

Modelo Digital de Terreno e Dados de Obstáculo como Fator de Segurança à Navegação aérea

Cristiane de Barros Pereira

Instituto de Cartografia Aeronáutica
22021-130 Rio de Janeiro RJ
dcar-ica@decea.gov.br

Resumo: O uso de informação altimétrica na aviação decorre do risco que o relevo e as edificações sobre o mesmo podem oferecer como obstáculos à navegação aérea. O conhecimento do terreno, juntamente com as edificações consideradas como obstáculos às aeronaves, pode apoiar desde os elaboradores de procedimentos para voos por instrumento (IFR) até os pilotos que planejam e executam os voos por regras visuais (VFR). Diante disto, a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) preconizou requisitos e orientações para a geração de uma base de dados altimétricos denominada de Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos (e-TOD). Os requisitos de qualidade e características dos dados são variáveis para quatro áreas distintas, que abrangem todo o território nacional, inclusive distâncias menores que 1 km na área de aproximação da pista. Neste contexto, o Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) está conduzindo estudos e ações no sentido de produzir os dados necessários para o e-TOD, bem como torná-los disponíveis para os usuários do espaço aéreo brasileiro. Atualmente, o ICA vem utilizando as técnicas de fotogrametria digital para geração de modelo digital de terreno e dados de obstáculos para aeroportos brasileiros, tais como Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins-MG; Aeroporto Internacional Tom Jobim e Aeroporto Santos Dumont, ambos no Rio de Janeiro; Aeroporto Internacional de Guarulhos e Aeroporto de Congonhas, ambos em São Paulo. Neste artigo serão apresentados a metodologia de trabalho utilizada e os resultados obtidos. O propósito do presente trabalho é expor a relevância dos dados e-TOD, uma vez que constituirá um importante fator de auxílio para a segurança da navegação aérea.

Palavras chaves: navegação aérea, obstáculos, e-TOD.

Abstract: The use of altimetric information in aviation aims at diminishing the risk that relief and buildings can pose as obstacles to air navigation. The terrain reconnaissance, along with buildings regarded as obstacles to aircraft, can give support to both design procedures of instrument flights (IFR) and pilots who plan and execute flights following visual rules (VFR). Therefore, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has prescribed requests and guidelines to generate an altimetric database, called Electronic Terrain and Obstacle Database. The quality requests and data characteristics vary according to four distinct fields, which comprise all the national territory, including distances shorter than 1 km in the runway approach area. Within this context, the Aeronautical Institute of Cartography has been using digital photogrammetry techniques to generate a digital model for terrain and obstacle data for Brazilian airports, such as Tancredo Neves International Airport, located in Confins – MG; Tom Jobim International Airport and Santos Dumont Airport, both in Rio de Janeiro; and Guarulhos International Airport and Congonhas Airport, both in São Paulo. This paper will present the methodology used and the results obtained. The purpose of this work is showing the relevance of e-TOD data, once it will constitute an important supporting element for air navigation safety.

Keywords: air navigation, obstacles, e-TOD.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da forma e das variações do relevo sempre constituiu um dado de grande valia para as mais diversas aplicações. A altimetria do terreno se faz bastante útil na hidrologia, possibilitando a detecção de linhas de drenagem e divisores de água (Quinn et al, 1991; Tarboton, 1997), bem como a identificação de áreas de risco de inundação (Mosquera-Machado e Ahmad, 2007). Tal dado pode também auxiliar na caracterização geológica de uma região (Fonseca et al., 2007), ser utilizado como fator preponderante na estimativa de potencial agrícola (Costa et al., 2005) e ainda servir de subsídio para o planejamento da ocupação urbana (Araújo et al., 2003).

Na aviação, o uso da informação altimétrica decorre do risco que o relevo e as edificações sobre o mesmo podem oferecer como obstáculos à navegação aérea. O conhecimento da altimetria do terreno pode apoiar os pilotos que planejam e executam os voos visuais, bem como os elaboradores de procedimentos para o estabelecimento de níveis de voo seguros em cartas aeronáuticas.

