

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 SÍNTESE DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia para a automação da resseção espacial de imagens digitais baseada no uso hipóteses de rodovia em potencial como apoio de campo, extraídas automaticamente na imagem de intensidade laser. As hipóteses de rodovia em potencial no espaço-imagem e no espaço-objeto são extraídas, reconstruídas e suas correspondências estabelecidas automaticamente pela ferramenta implementada.

Foi proposta uma metodologia para reconstrução automática de hipóteses de rodovia (e/ou ruas), que utiliza um conjunto de heurísticas combinando várias técnicas de PDI aplicadas sobre o objeto de interesse. Este processo é utilizado para extrair automaticamente hipóteses de rodovia em potencial no espaço-imagem. Já para a extração automática das hipóteses de rodovia em potencial no espaço-objeto, foi desenvolvido um filtro de detecção de rodovias em imagens de intensidade. O filtro proposto considera como valor de saída do pixel central, o valor de menor magnitude, ou seja, é realizado um processo inverso ao processo de detecção de bordas.

Foi desenvolvida uma métrica para a solução do problema de correlação estrutural baseada em atributos que relacionam hipóteses de rodovia e uma estrutura em carrossel.

Para a estimação dos parâmetros foi implementado o IEKF, que trabalha com uma seqüência de duas observações. As feições retas que definem fisicamente as hipóteses de rodovia em potencial são as observações utilizadas no cálculo dos parâmetros de orientação exterior da imagem.

Foram implementados algoritmos em linguagem C++ Builder, para todas as etapas da metodologia. O procedimento proposto foi testado com dados simulados e com dados reais, permitindo uma avaliação geral do comportamento de toda a metodologia proposta, além de uma avaliação das situações problemáticas em potencial.

5.2 CONCLUSÕES

Considerando o método proposto de classificação automática de objetos rodovia verificou-se que, o processamento é eficiente em 80% das situações testadas. A resolução da imagem digital é um fator limitante ao processo, pois problemas de efeito de *aliasing* dificultam a eficiência do algoritmo. Outro fator relevante é a presença de sombras projetadas sobre o objeto rodovia que desapropria uma das características fundamentais que é o apoio de campo com distribuição homogênea, para a determinação de parâmetros de orientação exterior confiáveis.

As falhas no processo automático de crescimento de regiões, tal como, a agregação de pixels e conseqüentemente o cálculo do coeficiente de compacidade, também são indicadores da baixa eficiência do método de classificação dos objetos. Os problemas citados dificultam a construção de hipóteses de rodovia com rigidez geométrica.

Considerando o filtro de detecção de objetos nulos desenvolvido, pode-se afirmar que o filtro é eficiente e robusto, e apresenta características relevantes na identificação de objetos rodovia em imagens de intensidade. O filtro possui uma característica similar aos filtros de detecção de pontos isolados, porém, tem como objetivo principal extrapolar os valores de cinza que não estão próximos de baixas magnitudes (entre 0 e 60), que caracterizam presença de objetos rodovia na imagem de intensidade.

O processo de construção de hipóteses de rodovia em imagens digitais apresentou-se com uma eficiência de 75% para as situações testadas, enquanto a reconstrução de hipóteses na imagem de intensidade obteve maior eficiência, pois a complexidade das imagens digitais (ópticas), é maior devido principalmente à projeção de sombras, entre outros fatores. Porém este problema não ocorre em imagens de intensidade.

Considerando o comportamento da métrica desenvolvida na solução do problema de correlação estrutural verificou-se que, geralmente na primeira correspondência ocorre uma perda no grau de correspondência em torno de 10 à

15%, devido ao uso de parâmetros aproximados iniciais. Porém, a partir da atualização do vetor de estado na estimação dos parâmetros, o grau de correspondência obtida torna-se maior.

A métrica desenvolvida apresentou-se eficiente em quase todos os experimentos com dados simulados. No entanto, a falta de parametrização de atributos definidos para relacionar os planos foi mais explícita para os experimentos com dados reais, e conseqüentemente ocorreram falhas no estabelecimento de correspondências.

A falta de rigidez geométrica das hipóteses automaticamente reconstruídas, também influenciou no processo de estabelecimento de correspondências. Entretanto, a métrica proposta possibilitou uma nova perspectiva de uso de apoio de campo.

Um dos problemas apontados foi o posicionamento desfavorável das hipóteses de apoio no estabelecimento da primeira correspondência, fornecendo baixos graus de correspondência (86%).

