

Automação de Processos Fotogramétricos

Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologias - FCT
Departamento de Cartografia
Rua Roberto Simonsen, 305
19060-900 Presidente Prudente SP
✉ tomaseli@prudente.unesp.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Processos fotogramétricos automáticos em operação 3. Extração automática e semi-automática de feições 4. Extração Semi-Automática de Feições: alguns resultados preliminares com dados reais 5. Conclusões 6. Agradecimentos 7. Referências Bibliográficas
-----------------	---

CNPq proc. 301014/94-9
FAPESP proc. 98.00651-0

Resumo: A automação de partes ou de todo o processo fotogramétrico vem sendo apontada como uma das grandes vantagens da Fotogrametria Digital, devido ao processamento inteiramente numérico dos dados, desde a coleta até a representação final dos resultados. Embora várias etapas do pipeline fotogramétrico tenham sido parcialmente automatizadas, etapas críticas e que demandam a maior parte do tempo do operador, não tem recebido implementações eficientes, como é o caso da extração de feições. O objetivo deste trabalho é discutir o potencial de automação dos processos fotogramétricos, particularmente da etapa de extração de feições.

Palavras chaves: Fotogrametria Digital, automação, extração de feições.

Abstract: Partial or complete automation of photogrammetric processes has been regarded as the main advantage of Digital Photogrammetry, due to the entire numeric processing of the workflow, from data capture to results display. Although several steps are already being done automatically others critical and time consuming processes have not been approached successfully, e.g., feature extraction. The aim of this paper is to discuss the automation potential of photogrammetric process focusing on the feature extraction step.

Keywords: Digital Photogrammetry, automation, feature extraction.

1. Introdução

A automação de partes ou de todo o processo fotogramétrico vem sendo apontada como uma das grandes vantagens da Fotogrametria Digital, entre outras. A introdução de todos os dados em forma numérica permite o processamento de todo o *pipeline* fotogramétrico também de forma inteiramente numérica, eliminando rotinas empíricas e observações dependentes do operador.

Uma situação hipotética e ideal, seria aquela em que a interferência do operador se resumiria a digitar a seguinte linha de comando (ou por voz):

Ø cartografo <estereopar> mapa

No caso, **cartografo** seria um super software, capaz de processar dados de entrada, contidos no arquivo **estereopar** e produzir um arquivo gráfico chamado **mapa**. Na prática, esta situação não ocorrerá nos próximos anos, pois os modelos de conhecimento para lidar com imagens e dados espaciais ainda não são suficientemente confiáveis e pouco sabemos sobre o processo humano de identificação e como mapear isto em um software genérico..

De modo geral, pode-se definir *automação* como o uso de máquinas autoreguláveis e autoprogramáveis para a produção de bens e mercadorias. No caso específico de produção de mapas e cartas, automação é um termo adaptado e que deve ser aplicado a etapas do processo, já que é impossível projetar uma máquina que faça a coleta, processamento e representação da informação. Portanto, os termos *automação de processos cartográficos e fotogramétricos* devem ser usados, ao invés de automação do processo cartográfico.

A automação de processos em Fotogrametria e Cartografia, deve ser encarada como um meio de aumentar a produtividade e a confiabilidade, com a simultânea redução dos custos. Neste sentido, pode-se enxergar um benefício social com o advento de processos automáticos.

Entre as vantagens da Fotogrametria Digital, podem ser ressaltadas a flexibilidade no uso de distintas fontes de dados e o potencial de automação de processos fotogramétricos (Heipke, 1997). A etapa de maior complexidade e que é responsável pela maior demanda de tempo de operadores é a extração de feições. Coincidentemente, é o processo que apresenta o maior grau de dificuldade para a automação completa com confiabilidade. Por esta razão, estão sendo estudados métodos para a extração assistida de feições (Gruen

e Li, 1997), partindo de uma visão mais realista do problema. Na área de Cartografia, a necessidade de automação não é tão drástica quanto em Visão de Máquina que, normalmente, está voltada à solução de problemas na indústria, o que requer respostas em tempo real (inspeção, montagem, controle de qualidade, etc...)

2. Processos fotogramétricos automáticos em operação

A etapa de orientação (Orientação interior, orientação relativa e absoluta) recebeu considerável esforço de pesquisa e pode ser considerada parcialmente automatizada (Heipke, 1997), exceto pela orientação absoluta. Não obstante, várias investigações a este respeito vem sendo conduzidas (Dal Poz e Tommaselli (1998), Dal Poz et al (1996)) com resultados promissores.