As cartas para navegação aérea visual (VFR) apresentam informações sobre as construções e o relevo necessárias ao apoio aos voos visuais, dentre as quais as curvas de nível, as cotas e os obstáculos mais proeminentes. As Cartas de Obstáculos de Aeródromos e as Cartas de Aproximação Visual apresentam as informações do relevo, com um grau de detalhamento maior, por abrangerem áreas nas proximidades dos aeródromos.

Diante da preocupação com os obstáculos, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) estabeleceu em seu Anexo 15, capítulo 10 a geração de uma base de dados altimétricos denominada de Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos (e-TOD). A ICAO é uma agência da ONU que foi criada em 1944, com objetivo de disciplinar a atividade aeronáutica internacional, no tocante às normas, métodos recomendados e procedimentos internacionais que tratem de: sistemas de comunicações e auxílios para a navegação aérea e sinalização terrestre; características dos aeroportos e áreas de aterrissagem; regras do ar e métodos de controle de tráfego aéreo; outorga de licenças do pessoal de operações e mecânicos; aeronavegabilidade das aeronaves; matrícula e identificação das aeronaves; compilação e intercâmbio de informação meteorológica; diários de bordo; mapas e cartas aeronáuticas; formalidades de alfândega e imigração; aeronaves em perigo; investigação de acidentes; e de outras questões relacionadas com a segurança, regularidade e eficiência da navegação aérea.

O Anexo 15 da ICAO normatiza e apresenta as definições relativas aos dados eletrônicos de terreno e obstáculos, bem como as especificações do Modelo Digital de Elevação para quatro áreas, a saber: Área 1 (todo o território), Área 2 (área da Terminal ou a área contida num círculo de 45 km de raio), Área 3 (área do aeródromo) e Área 4 (Para aeródromos Categoria II/III).

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar as ações iniciais, por parte do Instituto de Cartografia Aeronáutica, no sentido de implementar o projeto de sistematização de dados eletrônicos sobre o terreno e obstáculos, em atendimento aos requisitos do Anexo 15 da ICAO.

2 DADOS ELETRÔNICOS DE TERRENO E OBSTÁCULO (e-TOD)

Atualmente na aviação brasileira, qualquer análise de obstáculo, natural ou artificial, é feita a partir de dados pontuais, em termos topológicos. Ou seja, o dado disponível é sempre o ponto mais alto de uma determinada área ou objeto. No caso de obstáculos artificiais, o ponto mais alto de uma torre ou edificação, por exemplo. Em obstáculos naturais, faz-se uso do ponto cotado mais alto presente em um determinado setor de interesse de uma carta topográfica.

Em termos topológicos, os dados e-TOD são mais específicos, detalhando os dados de obstáculos ponto (torres, antenas, árvores), linha (cabos, linhas de transmissão) ou polígono (prédios e construções) (Figura 1) e os dados de terreno em uma superfície contínua de dados, discretizada na estrutura de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

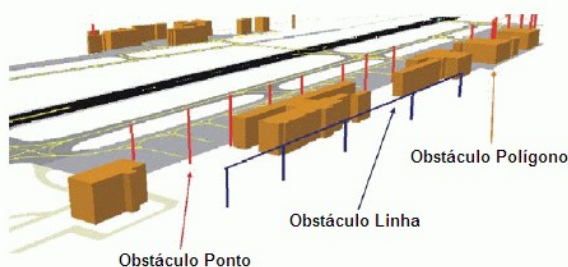


Figura1 : Topologia dos obstáculos. *FONTE: Adaptado de ICAO (2004)*

Devem ser associados aos dados de obstáculos, um conjunto de 23 atributos, dentre os quais cita-se: descrição do obstáculo, fornecedor do dado, a presença ou não de luzes e pinturas de obstáculos, o tempo de existência, dentre outros.

