

ORIENTAÇÃO ABSOLUTA AUTOMÁTICA USANDO FEIÇÕES RETAS COMO CONTROLE DE CAMPO

Aluir Porfírio Dal Poz
Antonio Maria Garcia Tommaselli
Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305, 19060-900 Presidente Prudente, SP, Brasil
{aluir, [tomaseli](mailto:tomaseli}@prudente.unesp.br)}@prudente.unesp.br

RESUMO

A orientação de imagens é um problema básico em Fotogrametria Digital. Enquanto que as orientações interior e relativa foram satisfatoriamente automatizadas, o mesmo não pode ser dito sobre a orientação absoluta. Está sendo proposta neste artigo uma solução para a orientação absoluta automática, baseada na correlação estrutural e numa heurística fundamentada na relação matemática entre feições retas homólogas nos espaços imagem e objeto. Um dispositivo de auto-diagnóstico também é usado neste método, baseando-se na implementação do teste estatístico *data snooping* numa solução recursiva para a resseção espacial, cujo processo de estimação é realizado pelo Filtro de Kalman Iterativo Estendido (IEKF - *Iterated Extended Kalman Filtering*). O principal objetivo deste artigo é a apresentação dos princípios básicos do método desenvolvido, bem como os resultados obtidos com dados reais.

ABSTRACT

Image orientation is a basic problem in Digital Photogrammetry. While interior and relative orientations were successfully automated, the same can not be said about absolute orientation. This process can be automated by using an approach based on relational matching and a heuristics that uses the analytical relation between straight features in the object space and its homologous in the image space. A build-in self-diagnosis is also used in this method, that is based on the implementation of data snooping statistic test in the process of spatial resection, by using the Iterated Extended Kalman Filtering (IEKF). The aim of this paper is to present the basic principles of the proposed approach and results based on real data.

1 INTRODUÇÃO

A orientação de imagens é um problema básico em Fotogrametria, sendo indispensável para a extração de informações espaciais georeferenciadas a partir de qualquer tipo de imagem.

As orientações interior e relativa encontram-se satisfatoriamente automatizadas e incorporadas em sistemas fotogramétricos digitais comercialmente disponíveis. A situação é bem diferente quando se trata da orientação absoluta automática, havendo raras soluções para o problema, além de funcionarem em condições específicas. Alguns métodos podem ser encontrados na literatura da área de Fotogrametria, como por exemplo em DREWNIOK & ROHR (1996), DAL POZ & TOMMASELLI, 1998a, b e DAL POZ (1999).

A solução que está sendo proposta será brevemente descrita na seção 2. A seção 3 apresentará a avaliação experimental do método usando dados reais. Por último, as principais conclusões serão apresentadas na seção 4.

2 SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução que está sendo proposta baseia-se em três passos (DAL POZ & TOMMASELLI, 1998a, b e DAL POZ, 1999):

- . extração de agrupamentos de feições retas da fotografia aérea digitalizada;
- . estabelecimento das descrições relacionais para as feições retas dos espaços imagem e objeto; e
- . estratégia de correlação.

No primeiro passo, as feições retas são extraídas em agrupamentos locais usando-se algoritmos especiais de processamento de imagens. Primeiramente é necessário selecionar um agrupamento de apoio de campo (A_i), o qual foi previamente obtido usando-se métodos de levantamento de campo ou, alternativamente, técnicas fotogramétricas. Os agrupamentos de apoio de campo correspondem às estruturas locais, tais como, cruzamentos de rodovias e arestas de edificações.

O segundo passo consiste basicamente em estabelecer as descrições relacionais para duas feições retas selecionadas em dois agrupamentos homólogos, sendo que ambas são uma correspondência possível que está sendo avaliada.

A estratégia de correlação é realizada no último passo do método, sendo composta por dois critérios determinísticos e um estatístico. O primeiro critério determinístico é denominado injunção de rigidez, consistindo na verificação, a partir de uma determinada feição reta referência do agrupamento a_i , de quais feições retas do agrupamento a'_i estão suficientemente próximas da feição referência. O outro critério determinístico baseia-se numa medida de similaridade entre duas feições retas, candidatas a uma correspondência, denominada distância relacional normalizada, a qual é estabelecida a partir das descrições relacionais construídas no passo anterior. O critério estatístico baseia-se no teste *data snooping* aplicado ao IEKF, permitindo a eliminação da correspondência incorretamente aceita pelos

critérios determinísticos. A estimação dos parâmetros de orientação exterior, bem como a respectiva matriz de covariância, ocorre simultaneamente com o auto-diagnóstico.

