

SIMULAÇÃO DE OBJETOS RECONHECIDOS SEMANTICAMENTE VISANDO A EFICIÊNCIA DO DESEMPENHO DO MÉTODO PARA AUTOMAÇÃO DA ORIENTAÇÃO ABSOLUTA DE IMAGENS

Daniel Rodrigues dos Santos¹
Quintino Dalmolin¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – {danielsantos;qdalmolin@ufpr.br}

RESUMO

Dentre as etapas do processo fotogramétrico, a etapa da orientação absoluta de imagens ainda não sofreu um processo de automação completa devido às dificuldades que envolvem conhecimentos analíticos e conhecimentos semânticos na fase de implementação computacional. Um dos enfoques na solução do problema da automação da orientação absoluta de imagens é determinar um agrupamento de retas robusto geometricamente, tendo como possibilidade o agrupamento de objetos semânticos. Feições retas grandes definem uma melhor geometria, para melhorar o desempenho das heurísticas envolvidas no processo de correlação estrutural e conseqüentemente na determinação dos parâmetros. Em imagens digitais, segmentos grandes são facilmente definidos por objetos alongados, tais como, rodovias e ruas que definem o bloco de edificações. O objetivo deste trabalho é comparar os resultados da orientação absoluta de imagens utilizando retas grandes que definem objetos como rodovias e retas definindo edificações (objetos pequenos localmente agrupados e muito próximos). Os resultados obtidos mostram que a metodologia apresentada é bastante promissora e ainda encontra-se em fase de testes e implementação de algoritmos.

Palavras-chaves: Linhas retas; Orientação absoluta; Correlação estrutural.

SIMULATION OF SEMANTIC OBJECTS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF AUTOMATION OF ABSOLUTE ORIENTATION OF IMAGES

ABSTRACT

The Photogrammetric task absolute orientation of image is not completely automatic because involve semantic process and knowledge being of difficult implementation. The goal of absolute orientation is compute exterior orientation parameters and it estimative. It is very complex define a locally and close grouping becoming a drawback to automation of process. A solution proposes in this paper is the use of big straight lines describing roads or streets axis and blocks for improve the performance of strategy heuristic. The goal of this paper is use simulates data to compare convergence graphics computed by use roads axis well distributes against small straight lines describing edification. The results shown the improve of automatic absolute orientation of image process using big straight lines.

Keywords: Absolute orientation; straight lines; structural matching.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da era digital possibilitou a ligação da Fotogrametria com outras áreas do conhecimento, tais como: Processamento Digital de Imagens, Inteligência Artificial e Visão Computacional. Esta integração de conhecimentos tem tornado possível a automação de algumas tarefas fotogramétricas, destacando-se: orientação interior e relativa, geração de MDT (Modelo Digital do Terreno) e geração da ortofoto digital.

Entretanto, a etapa da orientação absoluta de imagens ainda não sofreu um processo de automação completa devido às dificuldades que envolvem conhecimentos analíticos e semânticos (características ou significados dos objetos) na fase de implementação computacional. Problemas semânticos são muito

difíceis de serem solucionados computacionalmente, mas trivialmente resolvidos pelo operador, como por exemplo, as tarefas de interpretação de imagens e reconhecimento de objetos.

Um dos aspectos na solução do problema da automação da orientação absoluta de imagens, que tem por objetivo estimar os parâmetros de orientação exterior e suas respectivas precisões, é determinar um agrupamento de retas robusto geometricamente. Essa situação seria ideal para a rápida estabilização das correspondências utilizando o *IEKF* (*Iterative Extend Kalman Filter*).

A geometria do agrupamento é definida pela configuração em que se apresentam as retas. Por exemplo, uma configuração com retas paralelas e pequenas retas agrupadas localmente e próximas definem um agrupamento geometricamente desfavorável. Com isto, a precisão dos parâmetros pode ser superestimada (devido ao caráter sub-ótimo do *IEKF*) e diminui a eficiência da injeção de rigidez (Dal Poz, 1999). No caso de agrupamentos contendo apenas 2 feições retas a heurística da distância relacional é pouco confiável, obtendo falsas correspondências.

A preocupação pela eficiência do método de automação da orientação absoluta de imagens motiva o interesse na proposta de uma metodologia que possibilite um aumento no desempenho das heurísticas envolvidas no processo, utilizando grandes feições retas e uma gama de informações extraídas de um MDT proveniente de imagens de intensidade adquiridas com sistemas de varredura a laser (Santos, 2003).

O objetivo deste trabalho é comparar os resultados do processo de estabilização das correspondências entre grandes feições retas, definindo eixos retos de rodovias ou ruas (objetos semânticos), e pequenas retas, definindo topos de edificações. A metodologia proposta tem como finalidade mostrar que o tamanho e o conhecimento semântico dos objetos envolvidos no processo de correlação estrutural suprem a necessidade da definição de um agrupamento de retas geometricamente pré-definido.

Os resultados obtidos mostram que a metodologia utilizada é bastante promissora, mas ainda necessita de testes e implementação de algoritmos que combinam a fusão de imagens digitais adquiridas com câmaras de pequeno formato e imagens de intensidade adquiridas pelo sistema de varredura laser.

2. TRABALHOS RELATADOS

O processo de automação da orientação absoluta ainda é um tema que se encontra em aberto, pois ainda existem melhorias a serem realizadas, principalmente na fusão de técnicas e imagens para a solução do problema. Um dos procedimentos mais complexos é a tarefa de automação do processo de reconhecimento semântico dos objetos envolvidos no problema.