Vários ambientes de produção já usam rotineiramente a Fotogrametria Digital com procedimentos de orientação e aerotriangulação automática, com impacto altamente benéfico na produtividade (Colomer e Colomina, 1994; Colomina, 1998; Ackermann e Krzystek, 1997). A seqüência de processos convencionais pode ser vista na figura 1.

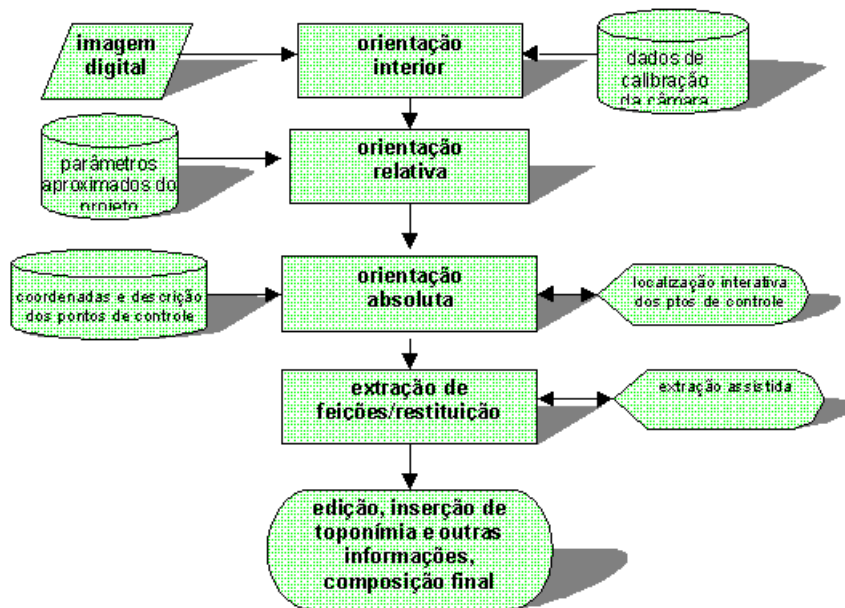


Fig. 1: Seqüência de processos fotogramétricos

No mesmo nível está a geração automática de modelos digitais de elevações (DEM - Digital Elevation Model). Este foi um dos temas que receberam maior ênfase em pesquisa na década de 80 e ainda atualmente (Smith et al, 1997). Alguns softwares já apresentam confiabilidade suficiente para serem empregados em ambientes de produção sendo o MATCH-T (Krzystek, 1995) o exemplo de maior sucesso comercial, embora ainda exija a introdução de *breaklines* e edição posterior. Entretanto, algumas áreas, notadamente as áreas urbanas demandam grande esforço de edição e, muitas vezes, exigem a mensuração inteiramente assistida. A geração de curvas de nível em escalas grandes por processos automáticos também não tem apresentado resultados satisfatórios, razão pela qual recorre-se ao processo assistido, mesmo em estações digitais.

Um exemplo de processo fotogramétrico que tem sido automatizado com sucesso é a produção de ortoimagens. Vários ambientes de produção tem linhas de produção com baixo índice de interferência do operador, que faz, basicamente, o controle de qualidade e a inserção de informações e edição final.

Como causa do baixo grau de automação de alguns processos tem sido mencionada a utilização de uma nova tecnologia com os métodos adaptados da geração anterior, ou seja, trabalha-se com Fotogrametria Digital ainda com métodos da Fotogrametria Analítica ou mesmo da Analógica.

O exemplo mais claro desta tendência é o problema de extração de feições. Na prática, os sistemas são concebidos para reduzir a curva de aprendizagem, evitando um choque para os operadores, habituados a anos de rotinas de operação. Com isto, a maioria dos sistemas fotogramétricos digitais comercialmente disponíveis procura adaptar-se ao conhecimento existente e poucos aventuram-se a implementar soluções mais inovadoras. Usam-se somente os modelos matemáticos concebidos para a Fotogrametria analítica clássica, que permitia somente a medição de coordenadas cartesianas bidimensionais. Não se aproveita o potencial de feições mais significativas, como linhas retas e estruturas espaciais. Isto tem provocado certa incerteza quanto aos benefícios reais da implantação da Fotogrametria Digital, especialmente para aquelas organizações que se dedicam à restituição em escalas grandes. Nestes casos, a relação custo/benefício da mudança de plataformas analógicas/analíticas para digitais pode ser desfavorável., a ponto de, em algumas situações, o instrumental analógico ser recomendado (Gibbs, 1998)

Um problema similar acontece no campo da pesquisa. Os pesquisadores procuram resolver os novos problemas criados pelo advento da Fotogrametria Digital com as ferramentas teóricas que dispõem, sem buscar novos campos do conhecimento.