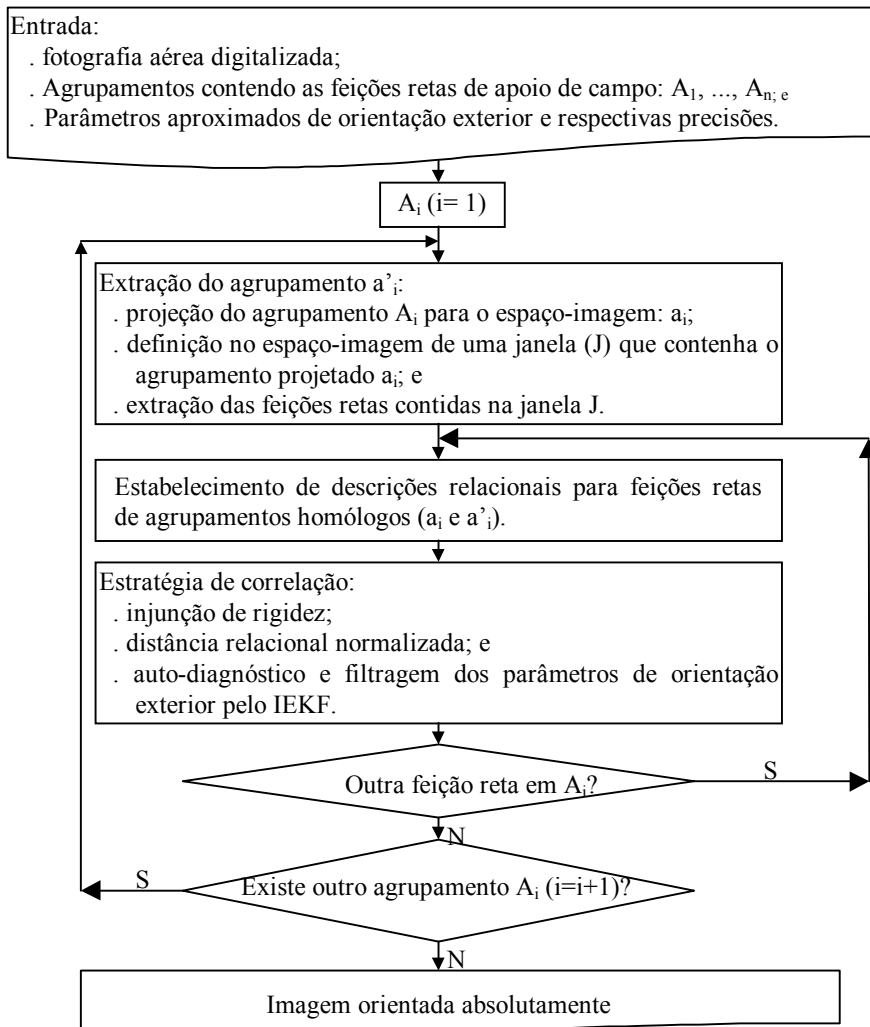


Figura 1 - Pipeline do método

Na figura 1 são ainda mostrados dois laços, sendo que o interno é usado para realizar as correspondências entre as feições retas de agrupamento homólogos, sendo estes selecionados no laço externo.

Os passos brevemente descritos acima serão detalhados nas três subseções seguintes, sendo enfatizados os dois últimos passos.

2.1 EXTRAÇÃO DO AGRUPAMENTO-IMAGEM

Como mostra a figura 1, a extração de um agrupamento-imagem é realizado através dos seguintes procedimentos: 1- selecionar um agrupamento de apoio de campo A_i e projetá-lo para o espaço-imagem; 2- definir no espaço-imagem uma janela (J) contendo a imagem do agrupamento A_i ; e 3- extrair em J todas as feições retas significativas.

A projeção do agrupamento A_i para o espaço-imagem é realizada através das conhecidas equações de colinearidade (GHOSH, 1987).