Como o computador não funciona como o ser humano na interpretação de objetos, a interatividade computador-operador ainda é uma necessidade. Alguns trabalhos encontrados na literatura com suas diferentes metodologias são:

- Mulawa e Mikhail (1988) iniciaram a proposta de usar linhas retas como elementos de controle de campo, no qual a resseção espacial é reformulada com base em equações de retas tridimensionais. Neste caso, com a medida de apenas três retas bem distribuídas pode ser realizada a resseção espacial de uma foto. Este tipo de conceito tem sido utilizado em vários segmentos de linha, até mesmo em formas livres de curvas (Buchanan, 1992; Zielinski, 1992; Petsa e Patias, 1994; Schwerman, 1994; Forket, 1996; Zalmason, 2000). Entretanto, a interação máquina-operador ainda é requisitada;
- Ebner e Strunz (1988) utilizaram uma metodologia para recuperar os parâmetros de orientação exterior utilizando um MDE (Modelo Digital de Elevações). Determinando um conjunto de equações do plano a partir de medidas de três pontos contidos no mesmo modelo. A orientação exterior é determinada quando todos os planos obtidos minimizam sua diferença no eixo Z;
- Jaw (1999) melhorou o método utilizado por Ebner e Strunz (1988), minimizando a diferença ao longo da direção normal da superfície do eixo Z. Estes métodos baseados em áreas são eficientes quando o MDE é conhecido ou derivado do sistema de varredura a laser, mas requerem mais cálculos e ainda necessitam de medidas manuais;
- Dal Poz e Tommaselli (1999) desenvolveram uma estratégia de correlação com objetivo de estabelecer as correspondências entre as feições retas de agrupamentos homólogos para orientação absoluta de imagens utilizando três etapas: (1) A injeção de rigidez baseia-se num modelo fotogramétrico relacionando feições retas dos espaços imagem e objeto. De uma forma geral, dada uma feição reta do espaço objeto, o objetivo da Injeção de Rigidez é restringir o número de feições retas do espaço imagem candidatas a uma

correspondência; (2) O cálculo da Distância Relacional Normalizada (DRN) mede a similaridade entre duas descrições relacionais, sendo definida no intervalo normalizado [0; 1]. A correspondência será compatível quando DRN for zero ou menor que um limiar pré-estabelecido; e (3) O auto-diagnóstico - Baseia-se no teste estatístico *data-snooping* aplicado ao *IEKF*;

- Dal Poz (1999), aborda que a etapa de extração de feições retas influencia muito fortemente no desempenho do método de automação da orientação absoluta de imagens. Portanto, o requisito mínimo exigido para o método responsável pela extração de feições retas é a preservação das direções, de forma que não ocorra uma fragmentação muito grande de retas, pois quanto menor a reta maior será o problema na definição das direções;
- Para Dal Poz (1999), devido ao caráter sub-ótimo do *IEKF*, a superestimação da precisão dos parâmetros pode ocorrer quando a geometria não é favorável, diminuindo a eficiência da injeção de rigidez. Podendo ser evitado quando um agrupamento inicial com grandes feições retas, e convenientemente distribuídas, seja disponível, melhorando também o desempenho da injeção de rigidez; e
- Habib et al (2000) combinam dados provenientes de cartas, sistema de mapeamento móvel e *GIS (Geographic Information System)* com imagens aéreas para permitir a correspondência ponto-a-ponto entre feições retas no espaço-imagem e espaço-objeto. Neste trabalho, a função de estimação dos parâmetros de orientação exterior é a transformada de Hough modificada. As desvantagens deste método são que os segmentos lineares, utilizados como apoio de campo, são determinados manualmente após a realização de uma aerotriangulação e as feições nas imagens são digitalizadas manualmente. Outra desvantagem é o problema na determinação do tamanho da célula do vetor na transformada de Hough.

Neste trabalho, propõe-se uma metodologia que utiliza linhas retas grandes e semanticamente reconhecidas para melhorar a eficiência do desempenho do método de automação da orientação absoluta de imagens baseado na estratégia desenvolvida por Dal Poz (1999) e no modelo matemático implementado pelo mesmo autor em 1996. A metodologia que está sendo proposta simula linhas retas de eixos retos de rodovias e ruas que definem quadras (feições retas grandes), bem como retas localmente agrupadas definindo topo de edificações (pequenas retas).

Na sub-seção 3.1 serão apresentados testes realizados com dados simulados que motivam a metodologia que está sendo proposta. Na seção 4 serão apresentados os resultados e análises, sendo na sub-seção 4.1 a comparação dos gráficos de correspondências relacionados ao grupo 1, a sub-seção 4.2 compara os gráficos de correspondências relacionados ao grupo 2, a sub-seção 4.3 a comparação dos gráficos de correspondências relacionados ao grupo 3 e na seção 5 conclusões.

3. METODOLOGIA

Na prática, a definição automática de um agrupamento geometricamente robusto é uma tarefa complexa, devido às variações de ordem interpretativa existentes nas imagens. Uma possibilidade de suprir a necessidade da definição de um agrupamento de retas é reconhecer semanticamente as feições extraídas, além do uso de grandes feições retas, que pode melhorar o desempenho das heurísticas envolvidas no processo de correlação estrutural e conseqüentemente na obtenção dos parâmetros.

A utilização de uma gama de informações provenientes de imagens de intensidade adquiridas pelo sistema de varredura laser, também pode ser utilizada para suprir a necessidade da formação de um agrupamento geometricamente robusto (Santos, 2003).

O reconhecimento semântico das feições indica que, seja conhecido o tipo de feição no espaço-objeto (por exemplo, a feição no terreno é um eixo de rodovia) é possível procurar no espaço-imagem feições que definem eixos de rodovias. Em imagens digitais, grandes feições retas são facilmente definidas por objetos alongados, tais como, eixos de ruas definindo quadras ou eixos de rodovias.

O modelo matemático utilizado na relação entre retas no espaço-imagem e espaço-objeto é o modelo dos planos equivalentes desenvolvido por Tommaselli (1993). Por isso, as feições de interesse que serão abordadas neste trabalho são os eixos retos de rodovias ou ruas (grandes feições retas) e topos de edificações (pequenas feições retas localmente agrupadas e próximas).

Devido ao descrito acima, propõe-se o uso de eixos retos de rodovias ou quadras de forma livre, sem a necessidade da formação de um agrupamento de retas geometricamente pré-definido e também a utilização de uma gama de informações de dados, com o objetivo de caracterizar a melhora no desempenho do método.