Diversas são as aplicações dos dados e-TOD. No que diz respeito ao Instituto de Cartografia Aeronáutica, a vantagem de se contar com uma base de dados de terreno e obstáculos se dá no sentido de auxiliar na elaboração de cartas aeronáuticas, bem como servir de insumo para cartas eletrônicas (Filho, 2003).

A ICAO especificou os dados e-TOD para quatro áreas distintas, cujos requisitos e abrangências são fundamentados nas cartas que utilizarão dados de terreno e obstáculos, bem como nas diferentes fases do voo.

Os requisitos numéricos para as quatro áreas seguem na Tabela 1:

Tabela 1 : Requisitos Numéricos de Qualidade. *FONTE: ICAO (2004)*

Requisitos de qualidade	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Acurácia Horizontal	50 m	5 m	0,5 m	2,5 m
Acurácia Vertical	30 m	3 m	0,5 m	1 m
Espaçamento do MDT	90 m	30 m	20 m	9 m

A denominada “Área 1” abrange todo o território nacional. O conhecimento do terreno e dos obstáculos para esta área tem sua utilidade para aeronaves em rota, ou seja, em nível de cruzeiro. Nesta área, qualquer edificação que ultrapassar uma altura de 100 m acima do solo, deve ser levantada e cadastrada como obstáculo.

A “Área 2” consiste na denominada “Área Terminal” (TMA) e pode ser simplificada por um raio de 45 km a partir do ponto de referência do aeródromo (ARP). Dados de terreno e os obstáculos nesta área são necessários apenas para aeródromos utilizados pela aviação civil internacional. Os dados em questão poderão compor subsídios para a geração de cartas de procedimentos de subida e descida por instrumento (Cartas IAC – *Instrument Approach Chart*, SID – *Standard Instrument Departure*), bem como cartas de obstáculos (Cartas Tipo A e Tipo B).

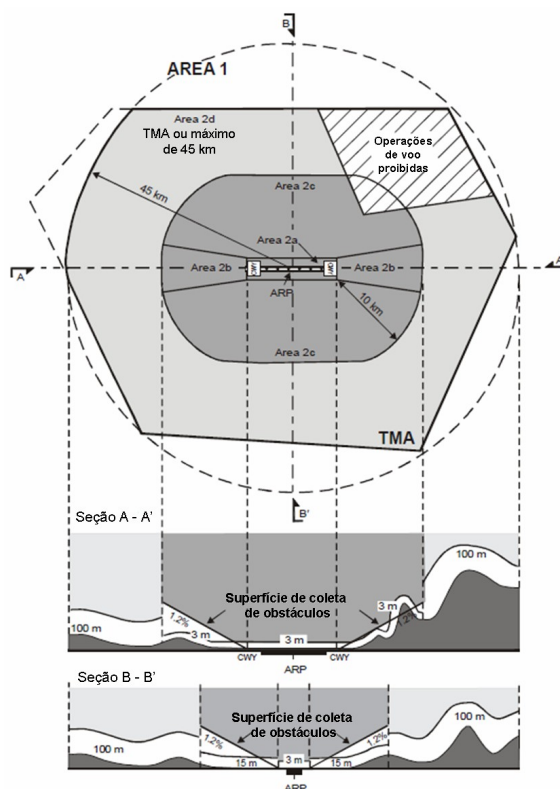


Figura 2 : Superfície de coleta de dados: Áreas 1 e 2. *FONTE: Adaptado de ICAO (2010).*

Os requisitos numéricos da “Área 2”, apresentados na Tabela 1, restringem-se apenas a uma área definida por um raio de 10 km do ARP. Para as regiões remanescentes, aplicam-se os requisitos estabelecidos para a “Área 1”.

A “Área 2” considera como obstáculo qualquer edificação que ultrapassar uma superfície cônica com início nas bordas da pista e que se estende por 10 km com uma declividade de 1,2%. As regiões remanescentes, localizadas além dos 10 km, seguem os critérios estabelecidos para a “Área 1”.

