

# CONSTRUÇÃO AUTOMÁTICA DE HIPÓTESES DE OBJETOS LINEARES EM IMAGENS DIGITAIS E VARREDURA LASER

*Automatic construction of hypotheses for linear objects in digital and laser scanning images*

**Daniel Rodrigues dos Santos<sup>1</sup>**  
**Quintino Dalmolin<sup>1</sup>**  
**Ing-Habil Hans-Peter Bähr<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>**Universidade Federal do Paraná**  
**Departamento de Geomática**  
**Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**  
Centro Politécnico  
CEP81531-990 Curitiba /PR, Brasil  
{danielsantos;qdalmolin@ufpr.br}

<sup>2</sup>**Universität Karlsruhe (TH) – Karlsruhe – Alemanha**  
**Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung**  
[baehr@ipf.uni-karlsruhe.de](mailto:baehr@ipf.uni-karlsruhe.de)

## RESUMO

Este artigo apresenta uma metodologia para construção automática de hipóteses de objetos semânticos em imagens digitais e/ou de varredura laser combinando várias técnicas de Processamento Digital de Imagens e tratamento radiométrico diferenciado. Os objetos semânticos de interesse, neste trabalho, são feições lineares, mais especificamente rodovias e ruas. O objetivo é extrair automaticamente hipóteses de rodovia em potencial nos espaços imagem e objeto para que sejam utilizadas como informações no processo de automação da orientação absoluta de imagens. Os resultados obtidos mostraram que a metodologia proposta é eficiente na combinação de técnicas de Processamento Digital de Imagens para a construção automática de hipóteses de rodovias em potencial.

**Palavras chaves:** Construção de hipóteses de rodovia, Extração de feições retas, Objetos semânticos, Classificação de imagens.

## ABSTRACT

This paper presents an automatic road hypotheses approach using digital image and laser scanning image combining various Digital Image Processing techniques. The semantic objects, in this work, are linear features, such as, roads and streets. The aim of this paper is extract automatically road hypotheses on image space and object space for use the information in automatic absolute orientation process. The results show that methodology is efficiency and the roads hypotheses are generate and validate.

**Keywords:** Automatic construction of road hypotheses, Feature extraction straight lines, Semantic objects, Image classification.

### 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da computação e de outras Ciências correlatas, a Fotogrametria interagiu com outras áreas do conhecimento, tais como: Processamento Digital de Imagens (PDI), Inteligência

Artificial e Visão Computacional. Esta integração de conhecimentos tornou possível a automação de algumas tarefas fotogramétricas. No entanto, a etapa da orientação absoluta de imagens ainda não dispõe de um processo de automação completa devido às dificuldades

que envolvem a interpretação semântica na fase de implementação computacional.

A construção automática de hipóteses de objetos semânticos em imagens digitais e/ou de varredura laser, exige a combinação de várias técnicas, além de um tratamento radiométrico diferenciado. Os objetos semânticos de interesse neste trabalho, são feições lineares, como por exemplo, rodovias e ruas. Agrupamentos de objetos semânticos propiciam a geração de hipóteses em potencial a partir da construção de regras relacionadas com atributos geométricos conhecidos a priori (DAL POZ, 2003) e radiométricos.

Neste trabalho, está sendo proposta uma metodologia para a construção automática de hipóteses de objetos semânticos, que combina várias técnicas de PDI e tratamento radiométrico baseado em cores e valor de intensidade (imagens de varredura laser). Pretende-se extrair automaticamente informações contidas nos espaços imagem e objeto, para serem usadas no processo de automação da orientação absoluta de imagens.

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia proposta é eficiente na combinação de técnicas de PDI para a geração automática de hipóteses de rodovias em potencial. As informações extraídas no espaço-imagem e objeto, podem ser utilizadas no processo de automação da orientação absoluta de imagens.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura, encontram-se vários autores que desenvolveram procedimentos para reconhecimento semi-automático e automático de objetos semânticos.

