

Mapeamento com filmadora: uma análise da viabilidade

Prof. Dr. Júlio Kiyoshi Hasegawa ¹
 Prof. Msc. Paulo de Oliveira Camargo ²

Unesp/FCT - Departamento de Cartografia
 19.060-900 Presidente Prudente - SP

¹ ✉ hasegawa@prudente.unesp.br

² ✉ paulo@prudente.unesp.br

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Coleta de Dados
	2.1 Aquisição das imagens
	2.2 Sistema de Posicionamento Global
	3. Calibração da Filmadora
	3.1 Modelo Matemático de Calibração
	3.2 Parâmetros de Calibração da Filmadora
	4. Processamento das imagens
	4.1 Restituição Fotogramétrica
	4.2 Retificação
	5. Comentários e Conclusões
	6. Referências Bibliográficas

Resumo: O desenvolvimento de sensores digitais para coleta de informações acerca da superfície têm despertado grande interesse devido ao baixo custo operacional. Esse baixo custo pode ser verificado, mais acentuadamente, quando da utilização de pequenas aeronaves no processo de aquisição das imagens, se comparada ao processo convencional. Esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do mapeamento utilizando imagens geradas pelas filmadoras. Nesse contexto, a filmadora utilizada (padrão VHS) será submetida a uma calibração cujos parâmetros de orientação interior serão utilizados no pré-refinamento das coordenadas observadas no processo de restituição. Os pontos de apoio, necessários na orientação exterior do modelo, serão determinados utilizando-se da técnica DGPS (Differential GPS) pós-processado, que permite o cadastro das feições com precisão de decímetros.

Abstract: The development of digital sensors for acquisition of surface information has been waking up interest due to the operational low costs. That low costs can be more strongly verified when small airplanes are used in the acquisition process, if compared with the conventional process. The aim of this work is to analyze the viability using images acquired with a video camera in the mapping productions. In this context, standard VHS cameras were used and the interior orientation parameters were obtained by a pre-calibration process. With this parameters, the image coordinates can be pre-refined and used in the discrete restitution process. The ground control points used in the exterior orientations of the images were determined by post-processed ,Differential GPS technique that allows the determination of the features with a sub meter accuracy.

1. Introdução

A automação dos processos fotogramétricos de produção de mapas ou reconstrução de objetos teve um grande avanço com o desenvolvimento e a disponibilidade de sistemas digitais de processamento de imagens, principalmente com o desenvolvimento de softwares e hardwares. O processo de automação da produção fotogramétrica de mapas digitais, utilizando sensores digitais, tem despertado grande interesse devido ao baixo custo operacional, flexibilidade de manipulação das informações e rapidez, proporcionando maior facilidade operacional quando da utilização de filmadoras.

Dentre as vantagens das filmadoras pode-se citar: rápida análise e processamento dos dados capturados, já que nenhuma revelação fotográfica é requerida; flexibilidade em captura de dados em áreas inóspitas e a baixa altitude; imagens contínuas são disponíveis, um revêo *virtual* ("playback") para reconhecimento é possível; e capacidade de gravar som permitindo comentários durante a aquisição de dados (Wright, 1992).

Atualmente, as filmadoras disponíveis possuem pequena área útil de recobrimento, tornando seu rendimento inferior, implicando em aumento de pontos de apoio. Ainda, problemas relacionados com resolução e estabilidade das câmaras degradam a qualidade dos dados geométricos obtidos. Entretanto, devido a flexibilidade e rapidez no processo de coleta e manipulação das informações, na expectativa do aumento da resolução e o aperfeiçoamento das filmadoras, esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade do mapeamento utilizando imagens geradas pelas filmadoras.

Desta forma, para viabilizar este procedimento o trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados procedimentos para aquisição de imagens e obtenção dos pontos de apoio; na seção 3 é apresentada a calibração da filmadora; na seção 4 são apresentados o processo de restituição e retificação/mono-restituição; e na seção 5 são apresentadas as conclusões finais.

2. Coleta de Dados

2.1 Aquisição das imagens

Wright (1992), realizou uma comparação de custos, para fins de mapeamento somente no processo de aquisição das imagens, entre filmadora S-VHS e câmara analógica de 70 mm. Verificou que a operação realizada com a filmadora teve um custo de apenas um terço do total quando comparada com a câmara analógica (70 mm), mas que, por outro lado, triplicou o número de pares estereoscópicos necessários para cobrir a mesma área.