Gruen (1996) também trata deste problema, demonstrando que os sistemas comerciais usam facilidades digitais para simular um restituidor analítico, tirando pouco proveito das possibilidades de processamento numérico:

"...Image measurement or feature extraction has so far been one of the most neglected issues in Digital Stations..."

3. Extração automática e semi-automática de feições

Alguns poucos sistemas comercialmente disponíveis implementam algoritmos de extração de feições. Um exemplo é o SOCET SET

(Dan et al (1996) que possui ferramentas semi-automáticas para a medição de telhados, linhas retas e outras feições, evitando o trabalho tedioso do operador em algumas operações. Walker (1997) aponta a direção em que se concentrarão os esforços de pesquisadores e empresas de desenvolvimento:

"Gargantuan research efforts for at least a generation have centred on automated extraction from imagery. Such a task may be exemplified by "generate roof and ground lines for all buildings in this stereopair" ..."

"Full automation is counsel of perfection for the moment, but useful tools to assist the operator are practicable, within a process which is controlled by a human"

Atualmente, encontram-se disponíveis sistemas comerciais, que implementam soluções semelhantes a restituídos analíticos e, no extremo oposto, sistemas oriundos de pesquisas, mas que funcionam num ambiente mais acadêmico.

Dentre as várias alternativas para incrementar o uso de feições mais significativas, destaca-se o uso de linhas retas, que são abundantes em ambientes alterados pelo homem. Estudando o problema de extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas verificou-se que *é inviável a extração e identificação inteiramente automática de feições. Verificou-se experimentalmente que a diferença de conteúdo nas cenas aéreas, em relação às cenas à curta distância, exige um algoritmo de extração de feições muito mais "inteligente", no sentido de que deve-se agregar "conhecimento" ao processo de busca. Como uma alternativa, está em desenvolvimento uma estratégia de extração de feições que integra a busca no espaço direcional com o matching relacional (Dal Poz & Tommaselli, 1998). Duas alternativas podem ser consideradas (Tommaselli, 1998):*

a) quando houver uma base de dados gráfica da área a ser mapeada, é possível reprojeter as feições existentes para a imagem, extrai-las e correlacioná-las. Esta abordagem seria adequada para a orientação automática de imagens (Dal Poz et al, 1996);

b) quando não houver uma informação a priori a estratégia mais confiável é a extração semi-automática de feições. Neste caso haverá a necessidade de interação com o operador e deverá haver um ambiente gráfico interativo para a manipulação das imagens

Portanto, embora a implementação de algoritmos de extração de feições inteiramente automática seja uma tarefa para vários anos, pode-se usar técnicas semi-automáticas para auxiliar outras tarefas, como a orientação de fotos isoladas ou estereopares. O método de orientação usando linhas retas, que já havia sido testado para problemas de curta distância, tem se mostrado confiável também para o caso aéreo (Tommaselli, 1998). Esta estratégia está resumida na figura 2.