A Figura 2 ilustra as áreas e os gabaritos para a coleta de dados das Áreas 1 e 2.

A “Área 3” é chamada de área do aeródromo ou do heliporto e consiste em uma extensão de 90 m a partir do eixo da pista principal e 50 m a partir das pistas de táxi e outras áreas de movimentação.

É definido como obstáculo nesta área tudo o que estiver acima de 0,5 m do plano horizontal que passa pelas margens das áreas de movimentação.

A coleta e divulgação de dados para a Área 3 são facultativas, sendo realizada apenas quando se julgar conveniente.

A “Área 4” é definida por uma área retangular que se inicia na cabeceira da pista e se estende por 900 m de comprimento com 120 m de largura. Dados de terreno e obstáculos coletados nesta área são insumos para a geração da carta PATC (*Precision Approach Terrain Chart*) utilizada para aproximação com radar altímetro e deverão ser levantados apenas para os aeródromos que possuem o instrumento de pouso ILS (*Instrument Landing System*) de categoria II ou III.

3 METODOLOGIA EMPREGADA NO PROJETO E-TOD PARA A ÁREA 2

A metodologia apresentada neste artigo considera-se um bloco fotogramétrico já orientado e posicionado, ou seja, com todos os parâmetros de orientação exterior conhecidos e ajustados para todo o bloco.

A partir do bloco orientado, é gerado automaticamente um Modelo Digital de Superfície, sem a preocupação de se especificar parâmetros ou estratégias para regiões diferentes. O modelo poderá ser gerado em estrutura de TIN no formato LTF, a fim de tornar mais conveniente uma futura edição. A resolução das células do MDS em pauta deverá ser de, no máximo 100, vezes o tamanho do pixel original da imagem.

Sendo assim, para fotografias aéreas com resolução espacial de 15 cm, o MDS deverá ser gerado com células menores que 15 m. Para este artigo, sugere-se o valor de 10 m. O espaçamento indicado visa contemplar maiores detalhes a fim de melhorar o desempenho da análise de áreas críticas.

Ressalta-se que a geração automática de um MDS por fotogrametria tende a não detectar objetos muito altos, ou seja, com uma grande variação de altitude em relação ao terreno. Tal fato se deve à grande paralaxe (maior do que a janela de busca) existente entre o par de fotografias onde o objeto aparece. Por esta razão, ao final do processo, uma análise visual deve ser efetuada nos modelos estereoscópicos com o gabarito a fim de se verificar os possíveis obstáculos não detectados no MDS.

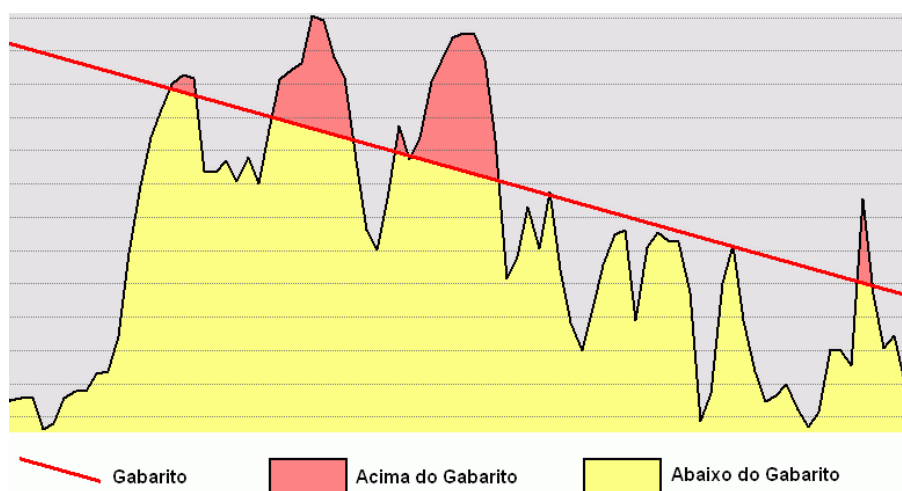


Figura 3 : Perfil de uma análise do gabarito com o MDS. *Manual do ICA (2012).*

A partir do gabarito vetorial 3D deverá ser gerada uma superfície no formato de rede irregular de triângulos (TIN) e posteriormente convertida para um formato de grade regular (raster) a fim de possibilitar uma análise frente ao MDS raster.