Desta forma, a utilização de sensores digitais (mais especificamente de filmadoras) no processo de aquisição de imagens tem diminuído o custo operacional e facilitado a operação, muito embora venha a aumentar os custos no processamento das informações, devido ao pequeno ângulo de cobertura e, conseqüentemente, o aumento de números de quadros. Entretanto, com o rápido desenvolvimento tecnológico dos sensores digitais, esse aumento no número de imagens tendem a diminuir, provocando assim, uma diminuição no custo de processamento.

Uma das grandes vantagens no processo de aquisição das imagens com filmadora é a possibilidade de disponibilizá-las quase que em tempo real, pois a visualização e análise podem ser realizadas assim que capturadas pelo sensor e transmitidas ao computador. No caso do procedimento convencional isto não seria possível, pois a imagem após a exposição estaria em estado latente, a qual tornará uma imagem real (visível no negativo) após o processamento fotográfico em laboratório apropriado.

No processo de aquisição de imagens, além de controlar e direcionar a aeronave, o operador deve-se preocupar em tirar fotografias em intervalos de tempo preestabelecidos, definidos pelas condições atmosféricas (direção do vento) e velocidade da aeronave quando da utilização de sensores que captam imagens quadro a quadro (câmaras digitais). Assim, esta operação de recobrimento aerofotogramétrico tem causado muito desconforto ao operador, levando a falhas nas áreas fotografadas e, conseqüentemente, requerendo um novo sobrevôo da área.

Geralmente, as câmaras digitais e as filmadores possuem quadro (imagem) retangular, podendo assim ser posicionada com o lado maior ou menor na direção do vôo, implicando num maior ou menor rendimento no processo de aquisição das imagens. Desta forma, se o lado maior for posicionado ao longo do vôo as distâncias entre as faixas serão menores, mais faixas serão necessárias para se cobrir a mesma área, implicando em aumento do custo no processo de aquisição. Por outro lado, esta condição poderia beneficiar o processo de reconstrução, principalmente em determinações altimétricas, pois a base do modelo seria maior gerando um ângulo de interseção maior.

As câmaras de pequeno formato, tendem a dar uma baixa precisão altimétrica devido a geometria proporcionada pela interseção dos raios (ângulo de interseção pequeno, aproximadamente de 40°).

O vôo foi realizado em duas áreas distintas, na rural com escala aproximada de 1/23000 e na urbana com escala aproximada de 1/9000. Nas duas áreas a aquisição das imagens foi realizado com a filmadora posicionada com o lado maior na direção perpendicular à linha de vôo.

2.2 Sistema de Posicionamento Global

O NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Range- Global Positioning System) é um sistema de navegação, apoiado numa constelação de satélites artificiais, atualmente mais conhecido por GPS, que proporciona ao usuário a sua posição tridimensional, além de informações sobre sua velocidade e sobre o tempo. Este sistema vem revolucionando todas as atividades que precisam de posicionamento, entre os quais destacam-se aquelas ligadas as áreas de Cartografia e Agrimensura (Dal Poz et al, 1997) e Agricultura de Precisão (Monico et al, 1998). Desta forma, dependendo da finalidade do trabalho, utiliza-se diferentes métodos de levantamento e processamento.

Neste trabalho a determinação das posições (coordenadas UTM) dos pontos de apoio foram obtidos por meio do DGPS (Differential GPS). O DGPS foi desenvolvido com o objetivo de reduzir a degradação imposto ao GPS com a introdução do SA (Selective Availability). E o seu conceito envolve o uso de um receptor na base, de coordenadas conhecida, não muito distante da estação a ser posicionada, pois a precisão é degradada em função do afastamento da base, devido a uma forte correlação entre os erros na base e na estação móvel. Na base aplica-se o conceito de posicionamento por ponto, que permite calcular as correções posicionais de pseudo-distâncias ou de fase portadora. Desta forma, se o usuário receber tais correções, ele poderá corrigir as suas posições ou as observações, dependendo do método de correção adotado (Monico, 1997).