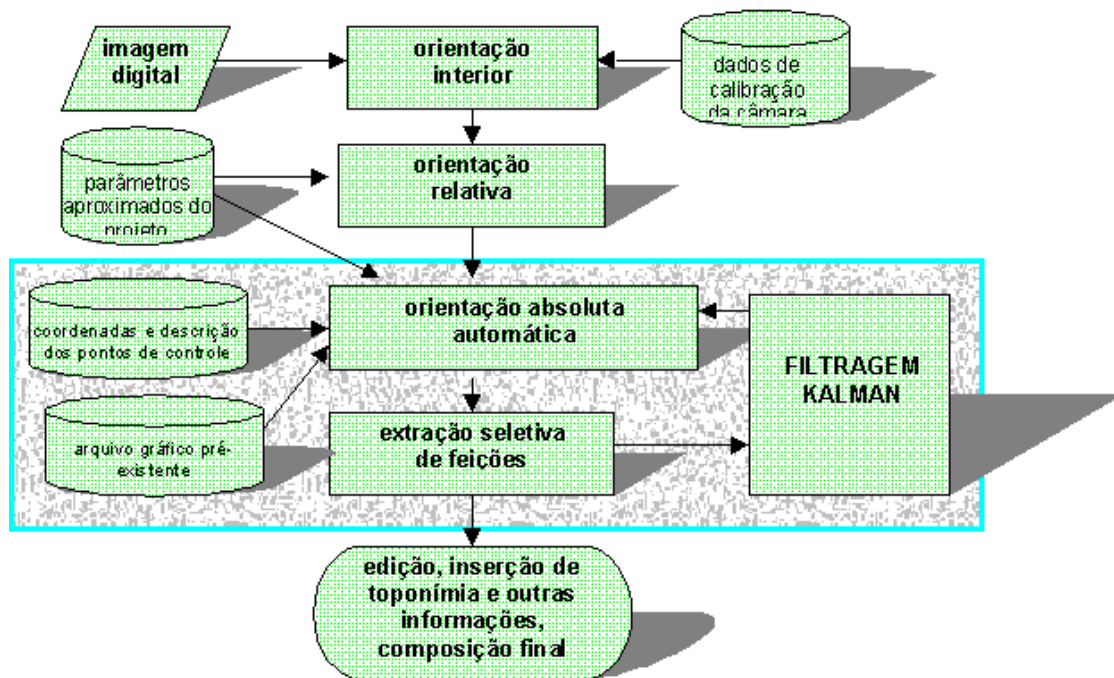


Fig. 2: Processo recursivo de orientação e extração de feições

É importante ressaltar, portanto, que ainda não existem sistemas capazes de realizar o reconhecimento automático de imagens aéreas complexas. Neste sentido, a utilização de técnicas de reconhecimento desenvolvidas nas áreas de Visão de Máquina permitiriam a automação de algumas fases de alto nível da produção cartográfica. Estas fases referem-se à interpretação do significado de algumas feições na imagem, e apresentam um grau de dificuldade mais elevado em imagens aéreas do que em ambientes de curta distância.

Neste sentido, um sistema semi-automático de extração de feições pode ser implementado, com a localização de algumas entidades de maneira grosseira pelo operador, deixando para o processamento automatizado a tarefa de calcular e ajustar com precisão as feições lineares (Gruen e Li, 1997).

As feições lineares extraídas da imagem podem ser usadas tanto como elementos finais de um mapa digital quanto como controle para permitir o cálculo de elementos de orientação da foto ou modelo. Podem ser usadas, ainda, como primitivas na construção de uma estrutura mais complexa, que possa ser posteriormente analisada e comparada com um modelo pré-armazenado (Dal Poz e Tommaselli, 1998).

É possível utilizar feições lineares, e especificamente as retas, ao adotar a premissa de que as arestas de objetos provocarão um efeito de descontinuidade na imagem. Normalmente, esta descontinuidade ocorre no nível de cinza, embora outras características, como por exemplo a textura e a paralaxe possam ser usadas para detectar tais descontinuidades. Com efeito, a identificação apenas bidimensional de certas feições é um problema de difícil solução. Várias abordagens recentes utilizam DEM gerados tanto por correlação quanto por interferometria a laser, para obter métodos mais robustos de identificação de certas feições, particularmente

edificações. Faz sentido, neste caso, segmentar não somente imagens de cinza, mas também imagens de profundidade, como uma heurística adicional na extração de feições.

Existem vários métodos para a detecção de descontinuidades no nível de cinza, que podem ser classificados em: métodos que usam aproximações do gradiente; métodos que usam "templates" em várias direções (Sonka et al, 1993) e; métodos que ajustam intensidades locais a modelos paramétricos (Ballard e Brown, 1982). Na figura 3 são apresentados os templates usados pelo operador de Nevatia e Babu. Estes templates são aplicados a cada pixel e sua vizinhança e o valor de maior resposta é adotado como a magnitude local do gradiente, sendo criada uma imagem de magnitude. A direção do template de máxima resposta também é atribuída a uma outra imagem.