3.1 Simulação de Retas para o Processo de Correlação Estrutural

A simulação dos dados apresenta uma situação ideal para o problema de forma que a metodologia proposta seja consolidada. A tabela 1 apresenta os parâmetros de orientação exterior verdadeiros, com o objetivo de simular a posição (X_0 , Y_0 , Z_0) e atitude (ω , ϕ , κ) e a tabela 2 mostra os parâmetros de orientação interior definindo a geometria interna da câmara (focal - distância focal calibrada; xpp, ypp - ponto principal). O sistema de lentes da câmara é admitido como ideal, não possuindo distorções óticas.

Tabela 1 – Parâmetros de orientação exterior verdadeiros.

ATITUDE			POSIÇÃO		
κ	ϕ	ω	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)
0^0	0^0	0^0	677346.98	7184136.12	1500.00

Tabela 2 – Parâmetros de orientação interior da câmara.

focal (mm)	xpp (mm)	ypp (mm)
10.00	0.00	0.00

A tabela 3 apresenta os parâmetros de orientação exterior aproximados e suas respectivas precisões. Na concepção de valores aproximados para os parâmetros de orientação exterior, pode-se considerar a determinação dos mesmos por meio de voo apoiado ou integração de sensores GPS/Inercial (*Geodetic Positioning System*) e câmara. Neste trabalho serão adotados valores aproximados com precisão de 25 m.

Tabela 3 – Parâmetros de orientação exterior da câmara aproximados e suas respectivas precisões.

ATITUDE			POSIÇÃO		
κ	ϕ	ω	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)
3^0	3^0	3^0	677371.98	7184161.12	1525.00
PRECISÕES					
3.5^0	3.5^0	3.5^0	25	25	25

A metodologia proposta utiliza feições retas para o processo de correlação estrutural. Sendo assim, é necessário simular os parâmetros que definem uma reta (\mathbf{a} – parâmetro angular e \mathbf{b} – parâmetro linear da reta). O modelo matemático dos planos equivalentes, desenvolvido por Tommaselli (1993), apresenta parametrizações de retas horizontais e verticais, por isso, deve-se simular parâmetros da reta \mathbf{a} \mathbf{b} (para retas horizontais) e \mathbf{a}^* \mathbf{b}^* (para retas verticais).

Para a simulação dos parâmetros descritos anteriormente foi utilizada a equação de colinearidade para projetar os pontos que definem a reta (pontos 1 e 2 da reta) no espaço-objeto para o espaço-imagem (para mais detalhes consultar Lugnani, 1986), e posteriormente calculados através das equações apresentadas por (Tommaselli, 1993):

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (01)$$

$$b = \frac{y_1 \cdot x_2 - x_1 \cdot y_2}{x_2 - x_1}$$

$$a^* = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$$

$$b^* = \frac{x_1 \cdot y_2 - y_1 \cdot x_2}{y_2 - y_1} \quad (02)$$

onde:

- x_1, y_1, x_2, y_2 : coordenadas dos dois pontos que definem cada reta projetada do espaço-objeto para o espaço-imagem.

O cálculo das variâncias dos parâmetros **a b** (ou **a* b***) da reta é dado por (Tommaselli, 1993):

$$\sigma_a^2 = \frac{2(a^2 + 1)}{(x_2 - x_1)^2} \sigma_{xy}^2$$

$$\sigma_b^2 = \frac{x_2^2 - x_1^2}{(x_2 - x_1)^2} (a^2 + 1) \sigma_{xy}^2 \quad (03)$$

$$\sigma_a^{2*} = \frac{2(a^{*2} + 1)}{(y_2 - y_1)^2} \sigma_{xy}^2$$

$$\sigma_b^{2*} = \frac{y_2^2 - y_1^2}{(y_2 - y_1)^2} (b^{*2} + 1) \sigma_{xy}^2 \quad (04)$$

onde:

- σ_a^2, σ_b^2 : variância dos parâmetros **a e b**;
- $\sigma_a^{2*}, \sigma_b^{2*}$: variância dos parâmetros **a* e b***; e
- σ_{xy}^2 : variâncias dos pontos xy .

O conjunto de experimentos com retas simuladas são divididos em 3 grupos. Cada grupo dividido em retas que simulam eixos retos de rodovias ou quadras e topos de edificações. Para cada grupo de retas simuladas são apresentados gráficos do comportamento da estabilização das correspondências entre as retas para a análise da validação da metodologia proposta. Todas as imagens relacionadas aos grupos 1, 2 e 3 estão na escala 1:15 000

Grupo 1: Na figura 1 as retas simulam eixos retos de rodovias ou ruas. Na figura 2 são apresentadas retas que simulam o topo de edificações na mesma escala e extraídas ambas (retas simuladas) da mesma cena em questão.

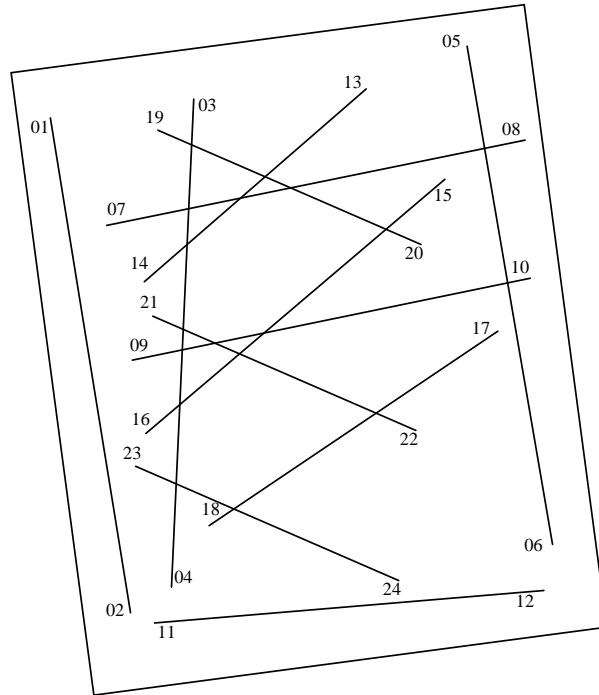


Figura 1 – Retas simuladas delineando rodovias e ruas.