O levantamento foi efetuado em duas áreas distintas. Na área urbana, próxima à base, a precisão obtida para as coordenadas N, E e h foram 17 cm, 13 cm e 21 cm, respectivamente. Na área rural, aproximadamente à 31 km da base, as precisões foram de 47 cm, 26 cm e 35 cm para N, E e h, respectivamente.

3. Calibração da Filmadora

Para disponibilizar as informações (imagens) contidas nos sensores digitais com finalidade de reconstrução 3D, é necessário a determinação das constantes de orientação interior do sensor, condição esta que é alcançada calibrando-se as filmadoras. Esta calibração consiste, basicamente, na determinação dos parâmetros intrínsecos de orientação interior, simulando uma câmara ideal.

Geralmente, as equações fundamentais utilizadas na formação da imagem estão referenciadas às linhas retas (caminho) que o raio de luz descreve no meio ambiente, caracterizando assim, o comportamento da luz na área da ótica geométrica, pressupondo então, a necessidade de informações isentas de erros (sistemáticos).

A mais simples e primitiva câmara que representa com maior fidelidade as considerações da ótica geométrica é a de pinhole, conhecida como câmara de orifício ou buraco de agulha, que é uma caixa hermeticamente fechada com um pequeno orifício. Este dispositivo, teoricamente, deixa passar os raios de luz provenientes dos pontos objeto, projetando a cena invertida no plano oposto ao do orifício, produzindo uma imagem sem aberrações e sem distorções.

Entretanto, esta câmara deixa passar pouca luminosidade pelo pequeno orifício, tornando-a extremamente lenta, incapacitando-a para a maioria dos trabalhos fotográficos. Com a finalidade de eliminar este problema, usam-se lentes para aumentar a quantidade de luz que passa pelo orifício. Desta forma, as lentes utilizadas numa câmara fotográfica tem por finalidade reunir os raios de luz que vêm do objeto e focalizá-los em alguma posição do lado oposto à lente.

Contudo, o uso de lentes provocam imperfeições na imagem, degradando a nitidez e produzindo aberrações (aberração esférica, astigmatismo e curvatura de campo, coma e aberração cromática). Para diminuir estas aberrações, usam-se combinações de lentes,

procedimento este que provoca as distorções.

3.1 Modelo Matemático de Calibração

A equação de colinearidade reproduz matematicamente o processo de formação da imagem, fazendo a ligação entre as coordenadas dos pontos no espaço objeto (3D) e suas correspondentes coordenadas no espaço imagem (2D). A equação de colinearidade, rege a condição de que os três pontos (centro perspectivo, ponto imagem e ponto objeto) pertencem a mesma reta. Esta condição pode ser aplicada a todos os raios que passam pelo centro de projeção (ou ponto de vista ou ponto perspectivo), produzindo-se analiticamente a imagem.

$$x_p = -f \frac{m_{11}(X_p - X_c) + m_{12}(Y_p - Y_c) + m_{13}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (1)$$

$$y_p = -f \frac{m_{21}(X_p - X_c) + m_{22}(Y_p - Y_c) + m_{23}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (2)$$

onde,

X_p, Y_p e Z_p são as coordenadas cartesianas de P em relação ao sistema de coordenadas do objeto (referencial do espaço objeto),

X_c, Y_c e Z_c são as coordenadas do centro perspectivo em relação ao sistema de coordenadas do objeto,

f é a distância focal calibrada,

$m_{i,j}$ são os elementos da matriz de rotação, determinada em função das três rotações em torno dos eixos cartesianos e

x_p, y_p são as coordenadas do ponto no espaço imagem.

Desta forma, como os parâmetros de orientação da filmadora são instáveis devido ao processo de autofoco automático e não possuir um rigor geométrico das câmaras métricas, faz-se necessário a calibração dos parâmetros intrínsecos de orientação constantemente. Desta forma, o par de equações (01) e (02) devem ser modificado para o processo de calibração, introduzindo-se os prováveis erros ocorrido no processo de formação da imagem,

$$x_p - x_0 - dx_r - dx_c = -f \frac{m_{11}(X_p - X_c) + m_{12}(Y_p - Y_c) + m_{13}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (3)$$

$$y_p - y_0 - dy_r - dy_c = -f \frac{m_{21}(X_p - X_c) + m_{22}(Y_p - Y_c) + m_{23}(Z_p - Z_c)}{m_{31}(X_p - X_c) + m_{32}(Y_p - Y_c) + m_{33}(Z_p - Z_c)} \quad (4)$$

$$dx_r = (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) x \quad (5)$$

$$dy_r = (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) y \quad (6)$$

$$dx_c = P_1 (r^2 + 2x''^2) + 2P_2 x'' y'' \quad (7)$$

$$dy_c = 2P_1 x'' y'' + P_2 (r^2 + 2y''^2) \quad (8)$$

$$r^2 = x^2 + y^2,$$

onde, x_0 e y_0 são as coordenadas do ponto principal; K_1, K_2, K_3 são os coeficientes de distorção radial da lente; e P_1, P_2 são os coeficientes de distorção descentrada da lente.