De uma forma geral o processo de estabelecimento de correspondências apresentou-se eficiente em quase todas as situações com dados simulados testados. Enquanto que com dados reais houve uma porcentagem de 75% de eficiência, devido principalmente aos fatores mencionados no escopo da análise dos resultados.

Considerando o comportamento do algoritmo de controle de qualidade das observações e detecção de falsas correspondências verificou-se que, em 90% dos casos as correspondências atenderam os critérios de detecção de erros grosseiros, além de serem identificadas as falsas correspondências, pois nos casos em que o algoritmo falhou não foi bem esclarecida a causa do problema. Pode-se dizer que, nos experimentos com dados reais a baixa qualidade na extração de feições retas inseriu erros grosseiros nas observações, fazendo com que a análise estatística identificasse esses erros, mesmo que em alguns casos as correspondências fossem verdadeiras.

O uso de feições retas grandes influenciou na obtenção de um padrão de convergência mais rápido. Porém, em situações reais o procedimento é mais complexo, exigindo a implementação de algoritmos específicos para esta finalidade.

Em todos os casos, os parâmetros de rotação apresentaram um padrão de convergência mais rápido e o parâmetro Z_0 apresentou-se menos estável. A instabilidade do parâmetro Z_0 pôde ser explicada devido, principalmente, a projeção das feições retas prejudicada pelo deslocamento do relevo, pelos problemas de divergência dos pulsos laser e também pela impossibilidade de rigidez geométrica na resseção espacial de imagens.

A partir dos experimentos com dados reais verificou-se que, a qualidade dos resultados obtidos no processo de estimação de parâmetros são atribuídos a falta de robustez do algoritmo de extração de feições retas, pois as técnicas de extração de feições retas utilizadas neste trabalho não são sofisticadas para detectar entidades na imagem digital e de intensidade de boa qualidade, como pode ser notado pelas variâncias dos parâmetros a e b das feições retas medidas.

O fato pôde ser explicado devido à baixa qualidade geométrica das imagens de intensidade e digital, pois as feições retas extraídas no espaço-objeto e no espaço-imagem apresentaram-se pouco retas, devido ao problema de *aliasing*. O problema causa distúrbios nos vetores normais aos planos nos espaços imagem e objeto, desestabilizando a relação entre as feições retas contidas em ambos os espaços, que influencia na qualidade dos parâmetros determinados.

A metodologia proposta para extração automática de hipóteses de rodovia em potencial nas imagens digital e de intensidade mostrou sua potencialidade como apoio de campo para o processo de resseção espacial de imagens. O apoio de campo extraído automaticamente e de forma indireta possibilita avanços na pesquisa pelo desenvolvimento de ferramentas autônomas, eficientes e robustas. Esta peculiaridade deve ser observada com profundidade para que sua potencialidade seja utilizada no melhor contexto possível.

Os resultados obtidos apresentaram a dificuldade na automação de todo o processo automático para a determinação dos parâmetros de orientação exterior de imagens. Por isso, acredita-se na viabilidade do desenvolvimento de técnicas e algoritmos mais sofisticados para atenuar os problemas provenientes da extração automática de feições retas.

5.3 RECOMENDAÇÕES

Alguns pontos abordados neste trabalho merecem estudos adicionais, embora o processo tenha mostrado sua funcionalidade, muitos problemas foram detectados e por isso recomenda-se estudar em detalhes os seguintes itens:

- Implementar atributos mais sofisticados que parametrizem situações em que as relações entre as hipóteses são paralelas ou perpendiculares;
- Variar a seqüência do uso das hipóteses de rodovia de apoio para melhorar a eficiência da convergência do método, como por exemplo, primeiramente utilizar apenas hipóteses definidas com feições retas de grande porte, depois utilizar os demais tamanhos de hipóteses;
- Desenvolver um modelo matemático que relacione planos no espaço-imagem e no espaço-objeto, com a finalidade de quebrar a correlação existente entre os vetores normais aos planos no espaço-imagem e no espaço-objeto, definidos pelo modelo dos planos equivalentes;
- Utilizar um banco de informações de hipóteses de rodovias definidas por feições retas grandes, que podem ser extraídas manualmente ou detectadas automaticamente a partir de um algoritmo de extração de feições sofisticado, implementado para esta finalidade;
- Implementar técnicas mais sofisticadas para extração de feições retas, como por exemplo, algoritmos de programação dinâmica;
- Implementar um algoritmo de filtragem robusto e eficiente, para atenuar o problema de variação vertical das coordenadas H dos pontos; e
- Estudar os erros sistemáticos que afetam a qualidade geométrica e radiométrica da imagem de intensidade, bem como no posicionamento dos pontos coletados no terreno, para que sejam devidamente tratados.