

Módulo Computacional para Geração Semi-Automática de Planos de Vôos Fotogramétricos

Thiago Tiedtke dos Reis
Antonio Maria Garcia Tommaselli
Roberto da Silva Ruy

UNESP – Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305 – CP 467
19060-900 - Presidente Prudente - S.P.
tiedtke@gmail.com
tomaseli@fct.unesp.br
rruy@prudente.unesp.br

Resumo: Uma das etapas fundamentais do projeto fotogramétrico é o planejamento de vôo, que deve ser calculado de forma rápida e precisa. Esta etapa representa uma fase crítica para as empresas de mapeamento, pois falhas nos cálculos podem comprometer todo o projeto. Apresenta-se neste trabalho um módulo computacional para a geração e controle de planos de vôo fotogramétricos de forma semi-automática. O módulo computacional foi desenvolvido por meio de macros no *AutoCAD*, com suporte à sintaxe *VBA (Visual Basic for Applications)*. A idéia é que o programa de plano de vôo opere de forma integrada ao software *CAD*, de modo que o usuário possa definir a área de mapeamento e visualizar graficamente o plano de vôo sobre um mapa digital.

Palavras-chave: plano de vôo, CAD.

Abstract: One of the most important steps of the photogrametric process is the flight planning, which must be computed quickly and accurately. This step is critical because wrong calculations can ruin the entire project. This work presents a computer program aiming at an assisted semi-automatic photogrammetric flight planning. This program was developed using macros interface in *AutoCAD*, with *VBA (Visual Basic for Applications)* language. The main idea of this methodology is to integrate the flight planning application with the *CAD* software, so the user can define and visualize the mapping area over the digital database.

Keywords: Flight planning, Photogrammetric project, CAD.

1 Introdução

Os constantes avanços da tecnologia permitem a utilização de câmeras digitais em Fotogrametria, com coberturas fotográficas sem custos adicionais inerentes aos processos analógicos (revelação e escanização dos filmes), e com menos influências de fatores mecânicos dos dispositivos que compõem as câmaras métricas convencionais bem como dos scanners.

Mas para que todo o processo de aquisição das imagens ocorra de forma adequada e eficaz, faz-se necessário o uso de técnicas controladas de planejamento de vôo de forma rápida e precisa. Como esta etapa é crítica e exige interação com o usuário, apresenta-se neste trabalho um módulo computacional para a geração e controle de planos de vôo fotogramétricos de forma assistida.

Apesar da simplicidade dos cálculos envolvidos em um planejamento de vôo, este módulo foi desenvolvido com o intuito de isentar o usuário de tarefas repetitivas e tediosas, evitando um desgaste de tempo no projeto fotogramétrico e reduzindo as possibilidades de erros grosseiros nesta etapa crítica. Destaca-se nesta abordagem a integração com o software CAD, proporcionando maior robustez e simplicidade na manipulação dos dados. Além disto, o módulo computacional desenvolvido exporta os dados gerados diretamente para os dispositivos de navegação por GNSS, e gera relatórios finais com todos os dados do projeto.

Este módulo computacional faz parte de um projeto de inovação tecnológica que está em desenvolvimento pela empresa Engemap Engenharia e Mapeamento Ltda, e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

2 Plano de vôo fotogramétrico

Segundo ANDRADE (2003), o vôo fotogramétrico ou recobrimento aerofotogramétrico é a cobertura fotográfica especialmente projetada para mapear uma dada região. A realização desta operação está sujeita a uma série de limitações, que restringem o tempo para a realização do vôo, e também obedece a parâmetros técnicos que caracterizam a natureza fotogramétrica da operação.

É grande o número de variáveis que se interdependem para a definição dos elementos do vôo fotogramétrico e posterior utilização racional das fotografias. Por esta razão, o planejamento do vôo é de grande importância, pois consiste na seleção dos recursos disponíveis mais adequados para o trabalho a ser realizado e, com base nestes recursos, calculam-se os elementos necessários para a elaboração do mapa de vôo e a lista de especificações que orientarão a equipe de bordo na execução do projeto de recobrimento aerofotogramétrico.

Em um planejamento de vôo, alguns dados devem ser informados para cálculo dos elementos que serão usados durante o vôo. Os principais valores que devem ser definidos como dados de entrada são: localização da área a ser fotografada (delimitação da região), dados da câmara (distância focal, tempo de exposição, etc.), velocidade da aeronave, escala da foto, superposições longitudinal e lateral, entre outros.

