*Flight Control*), sistema de navegação (*NaviCtrl*) com bússola e receptor GPS (Mikrokopter, 2011). A placa de controle de voo inclui um giroscópio e um acelerômetro de três eixos e um sensor de pressão. O emprego do *NaviCtrl* permite a realização de voos pré programados com coordenadas X, Y e Z e todas as informações dos sensores são armazenadas durante o voo permitindo que essas informações sejam utilizadas no processamento das imagens obtidas.

A fonte de energia é uma bateria de polímero de lítio com 5.000 mAh o que permite uma autonomia de voo de aproximadamente 15min, dependendo do sensor acoplado. A comunicação entre a aeronave e a estação de solo é realizado com um transmissor de rádio frequências operando na faixa 2.4ghz, o link de comunicação funciona nos dois sentidos, ou seja, enviando informações tanto do solo para a aeronave como da aeronave para o solo.

2.2 Os Sensores

Os sensores utilizados para a coleta das imagens foram de duas câmeras digitais convencionais Canon, com 12 megapixels acopladas individualmente a uma plataforma com um sistema giro estabilizado para garantir a aquisição das imagens próximas ao Nadir. Uma delas foi modificada, de modo a possibilitar a aquisição de imagens no comprimento de onda do infravermelho próximo.

A análise espectral da água esta limitada a região do visível/infravermelho próximo onde estão localizadas as quatro bandas utilizadas neste trabalho: Banda 1 centrada em 470 nm (blue), Banda 2 em 550nm (green), banda 3 em 625 nm (red), e banda 4 em 750 nm (NIR).

2.3 Coleta dos dados

Um correto planejamento do voo é um passo fundamental para a obtenção de resultados com boa qualidade. Nessa etapa, seguiu-se os procedimentos definidos por Ferreira et al. (2012, neste simpósio) o qual estabelece 6 passos para cada voo, sendo eles: delimitação da área, análise de segurança, planejamento do voo, preparação dos equipamentos, checagem dos equipamentos e coleta de dados.



Figura 02. Micro-ARP modelo MK-Hexa

Maiores detalhes podem ser encontrados em Ferreira et al (2012, neste simpósio). No entanto, deve-se ressaltar que devido tratar-se de uma região composta por mais de 70% de espelho d'água faz-se necessário garantir um mínimo de 60% de sobreposição lateral e 70% de sobreposição longitudinal das imagens para possam ser processadas posteriormente.

Para este teste, foram realizados dois voos em condições climáticas distintas. O primeiro foi executado no dia 15 de outubro de 2012, quando o lago Paranoá encontra-se com o menor volume d'água (cota 999,4m) e após um longo período de estiagem. O segundo foi executado em 24 de outubro de 2012, um dia após uma grande chuva torrencial que atingiu a Bacia do Lago Paranoá, (~70 mm).

2.4 Georreferenciamento, mosaico e ortofoto

O processamento foi realizado utilizando o *software* Photoscan Professional de fotogrametria, fabricado pela empresa russa Agisoft. Em virtude de ter-se realizado dois voos para a coleta das imagens (um na estiagem e outro logo após as primeiras chuvas), foram realizados dois processamentos separados para criação de dois mosaicos ortoretilificados, que posteriormente foram ajustados para que tivessem a mesma resolução espacial e posicionamento.

Os voos foram programados para capturar uma imagem a cada 2 segundos durante a rota, o que garante que nenhuma região da área de estudo fique sem cobertura de imagem. Ao todo foram selecionadas 150 imagens de cada voo realizado para a geração do mosaico ortoretilificado, com um total de 300 imagens coletadas e aprovadas.

Para o alinhamento das imagens, o horário de captura das imagens foi comparado com o registro de voo da aeronave de modo a permitir a determinação das coordenadas X, Y e Z de cada cena. Com esta informação foi possível iniciar o processamento a partir da detecção automática de pontos de amarração entre os pares de imagens. O Photoscan seleciona, em média, 35.000 pontos para cada imagem de modo a permitir a aerotriangulação. O resultado desta etapa é uma densa nuvem de pontos com coordenadas X, Y, Z e o valor RGB escolhido a partir de uma das imagens na qual cada ponto aparece. Ao total foram utilizados 32.531 pontos de amarração para uma área útil de aproximadamente 70.000m² (Figura 03)

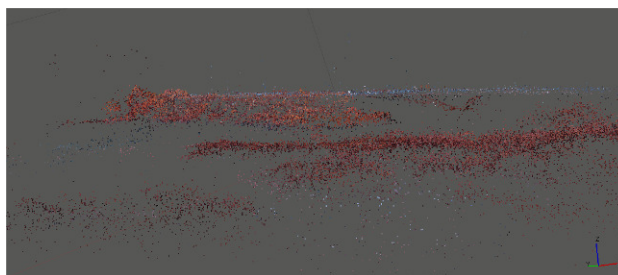


Figura 03. Nuvem de pontos da área de estudo com valor dos canais RGB.