BAUMGARTENER et al. (1997), combinaram imagens de alta e baixa resolução delineando automaticamente linhas em imagens de resolução reduzida e usaram marcas no eixo das rodovias (zebras) como informações para verificação de hipóteses. Em BAUMGARTENER et al. (1999a), as informações contextuais (relação entre os objetos) foram utilizadas para verificar hipóteses geradas após a conexão entre os segmentos de rodovia.

Ainda, BAUMGARTENER et al. (1999b), geraram hipóteses considerando uma rede de vértices com atributos (distância da rede, distância ótima e distância entre os vértices) e calcularam um fator para cada hipótese gerada que relaciona potencialmente as hipóteses, fornecendo-lhes pesos.

BAUMGARTNER et al. (1999c), desenvolveram uma metodologia que utiliza uma versão da imagem com resolução reduzida apenas para delinear grosseiramente as rodovias. Com a utilização de bordas extraídas, as hipóteses são geradas e verificadas, admitindo que, para cada hipótese, uma linha correspondente tem que existir no delineamento obtido com a resolução reduzida.

LAPTEV et al. (2000), utilizaram imagens de alta resolução para a extração automática de rodovias. A largura da rodovia é uma informação dada a priori para

eliminar objetos irrelevantes ao processo. São geradas hipóteses de objetos que provavelmente pertencem a rodovia, por meio de atributos geométricos (paralelismo, distância etc) de retas extraídas. Para a verificação das hipóteses geradas é utilizada a informação radiométrica da imagem, considerando a homogeneidade dos objetos semânticos. Um dos grandes problemas encontrado advém das oclusões causadas por sombras, edificações e carros.

HINZ e BAUMGARTENER (2000), modelaram rodovias urbanas baseando-se na relação de contexto de objetos, ou seja, relação entre rodovia e carros, sombras e edificações. A presença de carros e edificações adjacentes é um grande indicador de objetos rodovia.

Em PRINCE (2000), múltiplas imagens de alta resolução e MNE (Modelo Numérico de Elevações) foram combinadas para extrair rodovias em cenas urbanas. Após um início manual o processo é expandido e o conhecimento contextual utilizado na verificação de hipóteses.

ZHANG et al. (2001), desenvolveram um modelo geral que, a partir de um modelo específico deriva informações do segmento de interesse. Este modelo fornece informação bidimensional da localização e dos atributos da rodovia. Uma classificação não-supervisionada separa a imagem RGB em diferentes espaços de cores e a análise do MNE é utilizada para separar os objetos na imagem, por exemplo, rodovias de edificações. Posteriormente, as hipóteses são geradas e verificadas.

HINZ et al. (2001) utilizaram o MNE para fornecer posição e direção de uma rodovia em potencial e combinaram objetos contextuais para a verificação mais eficiente das hipóteses geradas.

HINZ e BAUMGARTENER (2002), utilizaram a influência e relações dos objetos de fundo (carros, árvores, casas, sombras etc) com o objeto rodovia em diferentes escalas para eliminar falsas hipóteses e distúrbios isolados, para facilitar a verificação de hipóteses.

DAL POZ (2003), desenvolveu uma metodologia para o reconhecimento e delineamento automático de segmentos de rodovia com base num conjunto de quatro objetos semânticos e num outro conjunto de regras de conexão entre os mesmos.

ZHANG (2003), considerou a integração da informação SIG (Sistema de Informação Geográfica), com dados de imagens coloridas como estratégia para extração de rodovias. Utilizou também a análise do MNE e das marcas no eixo da rodovia (zebras) para a verificação e validação de hipóteses.

Com base em algumas técnicas citadas anteriormente, propõe-se uma metodologia que combine dados provenientes de imagens coloridas e de varredura laser (ou de intensidade) e técnicas de PDI com regras de agrupamento dos objetos semânticos, para construir automaticamente hipóteses em potencial, de objetos lineares (rodovias) presentes no espaço-imagem e no espaço-objeto.