Os principais valores de saída de um plano de vôo são a aerobase, intervalo entre as exposições, avanços longitudinal e lateral, número de faixas, fotos e modelos, tempo de exposição, arrastamento, entre outros. A seguir, as principais equações envolvidas no cálculo do plano de vôo fotogramétrico são apresentadas.

A relação que estabelece a escala média de uma fotografia aérea pode ser dada por:

$$E = \frac{f}{H_V} = \frac{f}{h_V - h_M} \quad (1)$$

onde:

E – escala da fotografia aérea vertical;
 f – distância focal da câmara (mm);
 H_V – altura de vôo (m);
 h_V – altitude de vôo (m);
 h_M – altitude média do terreno (m).

Outros valores envolvidos no cálculo de um plano de vôo são a aerobase e o avanço lateral (no caso de blocos):

$$b = l_h \left(1 - \frac{S_V}{100} \right) \quad (2)$$

$$w = l_w \left(1 - \frac{S_L}{100} \right) \quad (3)$$

$$B = \frac{b}{E} \quad (4)$$

$$W = \frac{w}{E} \quad (5)$$

onde:

b – fotobase (mm);

B – aerobase (m);

S_V – superposição a vante (%);

l_h, l_w – dimensões do quadro focal da câmara (mm);

S_L – superposição longitudinal (%);

w – avanço lateral na foto (mm);

W – avanço lateral (m);

Deve-se observar para o fato de no caso de rotação da câmara em torno do eixo Z (ângulo κ), e conseqüentemente no quadro focal, torna-se necessária a permuta entre os valores atribuídos aos parâmetros l_h e l_w nas equações 2 e 3.

De posse do valor da aerobase, pode-se calcular o intervalo entre as tomadas das fotografias:

$$T = \frac{B}{v} \quad (6)$$

onde:

T – intervalo entre cada tomada fotográfica;

v – velocidade da aeronave em m/s.

Com os valores de velocidade, aerobase e o comprimento da faixa a ser fotografada (área), pode-se calcular outros parâmetros importantes do levantamento, antes mesmo de iniciar o vôo, com o uso das equações abaixo:

$$N_{FF} = \left(\frac{C_F}{B} \right) + 4 \quad (7)$$

$$N_L = \left(\frac{L_F}{W} \right) + 1 \quad (8)$$

$$N_{TF} = N_{FF} * N_L \quad (9)$$

sendo:

C_F – comprimento da faixa/bloco (m);

N_{FF} – número de fotos por faixa;

N_L – número de linhas de vôo;

L_F – lado do bloco (m);

N_{TF} – número total de fotos do bloco/faixa;

Demais detalhamentos dos cálculos podem ser encontrados em ANDRADE (2003) e em DALMOLIN (1999).

3 Metodologia

Neste trabalho apresenta-se um módulo computacional para a geração assistida de planos de vôo fotogramétricos, com características que o tornam atrativas do ponto de vista prático. De uma forma geral, os processos envolvidos na geração de um plano de vôo automático (faixas e/ou blocos) estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 1).