A obtenção de áreas com os obstáculos a serem restituídos é feita por meio de uma análise entre o gabarito e o MDS, ambos no formato raster. A análise em questão consiste na operação de álgebra de mapas entre os dados.

Observando a Figura 2.2, é possível perceber que uma operação de subtração do tipo (MDS – Gabarito) resultará em uma superfície matricial onde o módulo dos valores indica a distância do MDS ao gabarito. Os valores positivos desta superfície resultante indicarão as porções do MDS acima do gabarito de obstáculos, ao passo que os valores negativos indicarão as áreas do MDS abaixo do gabarito. Nas áreas de interseção entre as duas superfícies, as células resultantes apresentarão valores nulos.

Portanto, a classificação de áreas acima e abaixo do gabarito consiste na separação entre os valores respectivamente positivos e negativos da superfície resultante da subtração entre o MDS e o Gabarito. As áreas acima do gabarito de obstáculos constituem áreas críticas cujos elementos (obstáculos) deverão ser restituídos.

A metodologia proposta visa identificar áreas críticas para o levantamento de obstáculos nas áreas com requisitos da Área 2. Dentro da área do aeroporto, todos os elementos deverão ser restituídos, incluindo terminal de passageiros, hangares, torre de controle, torres de iluminação, e todas as edificações que compõem a infra-estrutura aeroportuária.

A principal informação a ser extraída dos obstáculos será a altitude. Por este motivo, os dados de obstáculos serão necessariamente 3D. Além da informação altimétrica, os atributos listados e descritos no Apêndice A deverão constar na base de dados de obstáculos. Ressalta-se que apenas os elementos que se situarem acima do gabarito de obstáculos deverão ser restituídos.

A restituição dos obstáculos deverá ser primeiramente separada em três tipos de dados: pontos, linhas ou polígonos. A restituição de obstáculos do tipo ponto é considerada a mais simples, pois se trata da medição de um único ponto em obstáculos como postes, torres de celular ou de transmissão, antenas, árvores e outras feições do tipo.

Obstáculos do tipo polígono são todos os outros que não sejam considerados pontos ou linhas. Todos os vértices que definem obstáculos desta natureza devem ser restituídos.

4 PROJETOS

Atualmente o ICA está desenvolvendo o projeto e-TOD para 5 aeroportos brasileiros listados a seguir: Aeroporto Internacional de Confins, Aeroporto Internacional do Galeão, Aeroporto Santos Dumont, Aeroporto Internacional de Guarulhos e Aeroporto de Congonhas.

As fotos aéreas do projeto de Confins foram obtidas pelo 1º/6º Grupo de Aviação, esquadrão aéreo da Força Aérea Brasileira que executa atividades de reconhecimento e aerolevantamento, ainda com a câmara métrica analógica RMK-A.

O referido esquadrão executou o aerolevantamento convencional em escala 1:8.000 para uma área composta por um raio de 10 km da pista do aeroporto internacional de Confins-MG. O bloco todo contou com 19 faixas e um total de 635 fotografias.

Por se tratar do método convencional, houve a necessidade de se levantar pontos de controle, a fim de se obter pontos para a aerotriangulação e possibilitar o cálculo dos parâmetros de orientação exterior. Um total de 212 pontos foi coletado ao longo de toda a área, sendo 176 de controle e 26 de checagem. Após a aerotriangulação, o desvio-padrão horizontal foi de 0,375m e o desvio-padrão vertical de 0,340m.

As imagens dos Aeroportos Internacional do Galeão e Santos Dumont foram obtidas em um único voo realizado pela empresa Topocart com a câmara digital Vexcel UltraCam-X, totalizando uma área de 736 km², conforme a Figura 4.