No início do processo de orientação estão disponíveis apenas os parâmetros aproximados de orientação exterior. A partir do segundo agrupamento são utilizados os parâmetros de orientação exterior que estão sendo recursivamente estimados pelo IEKF.

A janela de busca (J) é definida de tal forma que contenha a imagem do agrupamento A_i . Para tanto, basta apenas encontrar na imagem os cantos superior esquerdo e inferior direito que definem a janela J, sendo este um problema geométrico muito simples. Entretanto, não se pode esquecer de levar em conta o erro de projeção do agrupamento A_i . A extração de feições retas presentes na janela J proporciona o agrupamento imagem a'_i , homólogo de a_i ou A_i . De uma forma geral, os métodos utilizados para detectar e extrair feições retas baseiam-se em técnicas de detecção de bordas e vetorização, sendo que os resultados desejados para a presente aplicação são os coeficientes angular e linear de cada reta e respectivos desvios-padrão. Os métodos baseados no gradiente podem ser usados para detectar bordas e a transformada de Hough para vetorizar as feições retas (BALLARD & BROWN, 1982). Outros métodos podem ser encontrados na literatura, como por exemplo em PARKER (1988). Entretanto, o método implementado nesse trabalho baseia-se na seguinte seqüência de procedimentos: 1- cálculo do gradiente em 12 direções, usando-se os operadores de Nevatia e Babu; 2- limiarização automática; 3- afinamento por supressão não máxima; 4- conexão dos elementos de borda por varredura e rotulação; e 5- ajustamento das linhas retas aos pixels segmentados. O leitor interessado em detalhes desse método pode consultar TOMMASELLI (1999) e TOMMASELLI & DAL POZ (1999).

2.2 DESCRIÇÕES RELACIONAIS PARA AGRUPAMENTOS HOMÓLOGOS

As descrições relacionais são estabelecidas para feições retas de agrupamentos homólogos (a_i e a'_i). Uma descrição relacional é uma lista de relações. Sejam O_A um objeto qualquer e A o conjunto de suas partes, define-se uma relação N-aria sobre A como sendo um subconjunto do produto cartesiano $A^N = A \times \dots \times A$ (N vezes) (SHAPIRO & HARALICK, 1987). Contudo, um tipo especial de relação, denominada estrutura de estrela, é usada na estratégia de correlação. De acordo com CHENG & HUANG (1984), uma estrutura de estrela é composta por um nodo raiz, os nodos vizinhos e as relações entre estes dois tipos de nodos. Sendo as feições retas $f_i \in a'_i$ e $f_r \in a_i$ as raízes de duas descrições relacionais ($S_{a'_i}^f$ e $S_{a_i}^f$) com base em estruturas de estrela, têm-se (figura 2):

$$S_{a'_i}^f = S' = \{s'_j\}_{j=1, \dots, n} = \{s'_1, \dots, s'_n\} \quad (1)$$

$$S_{a_i}^f = S = \{s_k\}_{k=1, \dots, m} = \{s_1, \dots, s_m\} \quad (2)$$

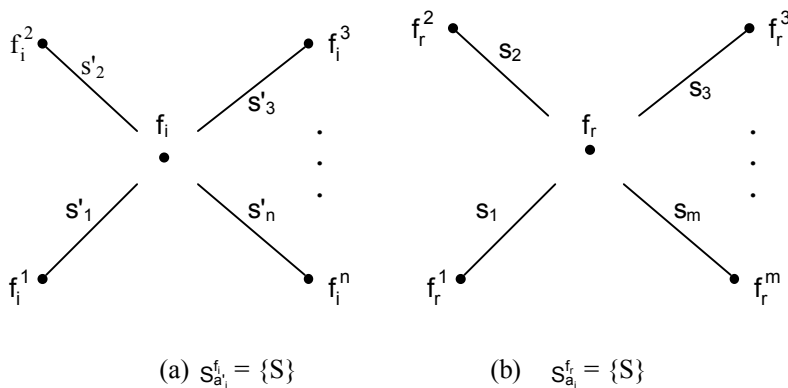


Figura 2- Descrições relacionais $S_{a'_i}^f$ e $S_{a_i}^f$

(a) $S_{a'_i}^f$ é a descrição relacional de $f_i \in a'_i$;

(b) $S_{a_i}^f$ é a descrição relacional de $f_r \in a_i$.