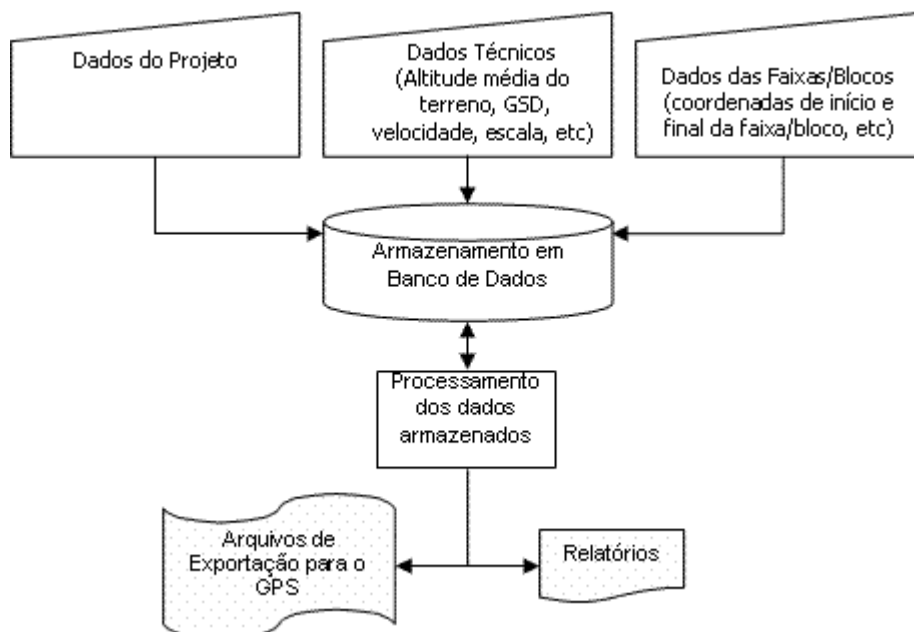


Figura 1 : Fluxograma de funcionamento do sistema

Como se pode observar na Figura 1, todo o módulo funciona em torno de uma base de dados única, o que torna a inclusão e manutenção dos dados mais segura e confiável, visto que elimina processos de leitura e gravação de valores em diversos arquivos separados. Para isto, utilizou-se um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) produzido pela Microsoft, denominado Access. Decidiu-se pela escolha do Microsoft Access como SGBD pela facilidade de uso e também pelo suporte nativo oferecido sobre o sistema operacional Microsoft Windows.

Além disto, definiu-se a forma de interação do usuário com o sistema. Analisando-se as reais condições do usuário final dessa aplicação, verificou-se que, na maioria dos casos, dos casos os ambientes CAD utilizados nas empresas de Cartografia são o *AutoCAD* (AutoDesk) e o *MicroStation* (Bentley). Dentre estes, optou-se pelo *AutoCAD* para o desenvolvimento deste trabalho. O módulo computacional foi desenvolvido por meio de macros, com suporte à sintaxe *VBA* (*Visual Basic for Applications*). A idéia é que o programa de plano de vôo opere de forma integrada ao software *Cad*, de modo que o usuário possa definir a área de mapeamento e visualizar graficamente o plano de vôo sobre um mapa digital.

Na Figura 2 apresenta-se a modelagem dos dados para a representação da abordagem proposta, de forma a garantir integridade dos dados armazenados e tornar fácil e rápida a recuperação e manutenção desses dados.

O sistema é composto de um diálogo com quatro seções, onde o usuário pode inserir, alterar ou excluir dados que compõem um projeto de uma faixa ou bloco para um vôo fotogramétrico. As seções seguem um perfil semelhante, o que induz o usuário a agir de forma similar em todas as configurações, tornando mais fácil a manipulação do sistema.

Além da característica de validação dos dados de entrada que foram estabelecidas, foram envolvidos

esforços na automatização dos processos, para aumentar a integridade do processo e evitar possíveis erros humanos.