O projeto foi composto por 1429 imagens aéreas com GSD de 15 cm distribuídas em 26 faixas. Foram levantados 25 pontos de controle e 25 pontos de verificação. Após a aerotriangulação, o desvio-padrão horizontal foi de 0,171m e o desvio-padrão vertical de 0,158m.

As imagens dos Aeroportos Internacional de Guarulhos e Congonhas foram obtidas em um único voo realizado pela empresa Imagem com a câmara digital ADS-80, totalizando uma área de 1012 km², conforme a Figura 5.

O projeto foi composto por imagens aéreas com GSD de 15 cm distribuídas em 20 faixas. Foram levantados 31 pontos de controle e 34 pontos de verificação. Após a aerotriangulação, o desvio-padrão horizontal foi de 0,38m e o desvio-padrão vertical de 0,260m.

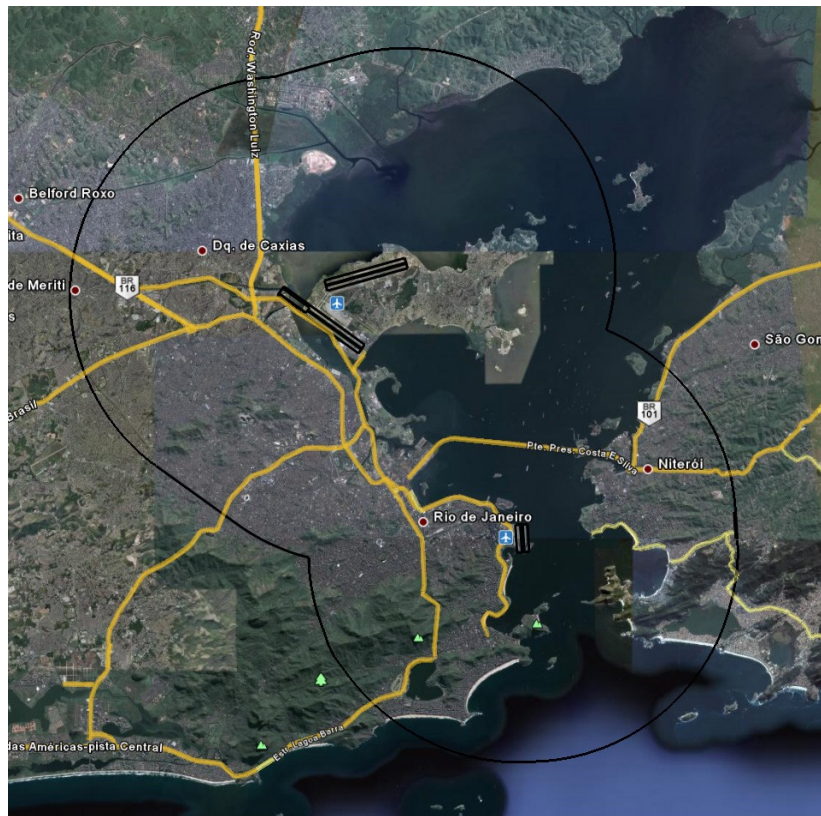


Figura 4 : Área do projeto do Rio de Janeiro. ICA (2010).