3.2 Parâmetros de Calibração da Filmadora

Desta forma, aplicando-se os modelos matemáticos (equações - 03 e 04), que é um modelo expandido das equações de colinearidade, foi processado a calibração da filmadora, utilizando-se do programa desenvolvido por Galo (1993). A calibração foi realizada a partir das informações capturadas da filmadora, cujas imagens foram observadas por processo manual de pontaria (visualmente).

Ainda, conforme (Galo 1993) para calibrar imagens com câmaras de pequeno formato, os parâmetros K_2 , K_3 , P_1 e P_2 podem ser negligenciados, pois a influência deles é desprezível. Para fins de calibração foi considerada que a imagem gerada pela filmadora tivesse o mesmo formato da obtida com câmara de 35 mm (quadro focal de 35 x 25 mm).

Assim, como não foi possível realizar vôo especificamente para calibração, a filmadora foi calibrada com imagens tomadas em laboratório a uma distância aproximada de 1,5 m, obtendo-se os seguintes resultados:

$$F = 51.1380 \pm 0.5004\text{mm}$$

$$x_0 = -0.5758 \pm 0.1873 \text{ mm}$$

$$y_0 = -0.2317 \pm 0.3931 \text{ mm}$$

$$K_1 = -0.8139755 \times 10^{-04} \pm 0.6855 \times 01^{-05}$$

Verifica-se que os desvios padrão dos parâmetros de orientação interior da filmadora estão com valores acima do esperado, esse resultado pode ter sido provocado pelo procedimento adotado, pois foram utilizados somente duas imagens para calibração, quando seriam necessários tomadas inclinadas e em direções perpendiculares ($k = \sim 90^\circ$) (Andrade et al, 1981).

4. Processamento das imagens

A fase de processamento, aqui caracterizado como processo de reconstrução com imagens digitais (capturadas da filmadora através de placa de captura), utiliza-se basicamente de regras da Geometria Analítica e Teoria da Estimção para determinar as coordenadas tridimensionais de pontos no espaço objeto. Para tanto, faz-se necessário a identificação das feições homólogas a serem mapeadas, condição esta possibilitada pelas informações codificadas numericamente nas imagens (fotos).

4.1 Restituição Fotogramétrica

A restituição ou reconstrução 3D é um processo de transformação do sistema de projeção central (cônica) para ortogonal (mapa). Assim, para elaborar um mapa (digital), ou ainda, determinar as coordenadas dos pontos fotogrametricamente, deve-se formar um modelo tridimensional do objeto imageado. Assim, no processo de restituição ou reconstrução 3D, utilizando-se imagens, deve-se formar o modelo estereoscópico. O processo de formação do modelo estereoscópico visando a automação, reflete-se nas determinações automáticas das feições e conseqüentemente no problema de correspondência. Assim, devido as dificuldades de implementação da correspondência de pontos homólogos, neste trabalho, o processo foi realizado manualmente, ou seja, os pontos foram medidos monoscopicamente nas duas fotos.

A partir das observações realizadas nas telas (figura 01), a orientação interior foi realizada utilizando-se dos parâmetros calibrados (item 3.1.), destacando que a correção devido a refração atmosférica não foi considerada, pois o máximo valor (no extremo da imagem) não excedia 0,7 mm.