Na figura 1, é verificado visualmente um conjunto de eixos retos de rodovias ou ruas, bem distribuídos ao longo da imagem, porém sem um agrupamento geometricamente pré-definido.

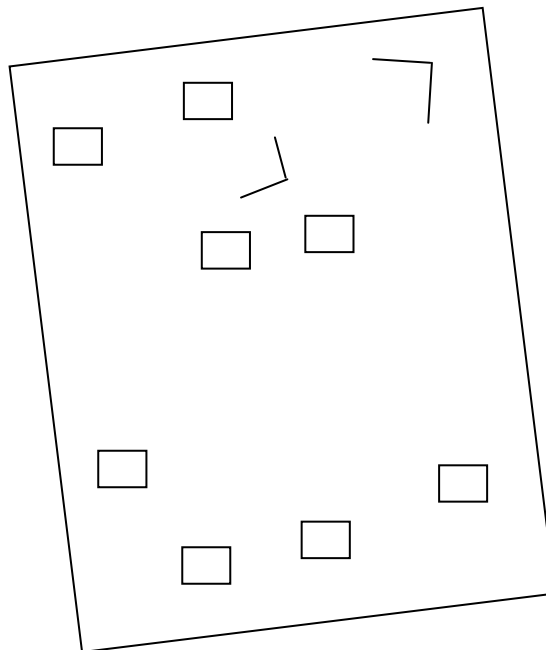


Figura 2 – Retas simuladas delineando topo de edificações.

Na figura 2 é apresentado um conjunto de retas geometricamente e localmente agrupadas, e muito próximas, além distribuídas regularmente ao redor de toda área da imagem.

No caso do experimento em relação ao grupo 2, foram bem distribuídas as retas simuladas, ao longo da imagem, separando-as umas em relação às outras.

Grupo 2: A figura 3 apresenta retas que simulam eixos retos de rodovias e uma quadra. A figura 4 mostra retas que simulam pequenos eixos retos de ruas ou rodovias.

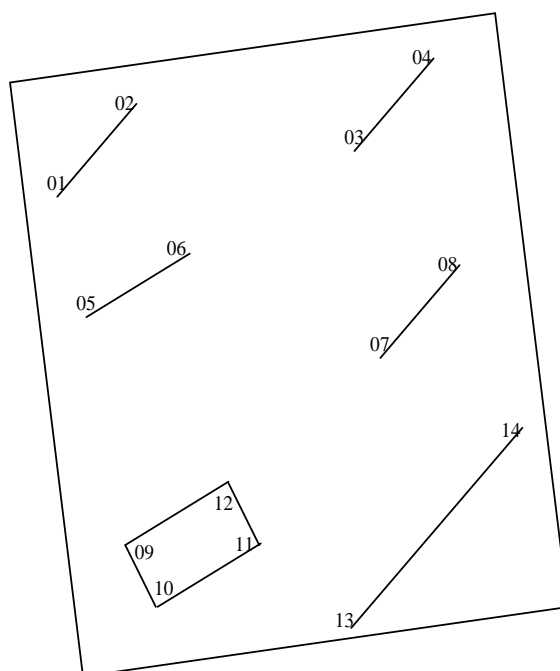


Figura 3 – Retas simuladas delineando rodovias e uma quadra.

A figura 3, apresenta 5 retas que simulam 5 eixos retos de ruas ou rodovias e uma quadra.

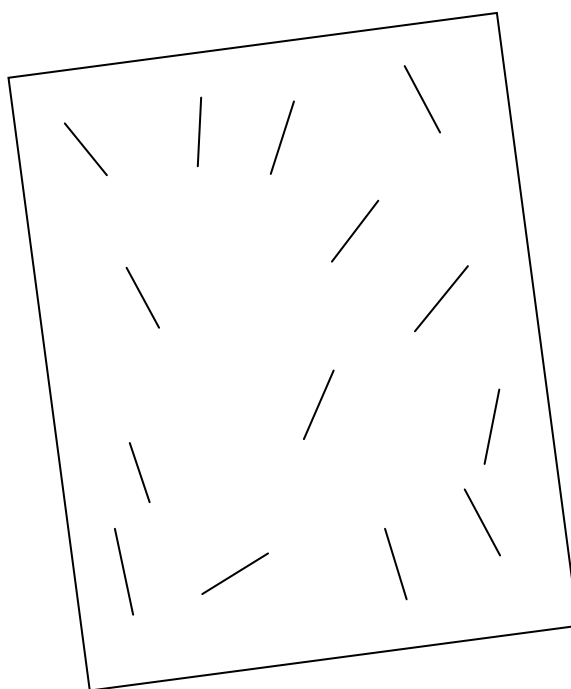


Figura 4 – Retas simuladas delineando pequenos segmentos de retas distribuídos na imagem.

Na figura 4 são apresentadas 14 retas que simulam pequenos eixos retos de ruas ou rodovias detectadas e distribuídas separadamente para não formar agrupamentos locais e próximos. No caso do

experimento pertencente ao grupo 3, foram simuladas retas que definem quadras e edificações, bem distribuídas ao longo da imagem, porém localmente agrupadas.

Grupo 3: A figura 5 apresenta retas que definem cruzamentos de ruas, quadras e eixos retos de ruas ou rodovias. A figura 6 mostra retas localmente agrupadas que compõe edificações e um cruzamento de rua com pequenas retas agrupadas localmente.