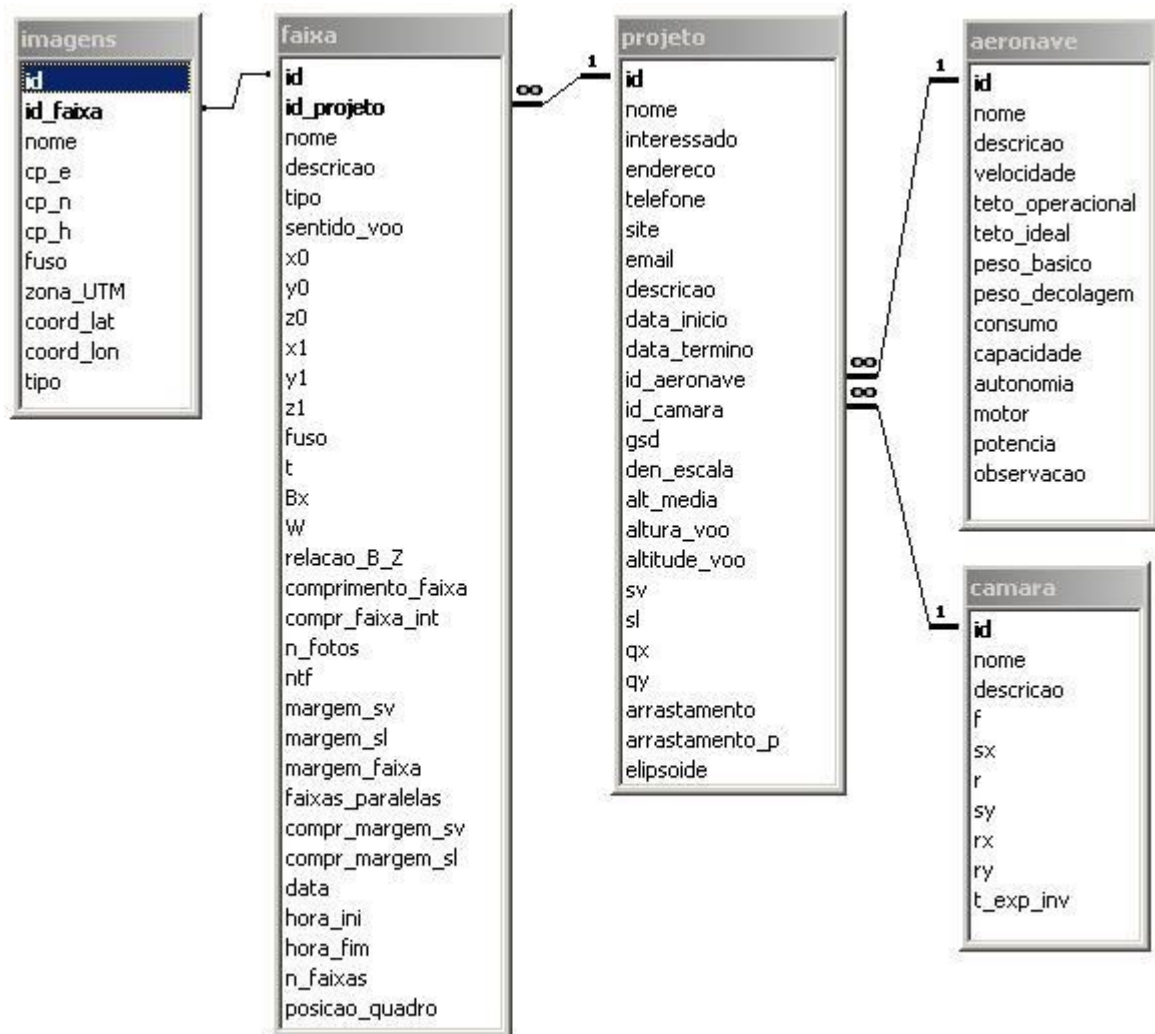


Figura 2 : Modelo de dados do sistema

Conforme destacado nesta metodologia, utiliza-se uma base de dados digital diretamente carregada no *AutoCAD*. O programa opera de forma ligada a esta base, de forma que todas as informações necessárias para o cálculo do plano de vôo possam ser obtidas diretamente na base digital. Além disto, os recursos inerentes aos softwares CAD podem ser usados para maior comodidade e confiabilidade na operação do sistema, como as funções de zoom e a seleção de entidades (*layers*) para visualização.

Deste modo, considera-se que o usuário inicie suas operações de medidas sobre um arquivo já existente, com dados vetoriais georreferenciados. Para maior facilidade de operação, o programa contempla funções de conversão entre sistemas de coordenadas geográficas e UTM. Dessa forma, o usuário não precisa se preocupar com mudanças entre fusos em uma faixa ou bloco, sendo tudo isso tratado internamente pelo sistema.

É importante destacar que se o usuário não possuir uma base de dados digital, o programa permite que sejam definidas manualmente as coordenadas dos pontos que definem a faixa e/ou bloco.

Para melhor entendimento, a Figura 3 mostra um layout da tela de “Configuração das Faixas” do programa, onde se podem observar os campos para entrada manual das coordenadas (em destaque). Para a definição da área a ser mapeada via base digital, o usuário acessa a função *obter coordenadas e*

define no mapa as posições inicial e final da faixa e/ou bloco. Além disto, nesta sessão também se calculam todos os dados do voo, o arquivo vetorial é atualizado, e os arquivos de exportação para o GPS de navegação são gerados.

Após o processamento, todos os dados são salvos na base de dados e podem ser acessados novamente para posterior manutenção ou exclusão. Por fim, um relatório em *html* é gerado com todas as configurações e parâmetros calculados no plano de voo.