Na figura 2(a), n é o número de nodos vizinhos da estrela $S_{a'_i}^f$ e f_i seu nodo raiz. Os nodos vizinhos são as feições retas f_i^1, \dots, f_i^n . Portanto, os $n+1$ nodos da estrela $S_{a'_i}^f$ são as feições retas do agrupamento a'_i . Analogamente, a figura 2(b)

mostra a estrela $S_{a_i}^f$, tendo como nodo raiz a feição reta f_r e como nodos vizinhos as feições retas f_r^1, \dots, f_r^m , sendo que estas $m+1$ feições retas pertencem ao agrupamento a_i .

Cada componente, seja de $S_{a_i}^f$ ou de $S_{a_i}^f$, é uma quintupla do tipo:

$$s = (f_1, f_2, a_1, a_2, a_3) \quad (3)$$

onde:

- . f_1 e f_2 são feições retas do agrupamento a_i ou a'_i ; e
- . a_1, a_2 e a_3 são os atributos da componente s .

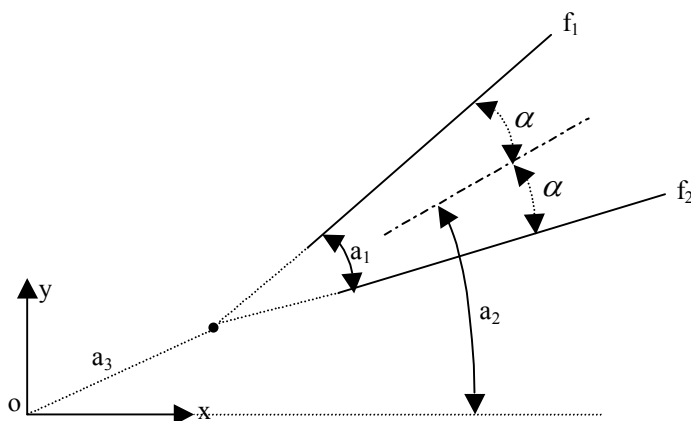


Figura 3- Definição dos atributos a_1, a_2 e a_3

Os atributos a_1, a_2 e a_3 são definidos como seguem (figura 3):

- . a_1 é o ângulo entre as feições retas f_1 e f_2 ;
- . a_2 é o ângulo entre a bissetriz de f_1 e f_2 e o eixo $0x$; e
- . a_3 é a distância entre a origem do sistema fotográfico ($0xy$) e a intersecção das feições retas f_1 e f_2 ou seus prolongamentos.

O atributo a_3 não pode ser utilizado quando as feições retas f_1 e f_2 são aproximadamente paralelas, pois o mesmo torna-se muito instável e, até mesmo, indefinido. Nesse caso, o problema foi contornado usando-se a distância média entre as duas feições retas. Esta distância é obtida a partir do cálculo das distâncias entre pontos extremos de uma das feições retas (f_1) e a outra (f_2) ou seu prolongamento.

2.3 ESTRATÉGIA DE CORRELAÇÃO

Cada correspondência sendo avaliada é submetida, pela ordem, aos critérios de injunção de rigidez, da distância relacional normalizada e do auto-diagnóstico. A correspondência só é aceita se atender todos esses critérios. Em outras palavras, se a aplicação de um desses critérios for desfavorável, os demais, se houver, não são aplicados e a correspondência (f_i , f_r) é descartada. A estimativa dos parâmetros de orientação exterior, e respectiva matriz de variância-covariância, ocorre simultaneamente com o processo de obtenção das correspondências. Nas subseções seguintes são descritos os três critérios usados na estratégia de correlação.

2.3.1 INJUNÇÃO DE RIGIDEZ

A injunção de rigidez imita um procedimento geral da visão natural, na qual um objeto a ser reconhecido necessita primeiro de uma localização prévia. Por exemplo, a identificação de um ponto de apoio numa fotografia aérea passa primeiro pela identificação e localização da estrutura local que o contém (como uma ponte esboçada num croqui), seguida de uma análise interna da estrutura para identificá-lo. Portanto, a injunção de rigidez pertence a um contexto mais amplo relacionado com o reconhecimento, denominado em FAUGERAS & HELBERT (1986) de *reconhecimento e localização simultâneos*.