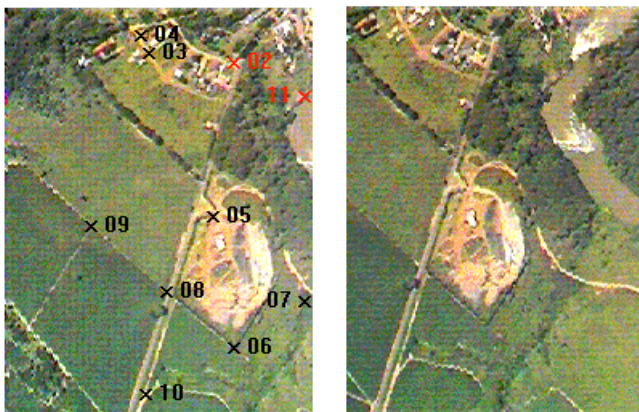


Fig. 1: Imagens com os pontos determinados por GPS, utilizado na restituição fotogramétrica.

Desta forma, o processo de reconstrução consiste basicamente no ajustamento dos pares de feixes (imagens) do bloco de fotografias (semelhante ao procedimento de fototriangulação) envolvendo rotações e translações de cada feixe. Estes feixes são definidos pelas equações 01 e 02. Assim, verificando as equações 01 e 02, reconstruir a superfície significa determinar as coordenadas X, Y e Z para todos os pontos de interesse.

Para verificar a precisão do procedimento, calculou-se as coordenadas de alguns pontos de verificação, obtendo-se os seguintes valores:

Tabela 01: Discrepâncias e Desvios-Padrão das coordenadas utilizando 8 pontos de apoio.

ponto	Erros E (m)	Erros N (m)	Erros h (m)
2	-1.656	2.000	11.094
3	-2.125	1.750	-7.137
4	4.406	-1.687	-0.480
5	-4.500	-1.437	-5.130
6	2.781	2.625	4.513
8	0.781	0.312	-8.414
9	1.875	-3.812	-0.547
10	2.375	-1.312	8.911
desvios	±2.675	±1.978	±6.424

As coordenadas dos pontos utilizado na tabela 01 foram determinados como sendo ponto de restituição, embora eles participem do processamento como sendo pontos de apoio.

Os erros listados nas representam a diferença entre as coordenadas obtidas pelo apoio de campo (GPS) e as determinadas no processo de restituição.

Tabela 02: Discrepâncias e Desvios-Padrão dos pontos utilizando cinco pontos de apoio.

ponto	Erro E (m)	Erro N (m)	Erro h (m)
11	-1.906	5.937	-0.759
2	-2.468	3.687	11.669
3	-1.000	0.812	7.716
4	4.656	-2.062	18.979
5	-2.531	-1.812	-12.583
6	4.843	5.062	-5.989
8	2.937	0.562	-10.371
9	5.343	-2.750	16.038
10	3.250	2.000	8.484
Desvios	±3.317	±3.075	±10.897

Observando os desvios das coordenadas planimétricas das tabelas 01 e 02, verifica-se que a restituição pode ser enquadrada como sendo da classe A para escala 1/10000, se for considerada o padrão de exatidão cartográfica (PEC). A questão altimétrica ficou comprometida, situação que era esperada, pois o uso de filmadora (ângulo de cobertura pequeno) não é favorável ao processo de interseção dos raios homólogos.

Devido ao uso da filmadora com padrão VHS, os resultado podem ter sido comprometidos, decorrente da resolução propiciada pelo equipamento, 640 x 480 pixels gerada pela placa de captura, embora a resolução da câmara seja de 320 x 240 pixels. Este fato pode ter provocado um serrilhamento nas feições, observadas em todas as imagens. Ainda, um outro fator que pode ter contribuído para este processo de deterioração da imagem pode ser o problema de arrastamento, pois as tomadas das imagens com a filmadora VHS estão sincronizadas para aproximadamente 1/25 do segundo.

4.2 Retificação

O processo de retificação de imagens consiste basicamente em corrigi-las da inclinação ocorrida no instante da tomada fotográfica. Para tanto, analiticamente, o processo preocupa-se em determinar os parâmetros de orientação exterior e posteriormente aplicá-las em todos os pixels para uma correção à nova posição na imagem retificada. Neste procedimento fica implícito que deverá ser aplicado algumas das técnicas de interpolação, no caso foi aplicado a interpolação bilinear para determinar o valor da intensidade do pixels na nova imagem retificada (figura 02-b).