The screenshot shows the 'Planejamento de Vãos Fotogramétricos' window with the 'Configuração das Faixas' tab selected. The 'Projeto' field contains '13 - PROJETO DE VOO FOTOGRAMÉTRICO UNESP' and the 'Nome da Faixa ou Bloco' field contains 'BLOCO 01-B W-E'. The 'Levantamento do Tipo' section has 'Bloco' selected. The 'Coordenadas que definem o Bloco' section is highlighted with a blue box and contains the following fields: E0 (m) and N0 (m) (both green), E1 (m) and N1 (m) (both cyan), and Fuso Inicial (22). A 'Obter Coordenadas...' button is located to the right of these fields. Below this, the 'Configurações para a Faixa e/ou Bloco' section includes: Margem de segurança longitudinal (2 modelos), Margem de segurança lateral (bloco) (2 modelos), Margem de Segurança p/ Alinhamento (5 Quilômetros), Sentido do Voo (bloco) (Leste<->Oeste), Faixas Paralelas à Faixa Principal (Sem Faixas Paralelas), and Posição do Quadro Focal (Normal). At the bottom, there are buttons for 'Salvar e Processar', 'Apagar', 'Exibição dos Itens...', and 'Sair'.

Figura 3 : Seção de configuração das Faixas e Blocos

Como exemplo, a Figura 4 apresenta os dois tipos de entidades gráficas (faixa e bloco) geradas pelo programa sobre um arquivo vetorial digital do Estado de São Paulo. Em detalhe vermelho uma faixa, e em verde um bloco.

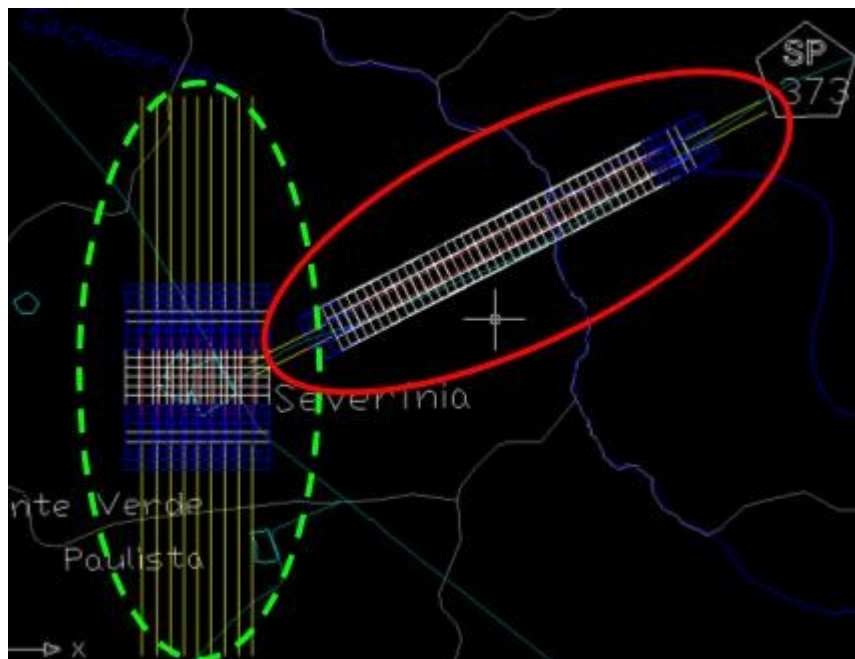


Figura 4 : Exemplo de uma faixa (vermelha) e um bloco (verde), gerados pelo programa de plano de voo.

4 Experimentos

Para testar o módulo de planos de voo automático desenvolvido, definiu-se uma área teste no entorno do campus da UNESP de Presidente Prudente/SP. Para este experimento utilizou-se uma base de dados vetorial da região de estudo no formato *dwg*.

Com base nos dados de entrada da tabela 1, todos os cálculos envolvidos no plano de voo foram realizados de forma manual, resultando nos dados de saída exibidos na mesma tabela.