No problema em análise, ocorre algo semelhante ao descrito acima, pois primeiro são construídos os agrupamentos locais homólogos (a_i e a'_i), para posteriormente estabelecer as correspondências entre as feições retas que compõem estas estruturas.

Na figura 4, as linhas contínuas representam as feições retas de apoio de campo projetadas para o espaço-imagem, as quais compõem o i -ésimo agrupamento a_i . Analogamente, os segmentos tracejados representam as feições retas do i -ésimo agrupamento a'_i , homólogo de a_i . Normalmente o agrupamento a'_i é composto por um número maior de feições retas, podendo esta diferença ser bem grande. As feições retas de ambos os agrupamentos encontram-se no referencial fotogramétrico $ppxy$, cuja origem é o ponto principal (pp).

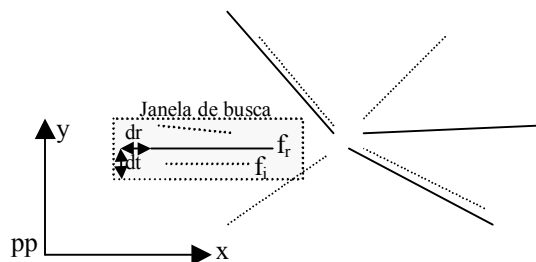


Figura 4 - Princípio da injunção de rigidez

A injunção de rigidez é estabelecida como segue (figura 4):

- . escolher a feição reta $f_r \in a_i$, para a qual se deseja encontrar sua correspondência no agrupamento a'_i , sendo que f_r corresponde à feição reta de apoio de campo $F_r \in A_i$ projetada para o espaço-imagem;
- . abrir uma janela de busca em torno de f_r , usando-se os erros de projeção dt e dr (figura 4) obtidos através da aplicação do procedimento de propagação de covariância aos pontos extremos da feição reta que está sendo projetada; e
- . procurar em a'_i uma feição reta (f_i) que esteja contida na janela de busca.

Então, pelo critério de injeção de rigidez, o par (f_i, f_r) ou (f_i, F_r) é uma correspondência válida se f_i pertencer à janela de busca estabelecida em torno de f_r . Supondo que seja válida, então a correspondência encontra-se apta para ser submetida aos outros critérios da estratégia de correlação. Como ainda mostra a figura 4, outras feições retas do agrupamento a'_i podem estar contidas na janela de busca, as quais poderão vir a ser avaliadas se a correspondência (f_i, F_r) for rejeitada.

2.3.2 DISTÂNCIA RELACIONAL NORMALIZADA

Deve-se recordar que $S_{a_i}^f = S'$ e $S_{a_i}^f = S$ são as descrições relacionais das feições retas f_i e f_r , representadas respectivamente pelas expressões 1 e 2. Sendo g uma função que mapeia as primitivas da estrela S' para as primitivas de S , então pode-se escrever a seguinte expressão matemática para o erro total ($E(g)$) entre $S_{a_i}^f$ e $S_{a_i}^f$ (SHAPIRO & HARALICK, 1987):

$$E(g) = |S'og - S| + |Sog^{-1} - S'| \quad (4)$$

Na equação 4, $| \cdot |$ significa cardinalidade, isto é, o número de componentes em um conjunto. Assim, $|S'og - S|$ representa quantas componentes da estrela S' são mapeadas por g para a estrela S e que não são reconhecidas nessa última. $|Sog^{-1} - S'|$ possui significado semelhante, só que agora no sentido inverso, sendo g^{-1} a inversa de g . Portanto, $E(g)$ é o número total de componentes que não estão presentes simultaneamente nas estrelas S e S' .

Como mostra a equação 4, para cada função g escolhida obtém-se um valor diferente para $E(g)$. Entretanto, interessa-se pela função g que minimiza $E(g)$, sendo este valor denominado de distância relacional (dr) entre as descrições relacionais $S_{a_i}^f$ e $S_{a_i}^f$, isto é:

$$dr(S_{a_i}^f, S_{a_i}^f) = dr(S, S') = \min(E(g)) \quad (5)$$

Se $dr(S_{a_i}^f, S_{a_i}^f) = 0$, então g é denominada isomorfismo relacional e S e S' são ditos isomórficos. Nesta situação ideal, f_i e f_r são consideradas totalmente compatíveis.