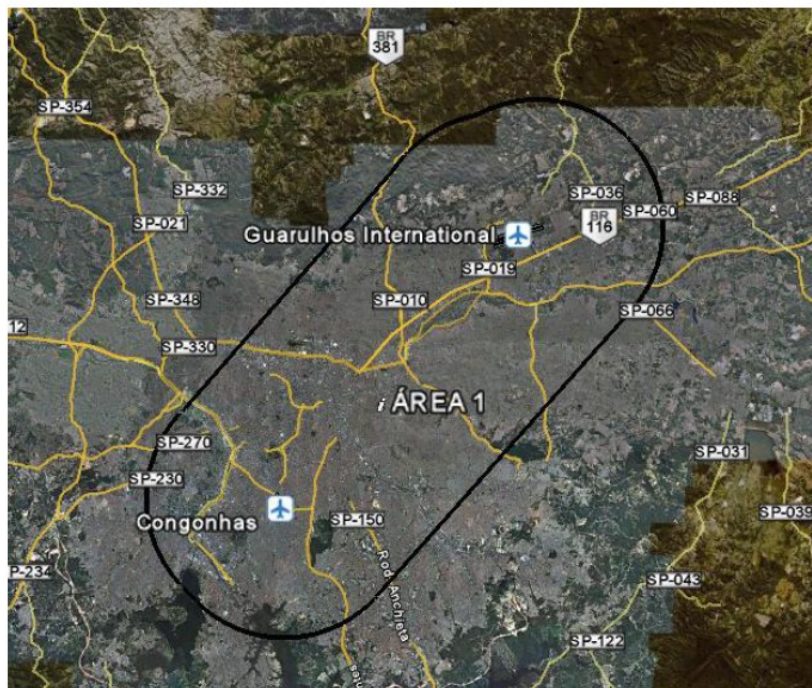


Figura 5 : Área do projeto de São Paulo. ICA (2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os dados e-TOD compõem uma importante fonte de informação altimétrica como auxílio para diversas aplicações, dentre as quais se destacam a elaboração de procedimentos e a confecção de cartas aeronáuticas.

A relevância de tais dados inseridos em um sistema de banco de dados geográficos e de informações aeronáuticas se dá também no sentido de acompanhar a modernização do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.

A respeito do levantamento de dados para projetos futuros, o ICA pretende trabalhar a partir de fotografias aéreas digitais obtidas por meio de voo apoiado com GPS e sistema inercial, de modo a proporcionar maior qualidade das imagens e maior rapidez nas etapas necessárias para a obtenção de dados tridimensionais a partir de fotogrametria para os demais aeroportos internacionais, além de verificar a aplicabilidade da tecnologia laser aerotransportável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, W.T.; R.L. Santos e C.S. Lage, 2003.** *A Modelagem Digital de Elevação como Instrumento de Análise da Ocupação do Sítio Urbano*, In Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte-MG, Brasil (CD-ROM).
- Costa, T.C.C.; D.P. Ramos; N.R. Pereira; M.C.D. Bueno; J.M. Baca; E.C.C. Fidalgo; M.S.P. Meirelles; R.P. Oliveira e L.J.O. Accioly, 2005.** *Suporte a decisão para qualidade de terras para a agricultura familiar*, In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-GO, Brasil, pp 73-82.
- Filho, V.M.A., 2003.** *Carta Eletrônica Aeronáutica - Uma meta a ser atingida*, In Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte-MG, Brasil (CD-ROM).
- Fonseca, B.M.; G.A. Carvalho e A.C.M. Moura, 2007.** *O Uso dos Modelos Digitais de Elevação no Mapeamento, Análise e Ensino da Geomorfologia*, In Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, pp.2095-2099.
- Gomes, C.J.M.; C.B. Pereira; R.V. Lasperg; M.K. Lima; L.M. Pereira e M.L.R.A. Cajaraville, 2008.** *Modelo Digital de Terreno como apoio à navegação aérea*, In Anais do VIII Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis-SC, Brasil.
- ICAO, 2004.** *Doc 9881: Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information*. International Civil Aviation Organization, Montreal, Quebec, Canada, 345 páginas.
- Mosquera-Machado, S. e S. Ahmad, 2007.** *Flood hazard assessment of Atrato River in Colômbia*. Water Resources Management. Vol .21, Nº 3, pp.591-609.
- Quinn, P.; K. Beven; P. Chevallier e O. Planchon, 1991.** *The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models*. Hydrological Processes. Vol. 5, Nº 1, pp.59-79.
- Tarboton, D. G., 1997.** *A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models*. Water Resources Research, Vol. 33, Nº 2, pp.309-319.