			0°						30°		
	100	100	0	-100	-100		100	-32	-100	-100	-100
	100	100	0	-100	-100		100	78	-92	-100	-100
1/1000	100	100	0	-100	-100	1/1102	100	100	0	-100	-100
	100	100	0	-100	-100		100	100	92	-78	-100
	100	100	0	-100	-100		100	100	100	32	-100
			60°						90°		
	-100	-100	-100	-100	-100		-100	-100	-100	-100	-100
	32	-78	-100	-100	-100		-100	-100	-100	-100	-100
1/1102	100	92	0	-92	-100	1/1000	0	0	0	0	0
	100	100	100	78	-32		100	100	100	100	100
	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100
			120°						150°		
	-100	-100	-100	-100	-100		-100	-100	-100	-32	100
	-100	-100	-100	-78	32		-100	-100	-92	78	100
1/1102	-100	-92	0	92	100	1/1102	-100	-100	0	100	100
	-32	78	100	100	100		-100	-78	92	100	100
	100	100	100	100	100		-100	32	100	100	100
			180°						210°		
	-100	-100	0	100	100		-100	32	100	100	100
	-100	-100	0	100	100		-100	-78	92	100	100
1/1000	-100	-100	0	100	100	1/1102	-100	-100	0	100	100
	-100	-100	0	100	100		-100	-100	-92	78	100
	-100	-100	0	100	100		-100	-100	-100	-32	100
			240°						270°		
	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100
	-32	78	100	100	100		100	100	100	100	100
1/1102	-100	-92	0	92	100	1/1000	0	0	0	0	0
	-100	-100	-100	-78	32		-100	-100	-100	-100	-100
	-100	-100	-100	-100	-100		-100	-100	-100	-100	-100
			300°						330°		
	100	100	100	100	100		100	100	100	32	-100
	100	100	100	78	-32		100	100	92	-78	-100
1/1102	100	92	0	-92	-100	1/1102	100	100	0	-100	-100
	32	-78	-100	-100	-100		100	78	-92	-100	-100
	-100	-100	-100	-100	-100		100	-32	-100	-100	-100

Fig. 3: "Templates" usados pelo operador de Nevatia e Babu

A imagem de bordas representa elementos de descontinuidade, porém, desconectados. O objetivo do processo de segmentação (ou vetorização) é conectar os elementos de borda, transformando vários elementos individuais em uma feição contínua. Várias técnicas de segmentação de bordas tem sido propostas e esta é uma das áreas de maior interesse para a Cartografia, pois é na segmentação que os elementos serão agrupados, passando a ter algum significado. Por esta mesma razão esta é a etapa mais crítica para automação. Entre os métodos para segmentação de borda, podem ser citados a transformada de Hough (Ballard & Brown, 1982) e o agrupamento direcional, que apresenta várias formas de implementação (Dudani & Luk, 1978; Venkateswar & Chellappa, 1992). O agrupamento direcional, baseia-se na classificação dos pixels de acordo com sua informação direcional. Este método é extremamente eficiente do ponto de vista computacional, além de permitir obter uma descrição das retas com alta precisão, devido ao ajuste final da reta pelo Método dos Mínimos Quadrados. Entretanto, está sujeito a uma pré-filtragem da imagem, para eliminar elementos de borda espúrios, além de requerer uma informação direcional de boa qualidade.

Entre os métodos de segmentação por agrupamento direcional pode-se citar o algoritmo de varredura e rotulação (*scan and label*) que compara os pixels vizinhos considerando a magnitude e orientação do gradiente (Venkateswar & Chellappa, 1992). Baseado na similaridade os pixels são rotulados, gerando uma imagem de rótulos e uma estrutura contendo as características de cada rótulo. A figura 4 mostra os dados de entrada (imagens de magnitude e direção) e os resultados do processo de agrupamento direcional por varredura e rotulação.

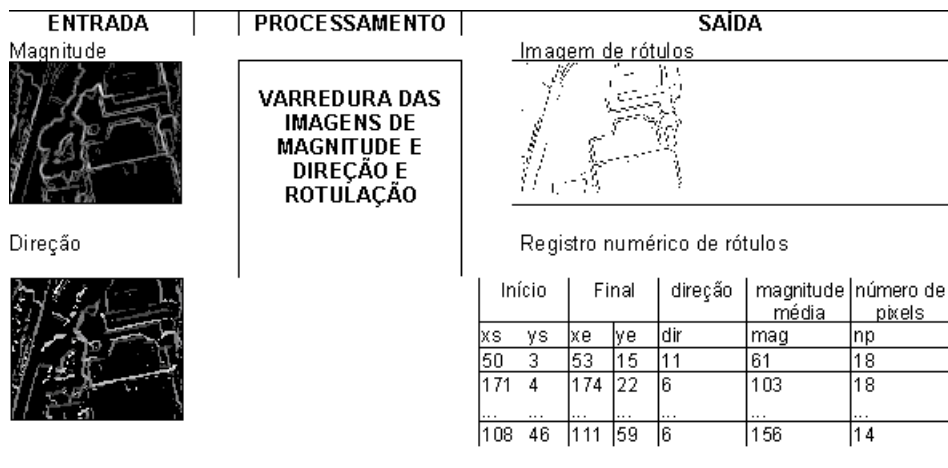


Fig. 4: Segmentação por varredura e rotulação.