Deve-se ressaltar que por tratar-se de imagens teste, nesta etapa não foram usados pontos de amarração de campo para melhorar o processo de retificação das imagens. Esta será um procedimento padrão na execução dos próximos vôos.

2.5 Processamento e Interpretações das imagens

A análise espectral da água esta limitada a região do visível/infravermelho próximo onde estão localizadas as quatro bandas utilizadas neste trabalho. Nesta etapa o processamento restringiu-se as funções básicas como composição coloridas e razões de bandas, onde se assumiu que a composição dos *end-members* da partícula inorgânica em suspensão, da clorofila-a e matéria orgânica dissolvida são capazes de fornecer informação qualitativa da distribuição da turbidez no braço do Lago Paranoá analisado (Alcantara, 2007).

Considerando esta premissa, empregamos as razões nas regiões espectrais do azul e verde para detectar presença de matéria orgânica dissolvida Cipollini e Corsini (1994) e a razão do infravermelho próximo/verde para a discriminação de sólidos suspensos (Doxoran et al., 2004). Já Martinez considera que a relação entre a refletância da banda do verde (Rgreen) em relação a vermelha (Rred da eq. 1) pode ser utilizada como índice para a identificação da presença de algas verdes quando esse for positivo e negativo quando as águas tem a tonalidade marrom devido a presença de sedimentos em suspensão.

$$SI = R_{green} - R_{red} \quad (1)$$

3. Resultados e Discussão

Os resultados alcançados foram bastante promissores, embora ainda sejam considerados preliminares. A qualidade das imagens forma consideradas boas quando ao processo de geração dos mosaicos com um bom posicionamento geográficos bem como para a interpretação visual e para a realização de processamento simples que permitiram a discriminação da pluma de sedimentos em suspensão. Deve-se ressaltar que a imagem do período de chuva apresenta uma alta taxa de sedimentos, muito acima dos padrões, o que torna desnecessário a aplicação de processamento digital a ressaltá-la.

Os mosaicos obtidos possuem resolução espacial de 0,01 metros e não apresentaram problemas de conectividade entre imagens, sendo que as linhas de corte ficaram praticamente invisíveis para a segunda data de aquisição (Figura 4B), porem com alguns problemas de ajuste para o primeiro levantamento, onde embora a geometria seja considerada boa, a parte espectral não foi bem ajustada, sendo possível verificar as bordas das imagens originais (Figura 4A). Para essas regiões o algoritmo de ajuste do Photoscan Professional não foi capaz de corrigir as diferenças entre as imagens. Estas diferenças foram geradas por variações na luminosidade do local devido à passagem de nuvens no local, cobrindo o Sol.

Um problema operacional ocorrido durante o levantamento, gerado pela impossibilidade de usar o piloto automático foi a falta de superposição completa entre os vôos das duas datas.

Para as próximas etapas, deveremos cobrir uma área maior com vistas a minimizar este problema, porem sem deixar de levar em consideração que estamos inseridos em uma área urbana e a segurança vem em primeiro lugar.

O erro posicional do georreferenciamento sem pontos de controle foi em média de 5,3 metros com relação à base oficial do SICAD de 1998; para o cálculo foram medidas as distancias de 10 pontos conhecidos. É um valor alto se for considerado que a resolução espacial do ortomosaico é de 0,01 metros, porém já é suficiente para muitas aplicações que não exigem uma precisão tão grande.

A interpretação visual foi realizada para ambas as datas. Para o período de estiagem, onde o nível do reservatório é o mais baixo, foi possível identificar dois leques de sedimentação superpostos. O primeiro, mais antigo, é caracterizado por sedimentos mistos de coloração marrom acinzentado proveniente do rio Bananal. O segundo de coloração avermelhada está intimamente associado à rede de drenagem pluvial do bairro Noroeste. Este segundo leque é mais alto e encontra-se parcialmente retrabalhado pelas águas do rio Bananal no período da seca. Este fato revela que a descarga de material sólido atualmente proveniente da rede pluvial é maior do que o fluxo do rio, aumentando assim o assoreamento do lago.