Tabela 1: Dados de entrada x dados de saída.

| Dados de Entrada | | Dados de Saída | |
|--|------------|---------------------------------|----------|
| Velocidade do voo (km/h): | 250 | Base aérea (m): | 220,320 |
| Câmara Usada: | Hasselblad | Avanço Lateral (m): | 326,400 |
| Distância Focal (mm): | 50 | Número de Faixas: | 4 |
| Tamanho do pixel em micrometros (X x Y): | 9 x 9 | Número de Fotos por Faixa: | 10 |
| Resolução em X (pixel): | 7334 | Número total de Fotos: | 40 |
| Resolução em Y (pixel): | 5440 | Intervalo entre as tomadas (s): | 3,172 |
| Tempo de exposição (s): | 1 / 750 | Escala da Foto: | 1/16666 |
| Altitude média do Terreno (m): | 440 | Altitude de Voo(m): | 1273,333 |
| Tamanho do pixel no terreno – GSD (m) | 0,15 | Relação B/Z: | 0,2643 |
| Superposição Longitudinal (%) | 80 | | |
| Superposição Lateral (%) | 60 | | |

Considerando os mesmos dados de entrada apresentados na Tabela 1, o programa de plano de voo automático desenvolvido foi executado, gerando um relatório de saída que segue exibido na tabela 2. Nota-se nestes dados uma fidelidade dos valores calculados pelo software e os calculados de forma manual.

Tabela 2: Tabela emitida pelo sistema, com um trecho de informações sobre os CPs que compõem o bloco.

| Faixas e Blocos Selecionados: | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Tipo | Nome da Faixa/Bloco | Sentido | Margem Lateral (modelos) | Margem Longitudinal (modelos) | Faixas Paralelas | Margem Piloto (Km) | Base Aérea (m) | Avanço Lateral (m) | Total de Fotos | Posição do Quadro | Tempo Entre Tomadas(s) |
| Bloco | BLOCO GSD15 | L<->O | 0 | 0 | Nenhuma | 0 | 220,320 | 326,400 | 40 | Normal | 3,172608 |
| BLOCO GSD15 | | | | | | | | | | | |
| E0 | N0 | E1 | N1 | B/Z | Núm. Faixas | Fotos por Faixa | | Total Fotos | | | |
| 456381,220 | 7554207,340 | 458364,100 | 7553228,140 | 0,264384 | 4 | 10 | | 40 | | | |
| Informações sobre os CPs | | | | | | | | | | | |
| Identificador | Tipo CP | Coordenada E | Coordenada N | Fuso | Zona UTM | Latitude | | Longitude | | | |
| B0F36C001 | CPs Imagens | 456381,220 | 7554207,340 | 22 | K | -22° 06' 59,453183 | | -051° 25' 22,509456 | | | |
| B0F36C002 | CPs Imagens | 456601,540 | 7554207,340 | 22 | K | -22° 06' 59,473046 | | -051° 25' 14,819366 | | | |
| B0F36C003 | CPs Imagens | 456821,860 | 7554207,340 | 22 | K | -22° 06' 59,492808 | | -051° 25' 7,129273 | | | |
| B0F36C004 | CPs Imagens | 457042,180 | 7554207,340 | 22 | K | -22° 06' 59,512470 | | -051° 24' 59,439178 | | | |

Na figura 7 pode-se observar o novo bloco de fotografias gerado sobre a base de dados original, sendo que a caixa em destaque define os limites do bloco. Como o sistema possui opções para auxiliar a montagem de um plano de voo, outras entidades gráficas foram representadas sobre o CAD, como por exemplo, os alinhamentos para a aeronave e as faixas que compõem o bloco.

**Figura 5 :** Novo bloco criado, sobrepondo as feições inseridas manualmente.

Além da facilidade de se poder visualizar as posições dos CPs, as linhas de voo, os quadros focais de cada aquisição projetados no terreno, ainda pode-se usar o relatório gerado para a conferência dos elementos calculados no plano de voo, com muitas informações que auxiliam no planejamento de processos técnicos e até na tomada de decisão sobre a validade ou não do levantamento gerado.

5 Conclusão

Pelos resultados obtidos nas simulações e nos experimentos reais pôde-se verificar a importância de uso de uma ferramenta automática para a geração de planos de vôos, possibilitando a otimização do tempo de execução e limitando os erros humanos inerentes aos cálculos.

Aliado a isto se verifica a facilidade de exportação dos dados de vôo para os receptores GPS de navegação, com arquivos que são diretamente carregados pelo piloto sem a necessidade de inserção manual de informações. Todas estas características possibilitam maior agilidade e confiabilidade no processo.

Agradecimentos:

Este trabalho é financiado pela FAPESP (Processo nº 05/58164 - 2).

Referências Bibliográficas

Andrade, J.B.: *Fotogrametria*. Curitiba, 2003.

Dalmolin, Q.: *Projeto Fotogramétrico*. Editora UFPR, Curitiba, 1999.