O grande problema destas técnicas é o grande número de feições e a posterior necessidade de determinação de correspondência. Uma maneira de melhorar a eficiência do sistema de extração de feições é a restrição do espaço de busca a uma área provável de presença na imagem, com base em um valor aproximado para os parâmetros de orientação da câmara. Este conceito foi implementado para imagens de curta distâncias por Tommaselli (1993). Neste trabalho foi proposto um processo recursivo para a solução do problema de Resseção Espacial, baseado em Filtragem Kalman, usando como apoio linhas retas, cujas equações paramétricas são conhecidas no espaço objeto, e cujas projeções são medidas na imagem. Um modelo matemático explícito foi desenvolvido, permitindo o cálculo simultâneo dos seis parâmetros de orientação. Este modelo difere da maioria dos modelos referenciados na literatura para este tipo de feições que, normalmente, são do tipo implícito e com os parâmetros de orientação calculados em mais de um estágio. O tratamento deste modelo usando filtragem Kalman (IEKF) permite a obtenção de estimativas seqüenciais, que podem ser utilizadas para realimentar o processo de extração de feições, pela redução da janela de busca da feição na imagem.

Esta estratégia de utilizar feições ao invés de pontos de controle tem recebido considerável atenção dos pesquisadores, tanto da área de Fotogrametria quanto da área de Visão Computacional, devido à facilidade de localização de entidades contínuas em uma imagem digital (Lugnani (1980), Tommaselli e Lugnani (1988), Lee, Lu e Tsai (1990), Tommaselli e Tozzi (1996), Dowman et all (1996)).

A informação a priori sobre a posição e orientação da feição na imagem pode ser usada como um "feedback" no processo de detecção de bordas. A informação direcional a priori pode filtrar as bordas a serem destacadas. Outra aplicação seria a restituição semi-automática ou assistida, na qual um operador informa interativamente, usando "mouse" e um display da imagem, as posições aproximadas de pontos pertencentes às feições. O trabalho de localizar a feição, com exatidão subpixel, será feito pela máquina. Estes conceitos foram resumidos na figura 2.

4. Extração Semi-Automática de Feições: alguns resultados preliminares com dados reais

0>

Embora uma estimativa a priori permita a definição de uma sub-imagem de pequena dimensão, ainda assim, várias feições significativas estarão presentes naquele campo. É necessário extrair as feições e estabelecer a correspondência entre as feições na imagem e as feições na base de dados, ou definir a feição apontada por um dispositivo gráfico interativo. Para tanto, aplica-se uma seqüência de processos à sub-imagem original. A primeira etapa é uma suavização com preservação de bordas e cantos. Em seguida aplica-se um detector de bordas, como os operadores de Sobel ou os de Nevatia e Babu, mostrados anteriormente. A partir desta etapa, estarão disponíveis uma imagem de magnitude do gradiente e outra de direções. Aplica-se um processo de limiarização automática recursiva, que permite a definição automática de um limiar. Eliminam-se os elementos que estejam abaixo deste limiar e aplica-se uma filtragem pontual para eliminar elementos isolados. Finalmente, aplica-se um processo de afinamento por supressão não-máxima e uma filtragem local para eliminação de linhas não retas. O processo de afinamento por supressão não-máxima procura por máximos locais, considerando a orientação e a magnitude do gradiente locais. Na filtragem de linhas não retas procura-se por um número mínimo de pixels com direção semelhante na direção da borda, eliminando-se aqueles que não atendam a este critério. Este processo pode ser repetido várias vezes, mas pode provocar descontinuidades em algumas linhas retas. A figura 5 mostra os resultados destes passos a uma pequena sub-imagem, em uma imagem aérea típica.