Este fato foi corroborado com a aquisição da segunda imagem no período das chuvas. As imagens evidenciam claramente a entrada de uma grande pluma de sedimentos proveniente da rede pluvial (figura 4B). A intensidade do fenômeno é de tal magnitude que modifica a densidade da água dificultando a mistura dos dois afluentes. É possível verificar os vórtex de mistura entre os dois liquinos na borda da pluma (Figura5)

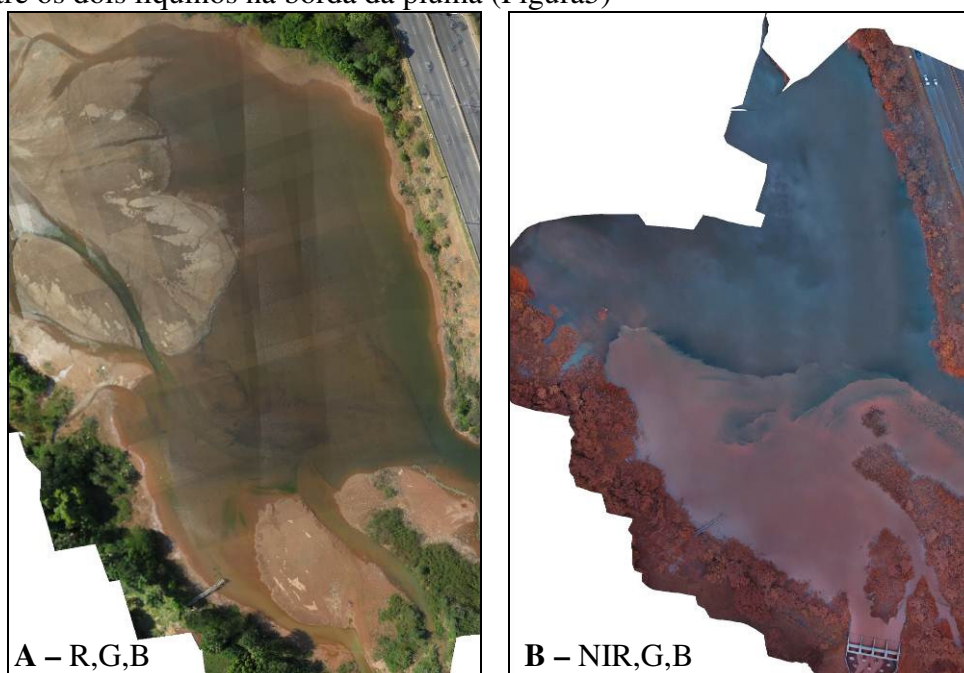


Figura 04. Mosaico da área de estudo. (A) período de seca e (B) após o evento chuvoso.

Com relação às técnicas de processamento, para o caso das imagens da época da seca a falta de ajuste da composição no mosaico gerou um conjunto de problemas no processo de aplicação das razões de banda. Além deste fato, o baixo nível das águas acompanhado pela baixa concentração de material em suspensão fez com que as informações do fundo se misturassem com a das águas dificultando a interpretação das mesmas. A interpretação da composição colorida foi mais eficiente. Já para a época chuvosa a razão de banda NRI/G ressaltou o contraste entre a pluma de sedimentos e as águas provenientes do rio Bananal, porém não trouxe novas informações. Nestas imagens é facilmente identificável as correntes predominantes e os limites entre os conjuntos de águas sendo possível uma discriminação total (Figura 5) através de um

cálculo entre as bandas do azul e do infravermelho próximo. Pode-se observar também a interferência do fundo na parte NW devido à baixa concentração das águas do Bananal.

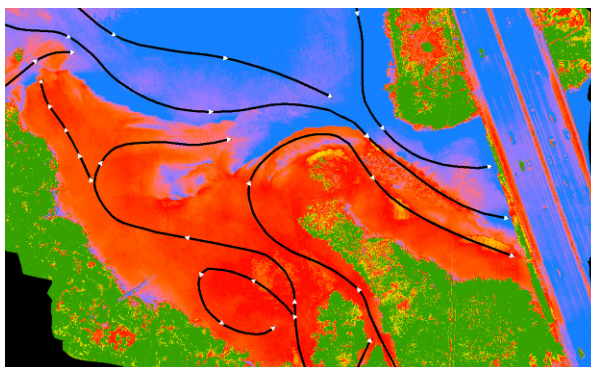


Figura 5. Identificação das correntes e discriminação dos conjuntos de água

4. Conclusões

O uso de novas ferramentas como as Aeronaves Remotamente Pilotadas amplia as possibilidades de estudos em diversas áreas do conhecimento, mas definitivamente os estudos ambientais serão largamente beneficiados pela inclusão destas novas técnicas no atual leque de opções. O baixo custo de operação dessas plataformas não tripuladas permite que sejam realizados aerolevantamentos em pequenas áreas, algo inviável para aviões tripulados, seja por motivos técnicos ou financeiros (Ferreira, 2012).