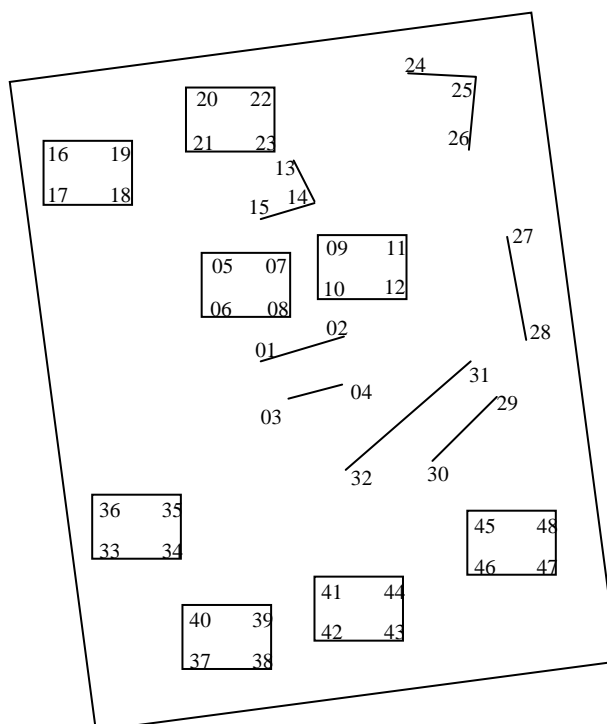


Figura 5 – Retas simuladas delineando quadras e eixos de rodovias.

Na figura 5 é apresentado 8 agrupamentos de retas que simulam quadras, 5 eixos retos de ruas ou rodovias e 2 agrupamentos de retas que delineiam cruzamentos de ruas.

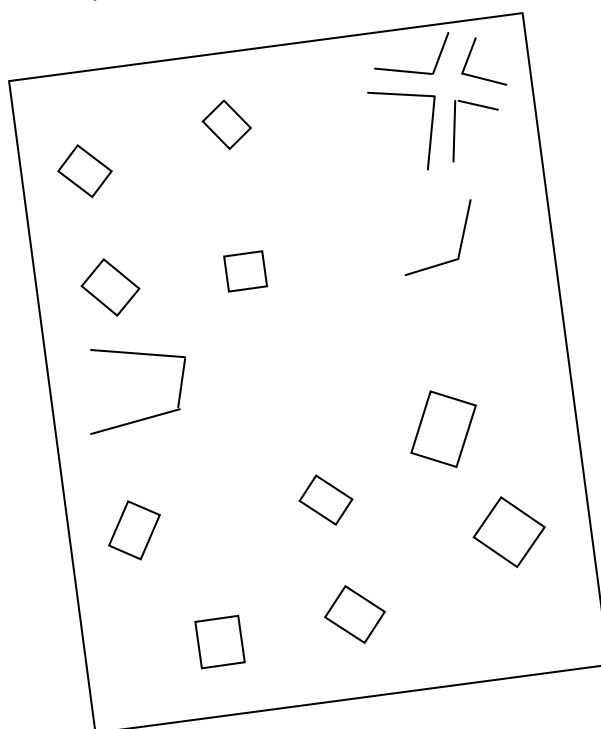


Figura 6 – Retas compondo edificações e pequeno cruzamento de rua.

Na figura 6, 10 agrupamentos de retas simulam as edificações presentes na imagem. Um agrupamento define um cruzamento de rua e 2 agrupamentos retas definem pequenos eixos de ruas.

Com o conjunto de retas simuladas e divididas em grupos de simulações na seção 4 são realizadas as análises dos resultados obtidos no processo de estabilização de correspondência entre as retas. A estratégia implementada para a automação da orientação absoluta de imagens é baseada na estratégia de correlação estrutural desenvolvida por Dal Poz (1999).

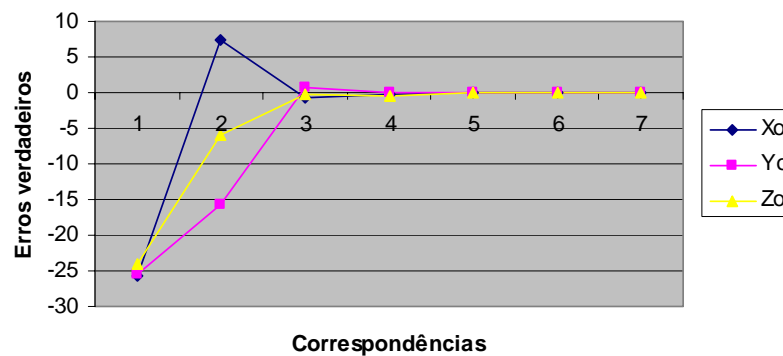
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A sub-seção 4.1 apresenta os gráficos correspondentes a cada experimento (grupos 1, 2 e 3) dos desvios entre os erros verdadeiros dos parâmetros de translação ($X_0Y_0Z_0$) da câmara e o número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural. Como as rotações ($\kappa\phi\omega$) apresentam um padrão de convergência melhor definido e mais rápido em relação as translações da câmara (Dal Poz, 1999), será dado enfoque apenas na comparação dos dados entre as translações.

4.1 Comparação dos Gráficos de Correspondências Relacionadas ao Grupo 1

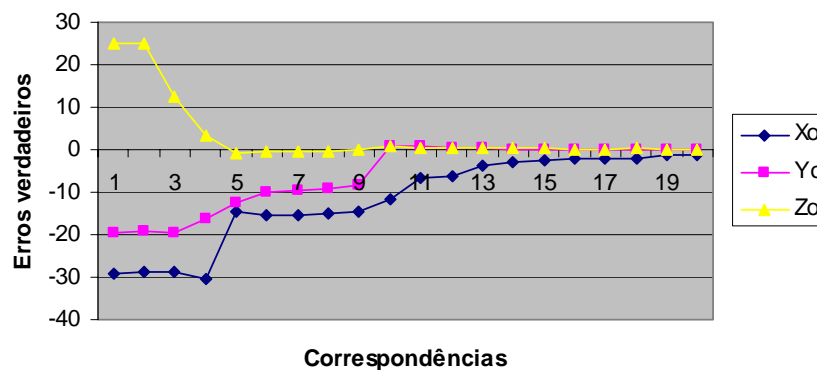
O gráfico 1 apresenta a convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara e o número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural, de acordo com a figura 1 do grupo 1.