Após o afinamento e a filtragem de linhas não retas, aplica-se o processo de varredura e rotulação, gerando uma imagem de rótulos e uma estrutura com a descrição geométrica dos rótulos. Estas estruturas são analisadas, conectando-se retas

colineares e com atributos similares e eliminando-se retas com poucos pixels. Finalmente, ajustam-se as retas pelo método dos mínimos quadrados, com eliminação recursiva de erros grosseiros. Pode-se então estruturar os conjuntos de linhas retas e aplicar o "matching" relacional (Dal Poz & Tommaselli, 1998).

5. Conclusões

Neste trabalho foram apresentadas algumas discussões sobre a automação de processos fotogramétricos e, mais especificamente, a extração de feições e sua integração ao processo de extração de feições. Alguns resultados preliminares foram apresentados e mostram a aplicabilidade da abordagem proposta.

Considerando a realidade brasileira, é importante avançar na pesquisa de processos automáticos e semi-automáticos para Fotogrametria Digital, ainda considerando as especificidades do território brasileiro e a grande carência de mapeamento confiável em escalas médias e grandes. Devido à estas especificidades, não existe sentido em encarar os sistemas comerciais como ferramentas prontas e aceitar passivamente a condição somente de usuários, particularmente porque os algoritmos de reconhecimento e extração de feições atualmente em desenvolvimento não são adequados à realidade brasileira.

Partindo desta premissa pretende-se integrar alguns algoritmos de última geração a um sistema fotogramétrico digital comercialmente disponível. Os recursos para a aquisição deste sistema já estão alocados (Fapesp, 1998) e estão sendo estudados os sistemas que atendem aos requisitos, particularmente a existência de facilidades de desenvolvimento e integração de soluções do usuário.

6. Agradecimentos

O autor deseja expressar seus agradecimentos às seguintes instituições, que tem financiado parcialmente o desenvolvimento deste projeto: Unesp, CNPq, Fundunesp e Fapesp.

7. Referências Bibliográficas

ACKERMANN, F.; KRZYSZEK, P. , 1997 *Complete automation of Digital Aerial Triangulation* Photogrammetric Record. 15/89, pp. 645-656

BALLARD, D.H.; BROWN, C.M. , 1982. *Computer Vision*, New Jersey: Prentice-Hall. 522 p.

COLOMER, J.L.; COLOMINA, I. 1994. *Digital Photogrammetry at the Institut Cartogràfic de Catalunya*. Photogrammetric Record. 14/84, pp. 943-954.

COLOMINA, I. *Comunicação pessoal*, durante visita ao I.C.C. 1998.

DAL POZ, A.P.; TOMMASELLI, A.M.G.; CINTRA, J.P., 1996. *Relational Matching Applied to Automatic Extraction of Ground Control in Digital Images*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Viena, Austria.

DAL POZ, A.P.; TOMMASELLI, A.M.G., 1998. *Strategy to detect ground control in digital images*. In: Proceedings of the SPIE conference on control in Digital Images, Orlando, FI, EUA, 1998

DAN, A.; WALKER, A.S., 1996 *Recent Developments in Digital Photogrammetric Systems from Leica-Helava*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, commission II, Viena, Austria, pp. 66-71.

DOWMAN, I.J.; MORGADO, A.; VOHRA, V. , 1996. *Automatic Registration of images with maps using polygonal features*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Viena, Austria, pp. 139-145.

DUDANI, S.A., LUK, A.L., 1978. *Locating straight-line edge segments on outdoor scenes*, Pattern Recognition, Vol. 10, pp. 145-157.

FAPESP, 1998 *Implantação de recursos de Fotogrametria Digital na Faculdade de Ciências e Tecnologia*. Projeto de Infra-Estrutura, proc. n. 97-10749-4. Aprovado em 31.04.98.

GIBBS, P.M. 1998 *Analogue Plotting Still Competitive*. Photogrammetric Record. 16/91, pp. 93-96.

GRUEN, A. W. , 1996 *Digital Photogrammetric Stations Revisited*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, commission II, Viena, Austria, pp. 127-134.

GRUEN, A. W.; LI, H. 1997. *Semi-Automatic Linear Feature Extraction by Dynamic Programming and LSB-Snakes*.