Uma métrica mais adequada, conhecida como distância relacional normalizada (d_{rn}), é obtida normalizando-se a expressão 5, como segue:

$$d_{rn}(S_{a_i}^f, S_{a_i}^f) = dr(S_{a_i}^f, S_{a_i}^f) / NC \quad (6)$$

onde, NC é o número total de componentes nas estrelas S' e S.

Devido a normalização, $\text{drn}(s_{a_i}^f, s_{a_i}^r)$ varia no intervalo $[0; 1]$. Em situações ideais, a correspondência (f_i, f_r) é compatível quando $\text{drn}(s_{a_i}^f, s_{a_i}^r) = 0$ e incompatível quando $\text{drn}(s_{a_i}^f, s_{a_i}^r) = 1$. Contudo, em situações práticas, será necessário usar um limiar (L) adequado. Nesse caso, a correspondência (f_i, f_r) é compatível quando $\text{drn}(s_{a_i}^f, s_{a_i}^r) < L$.

2.3.3 AUTO-DIAGNÓSTICO

O auto-diagnóstico é o último critério para avaliar se a correspondência que está sendo avaliada (f_i, f_r (ou F_r)) é aceita ou não. Diferente dos dois critérios anteriores, este baseia-se numa decisão estatística, sendo somente aplicado se os critérios anteriores aceitaram a correspondência sendo avaliada.

O auto-diagnóstico baseia-se no teste estatístico *data snooping*, implementado no processo de resseção espacial usando o IEKF (DAL POZ, 1999). O modelo matemático funcional utilizado neste processo relaciona as feições retas imagem e objeto de forma explícita (TOMMASELLI & TOZZI, 1996).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método de orientação absoluta automática, descrito nas seções anteriores, foi implementado computacionalmente em linguagem C. Visando a avaliação experimental do método, foram conduzidos experimentos com dados reais. Embora estivesse disponível uma fotografia aérea digitalizada da cidade do Rio de Janeiro, na escala 1:8.000 e na resolução de 2.000dpi - pixels de 12.5 μm , a mesma foi reamostrada numa resolução aproximada de 333dpi - pixels de 75 μm , facilitando a depuração do código C e evitando um arquivo imagem muito grande.

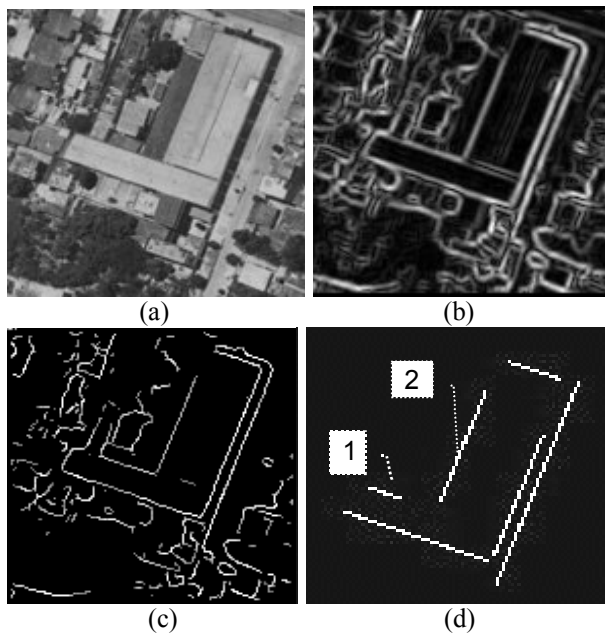


Figura 5 - Exemplo de agrupamento

- (a) Janela extraída automaticamente da imagem original, correspondendo ao agrupamento 3 - destacado na tabela 1;
- (b) Bordas extraídas através dos filtros de Nevatia e Babu e limiarização automática;
- (c) Bordas afinadas através da supressão não máxima e filtragem de elementos isolados;
- (d) Feições retas após o ajustamento, sendo que as destacadas com os números 1 e 2 são conhecidas no espaço-objeto.