Gráfico 1 – Gráfico de convergência (Figura 1 Grupo 1). A unidade dos erros verdadeiros é dada em metros.



O gráfico 2 mostra a convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara e o número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural, de acordo com as simulações de retas apresentadas na figura 2 do grupo 1.

Gráfico 2 – Gráfico de convergência (Figura 2 Grupo 1). A unidade dos erros verdadeiros é dada em metros.



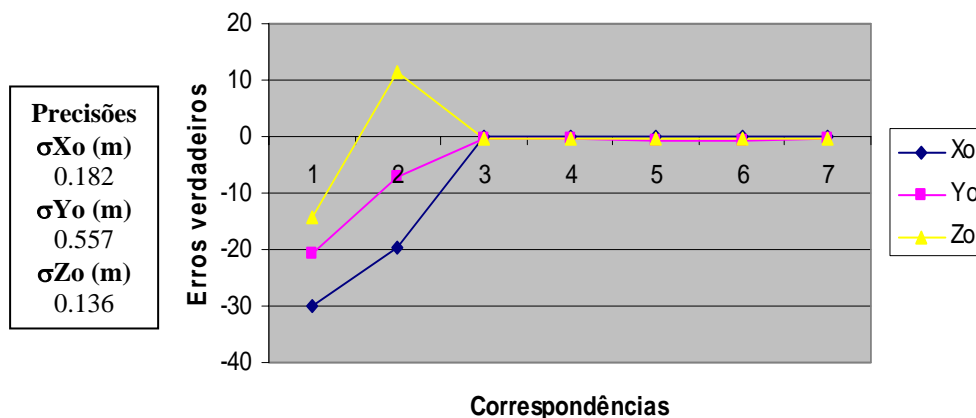
Analisando os gráficos 1 e 2 pode-se dizer que:

- Utilizando eixos retos de rodovias a translação em Z_0 se estabilizou na terceira correspondência, enquanto que, ao utilizar topo de edificações a coordenada Z_0 estabilizou-se apenas na quinta correspondência;
- No caso das coordenadas X_0 e Y_0 (experimentos em relação à figura 1), a estabilização de ambas as coordenadas ocorreu na quarta correspondência. Para o experimento em relação à figura 2, a coordenada Y_0 se estabilizou na décima correspondência e para X_0 não houve estabilização ;
- Quando comparados os gráficos 1 e 2, o uso de eixos retos de rodovias mostram que a eficiência do desempenho do método melhora consideravelmente e ainda evita uma superestimação das precisões, no qual influencia o desempenho da injeção de rigidez;
- O gráfico 1 quando comparado com o gráfico 2 evidencia a necessidade de utilizar eixos retos de rodovias no método implementado; e
- Como o processo se estabiliza totalmente na quarta correspondência (com o uso de grandes feições retas), aparentemente não é necessário utilizar uma grande quantidade de feições retas como apoio de campo. Porém, na prática, devido à grande complexidade da imagem (sombras, árvores entre outros), pode não ser possível encontrar feições retas grandes. Sendo assim, sugere-se a realização de experimentos com dados reais, para confirmar a pertinência.

4.2 Comparação dos Gráficos de Correspondências Relacionadas ao Grupo 2

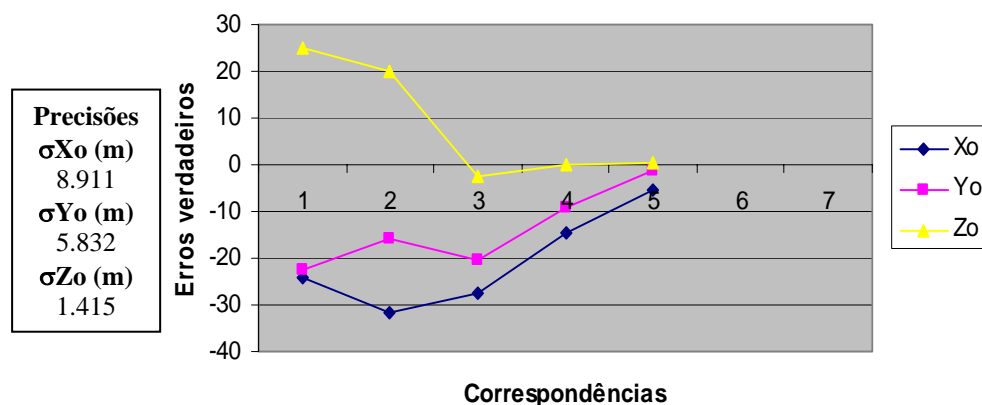
O gráfico 3 apresenta a convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara em relação ao número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural, considerando a figura 3 do grupo 2, além das precisões estimadas pelo *IEKF*.

Gráfico 3 – Gráfico de convergência (Figura 3 Grupo 2).



O gráfico 4 mostra o gráfico de convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara em relação ao número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural (simulações de retas apresentadas na figura 4 do grupo 2).

Gráfico 4 – Gráfico de convergência (Figura 4 Grupo 2).