Neste estudo, a baixa altitude de operação e a versatilidade dessas aeronaves provaram que já é possível a obtenção de dados com maiores resoluções que os métodos atuais em três aspectos e com custos infinitamente inferiores: espacial (0,01m), radiométrico (32bits) e temporal (revisita em horas). Acredita-se que com a disseminação desta tecnologia novos sensores hiperspectrais estarão disponíveis no mercado refinando ainda mais as aplicações dessas aeronaves.

O uso dessa ferramenta no monitoramento de sedimentos sólidos em suspensão (SSS) possibilita a obtenção de dados com curto intervalo de tempo a partir de imagens com altíssima resolução espacial, ampliando o entendimento dos fenômenos atuantes neste processo.

Como próximos passos, durante a execução dos vôos serão coletados sistematicamente dados de turbidez concentração e medições de espectrometria utilizando-se os espectrômetros TriOS – RAMSES que trabalham na faixa espectral do ultra violeta, visível e o infravermelho próximo (320-950 nm), similar ao utilizado por Martinez (2011).

5. Agradecimentos

A empresa TerraSense por disponibilizar a aeronave e os sensores para coleta dos dados e também o *software* Photoscan Professional para processamento dos dados.

À ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGis 10 por intermédio do contrato N° 2011 MLK 8733 e a IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG-UnB e a ESRI e pelo suporte aos softwares.

Ao Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicada (IG/UnB) e a CAPES pela Bolsa de mestrado oferecida pelo programa REUNI.

6. Referências Bibliográficas

Alcântara, E.; Stech, J.L.; Barbosa, C.; Novo, E.; Shimabukuro, Y. Integração de dados de alta frequência temporal e imagens MODIS/TERRA para o estudo da turbidez na planície de Curuai. In: Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis, **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6549-6556. CD-ROM

Bento, M. D. F., **Unmanned Aerial Vehicles: An Overview**. Inside GNSS (January/February 2008), 54-61.

Doxoran, D.; Cherukuru, R.C.N.; Lavender, S.J. Use of reflectance band ratios to estimate suspended and dissolved matter concentrations in estuarine waters. **International Journal of Remote Sensing**. Abingdon, v. 26, n.8, p. 1763-1769, 2005.

Ferreira, A.M. R.; Marotta, G. Menezes, P.H.J.B.; Roig, H.L. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, **submetido**

Furtado, V. H.; Gimene, R. A. V.; Camargo Júnior, J. B.; Almeida Júnior, J. R., 2008. Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro. In: Simpósio de Transporte aéreo, 7. São Paulo, **Anais** 506-517 – Tr. 494.

Liu, Z, Wu, J.; Yang, H.; Li, D.; Zhang, Y.; Shengtian. P., Yang T. Developing Unmanned Airship Onboard Multispectral Imagery System for Quick-response to Drinking Water Pollution. In: Jayaram K. Udupa, Nong Sang, Laszlo G. Nyul, Tong (Org.) **Multispectral Image Acquisition and Processing**, 2009 pp 74 -94

Martinez, J. E. M.; Ventura, D. Vieira, M.R. Attayde, J.L.; Bubel, A.P. ; Coimbra, M.R.; Oliveira. Satellite-based monitoring of reservoir eutrophication in the Brazil Semi-arid region. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 20011, Curitiba, **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5245-5254. CD-ROM

Menezes, P.H.J.B.; Roig, H.L., Almedia, T.; Soares Neto, G.B;Bakker, F. Análise da evolução do padrão de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do Lago Paranoá – DF. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 8: 87-105

Mikrokopter, 2011. Projeto Wikipédia Mikrokoper, disponível em: <http://www.mikrokopter.de/ucwiki/en/MikroKopter?action=show&redirect=FrontPage>, acesso em 2011

Nebiker, S.; Annen, A.; Scherrer, M.; Oesch, D. A Light-Weight Multispectral Sensor for micro UAV – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008. Pegoraro, &. Philips 2011 River assessed by monitoring network and satellite data. **Catena**, 79, (2009), pp. 257-264.

Turner D.; Lucieer, A.; Watson, C. 2011; An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds.

Villar, R.E.; Jean-Michel Martinez Jean-Loup Guyot; Pascal Fraizy; Elisa Armijos Cárdenas; Hector Bazan Cordoba; Alain Crave; Philippe Vauchel; Waldo Lavado Casimiro. 2011. Reconstrução de uma serie histórica de descarga de sedimentos usando imagens de satélite MODIS nos rios da Amazônia peruana. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 20011, Curitiba, **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5356 -5363. CD-ROM