Foram selecionados, a partir de um arquivo DXF, seis agrupamentos contendo arestas de edificações como feições retas. Devido as limitações encontradas na seleção dos agrupamentos, pois os arquivos DXF cobriam apenas parcialmente a região da foto, poucas feições retas foram selecionadas em cada agrupamento, dificultando o processo de orientação e a obtenção de resultados finais com boa precisão. Este problema teria sido facilmente contornado se os agrupamentos de apoio de campo pudessem ter sido levantados por um método de campo, como o GPS. A figura 5 mostra um exemplo de agrupamento, sendo que a janela que o contém é extraída automaticamente usando os parâmetros de orientação exterior e respectivas precisões. Como estes elementos são recursivamente refinados à medida que as correspondências vão sendo obtidas, os recortes na imagem vão ficando cada vez melhores ajustados aos agrupamentos. A tabela 1 apresenta o número de feições retas selecionadas em cada agrupamento de apoio de campo e as respectivas quantidades de feições retas extraídas dos agrupamentos da imagem.

Tabela 1 - Agrupamentos nos espaços imagem e objeto

Agrupamentos selecionados	Número de feições retas	
	Espaço-objeto	Espaço-imagem
1	4	6
2	6	10
3	2	6
4	2	9
5	2	4
6	2	10

As duas primeiras colunas da tabela 2 mostram os parâmetros de orientação exterior aproximados e respectivas precisões. Como é usual, foram assumidos valores nulos para as rotações e precisões de 0.052 rad (3°). Como a foto utilizada foi obtida num vôo apoiado pelo GPS, foram utilizadas as coordenadas do CP obtidas em vôo, cujas precisões foram admitidas como sendo de 30m para X_0 e 10m para Y_0 e Z_0 . Após o processamento usando o método proposto, foram obtidas 8 correspondências, sendo 3 do agrupamento 1, 2 do agrupamento 2, 1 do agrupamento 3, 1 do agrupamento 5 e 1 do agrupamento 6. Os resultados finais, obtidos após o processamento da 8ª correspondência, são apresentados nas duas últimas colunas da tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros aproximados e estimados e respectivas precisões

	Valores Aproximados		Valores Estimados	
	Valores parâmetros	Desvios- padrão	Valores parâmetros	Desvios- padrão
κ (rad)	0	0.052	-0.06988	0.00042
ϕ (rad)	0	0.052	-0.00261	0.00235
ω (rad)	0	0.052	0.02527	0.00341
X_0 (m)	664402	30	664380,9	3,9
Y_0 (m)	7481112	10	7481115,9	5,1
Z_0 (m)	1334	10	1329,0	2,8

Uma resseção espacial convencional usando 6 pontos de controle bem distribuídos foi realizada e comparada com o método proposto. As diferenças (ϵ) entre os parâmetros de orientação exterior obtidos pelos dois métodos são apresentados na tabela 3.

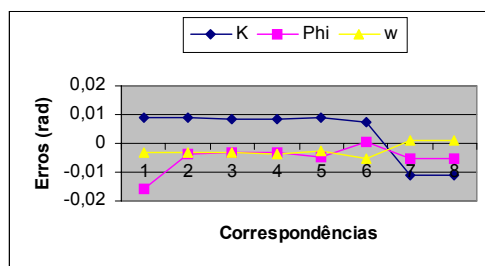
Tabela 3 - Erros obtidos no processo em relação à resseção espacial convencional

Erros nos parâmetros de orientação exterior					
ε_{κ} (rad)	ε_{ϕ} (rad)	ε_{ω} (rad)	ε_{X_0} (m)	ε_{Y_0} (m)	ε_{Z_0} (m)
-0,0111	-0,0051	0,0009	-8,5	2,7	-4,9

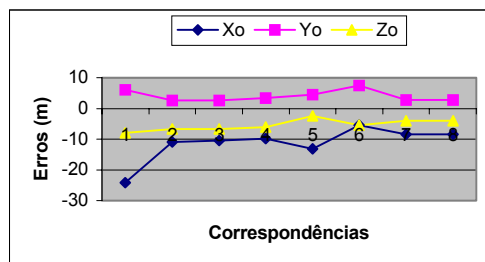
Como mostra a tabela 3, os erros obtidos para os parâmetros κ , ϕ , X_0 e Z_0 foram maiores que os desvios-padrão estimados recursivamente pelo IEKF. Provavelmente, esta superestimação foi causada pela fraca geometria resultante de feições retas pequenas e agrupadas muito proximamente.