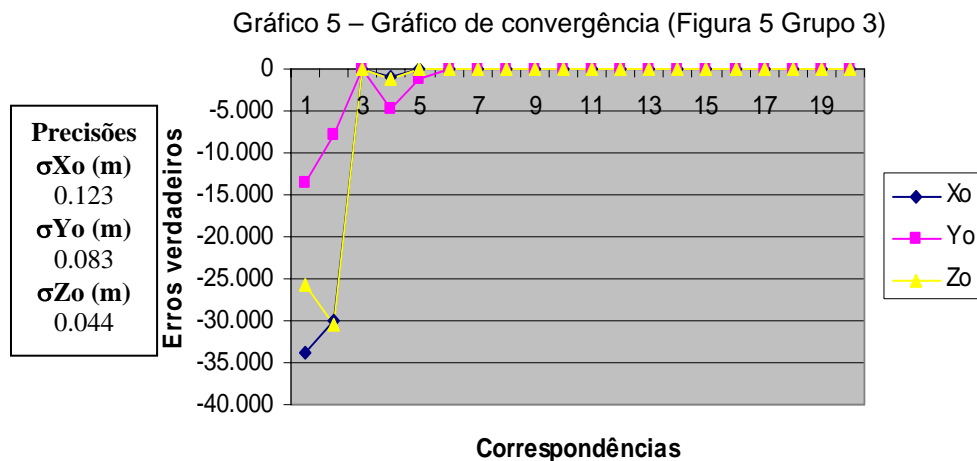


Com a análise dos gráficos 3 e 4 pode-se verificar que:

- De acordo com o gráfico 3, o gráfico de convergência relacionado à figura 3 do grupo 2, apresenta estabilidade de convergência dos parâmetros (X_0 Y_0 Z_0) a partir da terceira correspondência. Como as retas formam uma configuração diagonal em relação ao eixo X e Y no sistema do espaço-objeto, verifica-se que os maiores desvios (erros) ocorreram para X_0 e Y_0 , sendo que Y_0 apresentou a pior situação. . Apenas duas correspondências não foram obtidas, devido a problemas na estratégia de inunção de rigidez, pois a distância relacional calculada é 0.0 (zero) implicando em correspondência entre as feições retas;
- A heurística de inunção de rigidez, neste caso, depende do *IEKF*. Uma vez que o mesmo é de caráter sub-ótimo, superestima a precisão dos parâmetros. Isso faz com que seja considerada no processo a análise de retas que não possuem correspondência ou que não sejam consideradas retas que possuem correspondência;
- No gráfico 4, o gráfico de convergência (relacionado à figura 4 do grupo 2), não apresenta estabilidade na convergência das correspondências. Neste caso, retas pequenas, que definem eixos retos de rodovias ou ruas e não agrupadas, não apresentam utilidade no processo. Apesar das retas estarem bem distribuídas não se recomenda o uso de pequenas retas e sem um agrupamento local; e
- O gráfico 4 apresenta as precisões dos parâmetros verificando-se que o processo fornece pior precisão em X_0 . Neste caso, a configuração inclinada das retas explica a pior precisão devido à correlação existente entre os eixos dos sistemas do espaço-imagem e objeto.

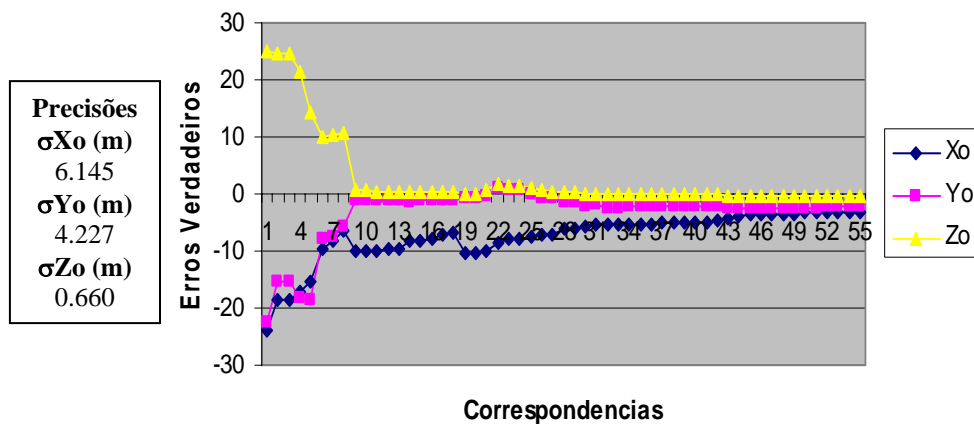
4.3 Comparação dos Gráficos de Correspondências Relacionadas ao Grupo 3

O gráfico 5 apresenta a convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara em relação ao número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural, de acordo com a figura 5 do grupo 3.



O gráfico 6 apresenta a convergência das correspondências entre o erro verdadeiro das coordenadas de translação da câmara em relação ao número de correspondências obtidas no processo de correlação estrutural, segundo as simulações de retas apresentadas na figura 6 do grupo 3.

Gráfico 6 – Gráfico de convergência (Figura 6 Grupo 3).



De acordo com a análise dos gráficos 5 e 6 pode-se dizer que:

- O gráfico 5 mostra a convergência segundo a figura 5 do grupo 3, onde a estabilização da convergência das correspondências é obtida na quinta correspondência. Apesar da convergência do método se estabilizar após a quinta correspondência, pode-se perceber claramente uma superestimação, pois a partir da terceira correspondência foram determinadas precisões piores daquelas obtidas na terceira correspondência, evidenciando o caráter sub-ótimo do *IEKF*;
- Nas duas primeiras correspondências foram utilizadas grandes feições retas e entre a terceira e quinta correspondências pequenas retas. Com isto, as precisões dos parâmetros foram superestimadas. No entanto, após a quinta correspondência ocorreu a estabilização do método;
- O gráfico 6 de acordo com a figura 6 do grupo 3, não apresenta estabilidade total na convergência das correspondências para o parâmetro X_0 , apesar de ser utilizado retas localmente agrupadas e bem distribuídas. O tamanho das retas apresenta um fator essencial no desempenho do método da automação da orientação absoluta como pode-se constatar neste experimento. Foram utilizadas 61 retas localmente agrupadas e bem distribuídas ao longo de toda imagem definidas por topos de edificações e pequenas partes de cruzamentos de ruas, bem como partes de ruas. Mesmo assim, não ocorreu a estabilização da convergência de correspondência entre os parâmetros e não atingiu precisão confiável para os mesmos.

Neste trabalho, a estratégia de correlação estrutural utiliza o *IEKF* para a determinação dos parâmetros e suas respectivas precisões. No *IEKF*, a linearização é realizada em pontos de expansão diferentes (filtro *IEKF*), sendo as observações tratadas individualmente no processo, e a cada observação os parâmetros aproximados mudam de valor. Devido a isto, pode ocorrer a superestimação da MVC (Matriz Variância Covariância) dos parâmetros.