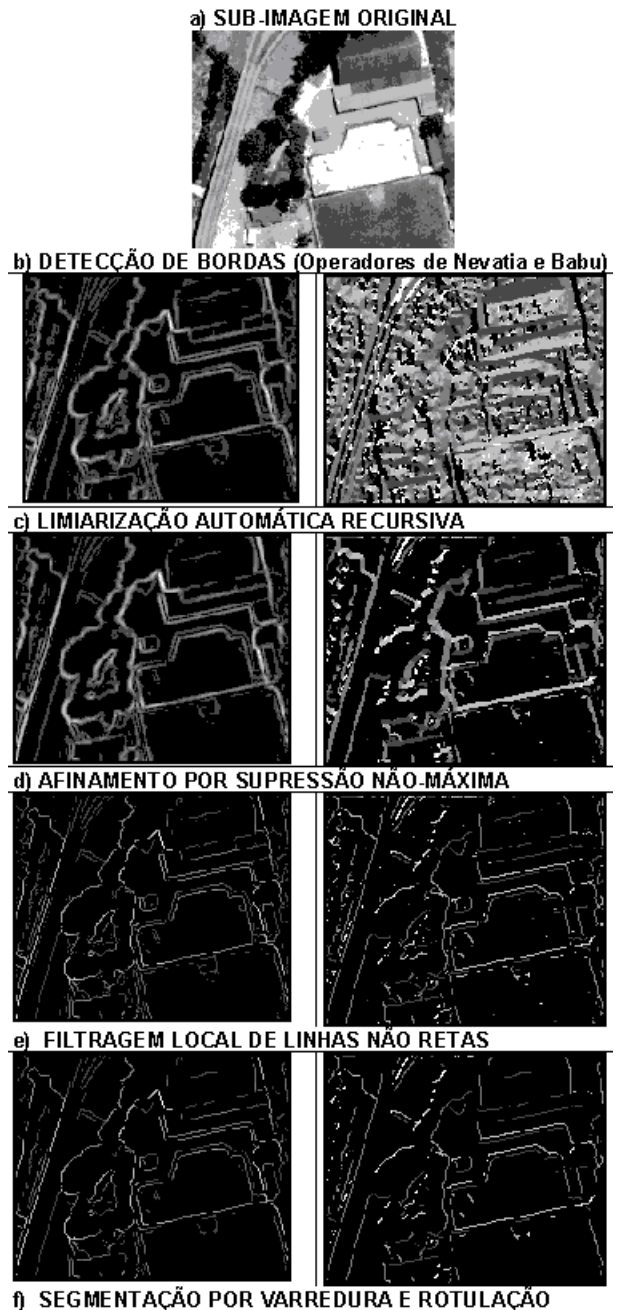


Fig. 5: Fluxo de dados e resultados no processo de extração de feições.

HEIPKE, CHRISTIAN, 1997. *Automation of Interior, relative and absolute orientation*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 52, N. 1, pp. 1-19.

KRZYSZEK, P. 1995. *New investigations into the practical performance of automatic DEM generation*. Proceedings of the ASPRS'95 Convention. Charlotte, pp. 488-500.

LEE, R., LU, P.C, TSAI, W.H., 1990. *Robot location using single views of rectangular shapes*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, No. 2, pp. 231-238.

LIU, Y., HUANG, T. S., 1991. *Determining straight line correspondences from intensity images*, Pattern Recognition, Vol. 24, No. 6, pp. 489-504.

LUGNANI, J.B., 1980. *Using digital entities as control*. Fredericton, 159 p., PhD Thesis, Department of Surveying Engineering, The University of New Brunswick.

SMITH, M.J.; SMITH, D.G.; TRAGHEIM, 1997 *DEM's and Ortho images from aerial photographs*. Photogrammetric Record. 15/90, pp. 945-950.

SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. , 1993 *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Chapman & Hall, London, 555 p.

TOMMASELLI, A.M.G., LUGNANI, J. B., 1988. *An alternative mathematical model to the collinearity equation using straight features*, In: Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Commission III, pp. 765-774.

TOMMASELLI, A.M.G. *Um método recursivo aplicado ao problema de localização em Visão de Máquina*. Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 1993.

TOMMASELLI, A.M.G.; TOZZI, C. L., 1996. *A recursive approach to Space Resection using straight lines*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 62, N 1.

TOMMASELLI, A.M.G. 1998 *Extração automática de feições lineares para aplicações cartográficas*. Relatório parcial: CNPQ.

VENKATESWAR, V.; CHELLAPPA, R. 1992. *Extraction of Straight Lines in Aerial Images*. IEEE Transactions on PAMI, Vol. 14, No. 11, pp. 1111-1114

WALKER, A.S., 1997 *Practical Automation in commercial Digital Photogrammetry*. Photogrammetric Record. 15/81, pp. 657-664.