Finalmente, usando-se os erros nos parâmetros de orientação exterior, obtidos em cada correspondência, são apresentados na figura 6 os gráficos de convergência do IEKF. As principais conclusões foram:

- os agrupamentos selecionados não foram suficientes para fornecer uma boa precisão;
- o IEKF inicia a correspondência após a segunda convergência, exceto em κ ; e
- apesar da fraca geometria, todas as correspondências obtidas foram corretas e o filtro convergiu satisfatoriamente.



a - rotações



a - translações

Figura 6 - Convergência do IEKF.

4 CONCLUSÕES

Um método para a orientação automática de imagens digitais foi proposto e testado. Este método baseia-se em técnicas de extração de feições retas, na correlação estrutural, no filtro de Kalman (IEKF) e num modelo fotogramétrico especialmente desenvolvido para tratar feições retas como apoio de campo.

Os resultados obtidos com um experimento com dados reais demonstraram o potencial do método proposto. Entretanto, investigações adicionais são necessárias para determinar a configuração ótima dos agrupamento, a fim de que se possa obter resultados com ótima precisão e corretamente estimados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) através do Processos no. 96/11741-4 98/00651-0 e CNPQ (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento) - Processo no. 301014/94-9. As fotografias aéreas digitalizadas e os arquivos DXF usados em nossos experimentos foram gentilmente cedidos pela Esteio - Engenharia e Aerolevantamentos Ltda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. **Computer Vision**, Englewood Cliffs, 1982.
- CHENG, J. K. ; HUANG, T. S. Image Registration by Matching Relational Structures. **Pattern Recognition** 17, p. 149-159, 1984.
- DAL POZ, A. P.; TOMMASELLI, A. M. G. Automatic absolute orientation of scanned aerial photographs. International Symposium on Computer Graphics, Image Processing, and Vision (SIBGRAPI98), Rio de Janeiro-RJ, **Proceedings**. IEEE Computer Society, 1998a (no prelo).
- DAL POZ, A. P.; TOMMASELLI, A. M. G.. Strategy to detect ground control in digital images. SPIE's Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing and Control – Conference Automatic Target Recognition VIII, 12., Orlando-Florida-USA, **Proceedings**. SPIE, p. 436-447, 1998b.
- DAL POZ, A. P. **Correlação estrutural com estratégia recursiva**. Relatório de Pesquisa, FAPESP, Processo no. 96/11741-4, 127p., 1999.
- DREWNIOK, C.; ROHR, K. Automatic exterior orientation of images in urban environment, *International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing*, 18., Vienna, Com. III-WG3, **Proceedings**. ISPRS, p. 146-152, 1996.
- FAUGERAS, O. D.; HELBERT, M. The Representation, Recognition, and Location of 3-D Objects, **The International Journal of Robotics Research** 5, p. 27-52, 1986.
- GHOSH, S. K. **Analytical photogrammetry**, Laval University, 1987.
- PARKER, J. R. Extracting vectors from raster images. **Comput. & Graphics**, v. 12, n. 1, p. 75-79, 1988.
- SHAPIRO, L. G.; HARALICK, R. M. Relational Matching, **Applied Optics** 26, p. 1845-1851, 1987.

- TOMMASELLI, A. P.; DAL POZ, A. P. Line based orientation of aerial images. Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, ISPRS Conference by ISPRS Working Groups II/6, II/8, III/1, III/2, III/3, III/4, Munique, 6-10 Sep. 1999 (no prelo).
- TOMMASELLI, A. M. G.; TOZZI, C. L. A Recursive Approach to Space Resection Using Straight Lines, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 62, 57-56, 1996.
- TOMMASELLI, A. M. G. **Extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas**. Relatório de Pesquisa, CNPq, Processo no. 301014/94-9, 40p., 1999.

(Recebido em 17/05/99. Aceito para publicação em 21/09/99.)