Com uma análise geral dos resultados obtidos pode-se concluir que, a utilização de eixos retos de rodovias ou ruas e quadras (grandes feições retas), melhoram o desempenho do método, estabilizando rapidamente o processo de convergência das correspondências. A grande vantagem em utilizar grandes feições retas é a melhora na eficiência da heurística de injeção de rigidez. Pois, grandes feições retas proporcionam uma geometria estável sem deficiência geométrica melhorando a eficiência da injeção de rigidez e possibilitando uma rápida estabilização do método.

Em relação aos gráficos gerados a partir de dados simulados de eixos retos de rodovias e quadras, verificou-se em todos os experimentos que, as precisões dos parâmetros foram superestimadas no início do processo, no qual a precisão do parâmetro X_0 sempre sofreu a maior superestimação. Há a necessidade de um maior número de experimentos para atribuir causa ao problema encontrado.

A heurística da injeção de rigidez é totalmente dependente do *IEKF*, pois o relaxamento ou restrição da janela de busca depende da estimativa dos parâmetros. A superestimação da MVC dos

parâmetros faz com que retas que não possuem correspondência sejam consideradas no processamento ou até mesmo excluídas aquelas que possuem correspondência à reta de referência.

A melhor forma de analisar o desempenho das heurísticas envolvidas no método é utilizar dados simulados. Sendo assim, vários testes estão sendo realizados com a finalidade de encontrar uma solução mais eficiente para cada heurística envolvida. Além disso, estão sendo estudados e implementados algoritmos para a extração de eixos retos de rodovias e ruas em imagens digitais e de varredura a laser.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia visando o desempenho do método para a orientação absoluta de imagens, utilizando grandes feições retas definindo eixos de rodovias ou ruas e quadras, através dos resultados obtidos por meio de testes realizados com dados simulados.

O gráfico de convergência das correspondências mostra que, quanto maior o tamanho da reta melhor o desempenho e mais rápido se estabilizam os parâmetros de orientação exterior e suas respectivas precisões, além de ser um grande atributo para que a precisão dos mesmos não seja superestimada.

Os resultados obtidos mostram que o uso de grandes feições retas, definidas por eixos de ruas ou rodovias, em imagens aéreas, é bastante interessante. Como a automação da orientação absoluta de imagens envolve técnicas de visão computacional e inteligência artificial, pois o grande gargalo da automação é a interpretação semântica dos objetos encontrados nas imagens, é necessário reconhecer os objetos de interesse e trabalhar suas características considerando seus atributos geométricos e radiométricos.

Com isto, a implementação de métodos para geração automática de hipóteses de partes de rodovia seria o primeiro passo para a extração automática de eixos de rodovias e ruas (objetos semânticos). A combinação de várias técnicas, tais como, crescimento de regiões, extração de feições retas e classificação de objetos, além do uso de descritores de variação temporal e proporção de contraste dos objetos, torna a implementação atraente, pois para o reconhecimento semântico dos objetos, sem a intervenção do operador humano, é necessário utilizar vários tipos de informações. No momento, os autores estão estudando e implementando as técnicas descritas acima tendo como resultados provisórios, a reconstrução automática de partes de rodovias. Porém, apenas eixos retos de rodovias serão extraídos para o processo.

Portanto, a análise dos resultados mostra que a metodologia proposta promete a melhora na eficiência do desempenho do método de orientação absoluta de imagens de forma totalmente automática, desde que seja também considerado o fluxo aplicado para imagens de varredura laser. Pois, para a extração dos objetos de interesse (eixos retos de rodovias ou ruas e quadras), em imagens de varredura a laser o processo exige automação do conhecimento semântico.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos ao Conselho de Aperfeiçoamento e Pesquisa (Capes) pelo fomento de bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUCHANAN, T., 1992. **Critical Sets for 3D Reconstruction Using Lines**. *Computer Vision – ECCV*, Berlin, Germany, pp.730-738.

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: *Proceedings of XVIII International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing*, Commission III-WG3, pp. 131-134, Viena.

DAL POZ, A. P. 1996, **Correlação Estrutural Aplicada à Extração Automática de Apoio de Campo**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, pp 182, São Paulo.

DAL POZ, A. P; TOMMASELLI, A. M. G. 1999, **Automação do Processo de Orientação Absoluta**. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Recife.

EBNER, H.; STRUNZ, G., 1988, **Combined Point Determination Using Digital Terrain Models as Control Information**. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Kyoto, vol. XXVII, part B11/3, pp.578-587.

FORKERT, G., 1996, **Image Orientation Exclusively Based on Free-form Tie Curves**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXI, pp.196-201, Vienna.

HABIB, A.; DEVIN, K.; ASMAMAW, A. 2000, **Straight Line in Linear Array Scanner Imagery**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol XXXIII, part B1, Amsterdam.

JAW, J. J., 1999, **Simultaneous Determination of Exterior Orientation and Terrain Surface from Aerial Imagery and Scanning Airborne Laser**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Commission III Symposium, Columbus, pp.52-57, Ohio, USA.

MULAWA, D. C.; MIKHAIL, E. M. 1988, **Photogrammetric treatment of linear features**. International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Japan.

PETSA, E.; PATIAS, P., 1994a., **Sensor Attitude Determination Using Linear Features**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Como, vol. XXX, Comm. I, pp.62-70.

SCHICKLER, W. 1992, **Feature Matching for Outer Orientation of Single Images Using 3-D Wireframe Controlpoints**. In: International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, 17, Comm. III, Proceedings. pp. 591-598, Washington.

TOMMASELLI, A. M. G. 1993, **Um Método Recursivo Aplicado ao Problema de Localização em Visão de Máquina**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade de Campinas, pp. 142, Unicamp.

ZIELINSKI, H., 1992. **Line Photogrammetry with Multiple Images**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXIX, part B3, pp.669-676, Washington.