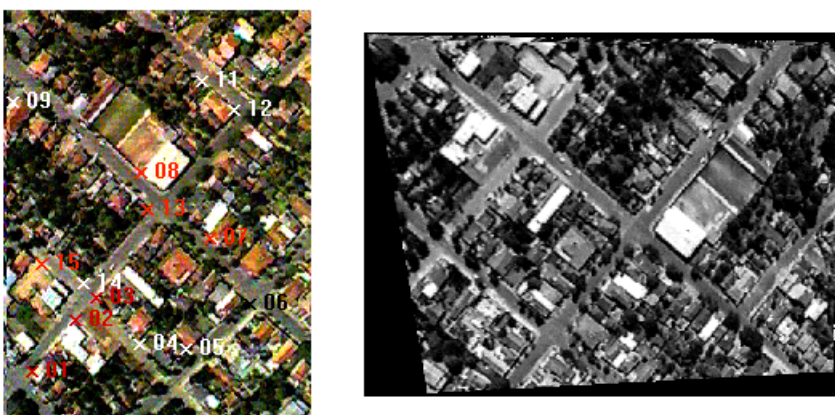


Fig. 2: a) Imagem Inclinação da Zona Urbana - b) Imagem retificada da Zona Urbana.

Tabela 03: Discrepâncias e Desvios-Padrão dos pontos utilizando cinco pontos de apoio.

--

Ponto	Erro E(m)	Erro N(m)
2	-1.750	1.609
3	-2.187	-0.570
4	-1.000	0.851
5	-1.781	-2.000
8	1.062	0.703
11	3.531	4.211
13	0.062	0.218
14	-2.750	0.765
15	-1.937	-0.211
desvio	±1.921	±1.629

A precisão planimétrica dos pontos restituídos estão listados na tabela 03, cujos valores mostram, para áreas suavemente ondulada, desvio padrão de 2.118 m.

5. Comentários e Conclusões

O uso de filmadora no processo de aquisição de imagens facilitou a operação eliminando alguma possível falha devido ao acúmulo de atividades. Ainda, a escolha do modelo na qual será trabalhado é definido no laboratório, podendo escolher adequadamente os modelos de interesse.

Os resultados obtidos nesse trabalho mostram o mapeamento realizado com filmadoras no padrão VHS não são adequados para utilização quando a questão de precisão for necessária, muito embora dependendo da escala e do processo pode-se alcançar o produto desejado.

Por outro lado, os produtos gerados podem ser utilizados em questões ambientais, determinando e limitando áreas de preservação, em problemas de atualização da base de dados espaciais, determinação de fadiga ou doença em plantas.

Finalmente, se filmadoras digitais forem utilizados nestes levantamentos melhores resultados podem ser esperados, pois além de possuírem melhor resolução espacial elas possuem obturador eletrônico que controlam o tempo de exposição em 1/1000 a 1/2000 do segundo, evitando-se assim arrastamento da imagem devido ao movimento.

6. Referências Bibliográficas

Andrade, J. B. ; Olivas, M. A. A .; *Calibração de Câmeras Aerofotogramétricas*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1981, Boletim nº 26.

Dal Poz, A. P.; Camargo, P. O. *Aplicação do GPS em Fotogrametria.*: In XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, setembro 03-09, 1997.

Galo, M.; *Calibração e aplicação de Câmaras Digitais*, Universidade Federal do Paraná- Dissertação de Mestrado, Curitiba, 151 pg, 1993.

Laurin, D. G. , *A Videometric System For a Flexible Space Structure Emulator*, ISPRS - Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1993, pags 03-11; 48(4).

Lugnani, J. B.; *Introdução à Fototriangulação*; UFPR; Curitiba,1987.

Monico, J. F. G. ; *Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: Descrição Fundamentos e Aplicações*, Departamento de Cartografia, FCT/UNESP, 1997, publicação Interna.

Monico, J. F. G. ; Silva, E. A.; Camargo, P. O.; Silva, J. F. V.; Garcia, A.; *O uso do DGPS como suporte ao monitoramento do nematóide de Cisto da Soja no Norte do Paraná*; In: CD ROOM GIS Brasil/98; Curitiba, maio 25-29, 1998.

Wright, R., *Airborne Videography: Principles and Practice*, Photogrammetric Record,14(81), 447-457, 04-1993.

Agradecimentos: Pelo uso do rastreador Ashtech ZXII, Ashtech Reliance e da estação SUN do projeto de pesquisa do Prof. Dr. João Francisco Galera Monico (Jovem Pesquisador FAPESP).