### 3. METODOLOGIA

Os objetos semânticos de interesse neste trabalho são as feições lineares (rodovias) presentes em imagens digitais e de intensidade.

#### 3.1 Classificação de objetos baseada em imagens coloridas

Em imagens pancromáticas, edificações e rodovias possuem variações de cor muito similares. Entretanto, diferem na forma, pois as rodovias são mais alongadas com curvas e com alto contraste em relação a sua adjacência. As edificações são objetos com formas regulares (quadradas ou retangulares, na maioria dos casos) e de menor comprimento, em relação as rodovias.

Em imagens coloridas as nuances de cor entre os objetos descritos são bastante distintas. A informação radiométrica contém informação dos componentes de cor *RGB* (*Red*, *Green*, *Blue*) de cada pixel pertencente a imagem.

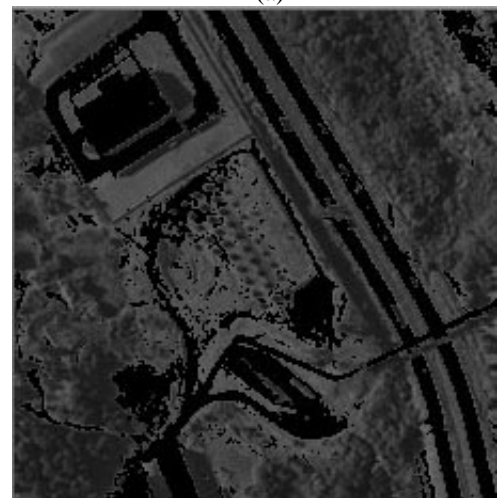
Com base no trabalho de ZHANG et al. (2001a), utilizou-se imagens coloridas para a classificação automática de objetos presentes nas imagens digitais. A equação utilizada foi a apresentada por POLIDORO et al. (2003) (Equação 1), por ser consistente, robusta e computacionalmente mais atraente que a equação apresentada por GRUN (2000) e utilizada por ZHANG et al. (2001a), a qual apresenta como desvantagens o alto custo computacional e a inconveniência de divisão por zero.

$$NA = G - (R + B) \quad (1)$$

Esta classificação foi realizada para separar os objetos edificações e rodovias (classe artificial), dos objetos vegetação e sombras (classe natural). A Figura 1 apresenta o resultado da classificação baseada em imagens coloridas. Para os experimentos, utilizou-se uma imagem digital colorida de alta resolução, capturada através de uma câmara digital Sony DSC-727 717, gentilmente cedida pela empresa Agritec/S.A.



(a)



(b)

Fig. 1 – (a) Imagem original selecionada; (b) Imagem classificada.

Como pode ser visualizado na imagem 1(a) existem cinco tipos de objetos distintos, isto é, edificações, rodovia, carros, sombras e rua sem asfalto. A Figura 1(b), apresenta o resultado da classificação automática da imagem baseada na equação (1). A imagem foi originalmente classificada em duas classes, isto é, classe artificial (contendo os objetos antrópicos, por exemplo, carros, edificações e ruas) e classe natural (contendo árvores e sombras).

Nota-se visualmente que, os objetos da classe artificial foram pintados de preto e os objetos da classe natural permaneceram com suas cores originais (figura 1b). Sendo as rodovias os objetos de interesse, foram eliminados da classe artificial os objetos edificações e carros, através da análise dos descritores de variação espacial, determinados com a aplicação do algoritmo da Figura 2.

### 3.2 Classificação de objetos rodovia baseada em descritores de variação espacial

Como descrito anteriormente, os objetos classificados na classe artificial foram: as edificações, veículos e rodovias. Como o único objeto de interesse é a rodovia, os demais objetos (edificações e veículos) foram eliminados do processo através de uma análise de descritores de variação espacial.

De acordo com BASSMAN e KREYS (1998), os descritores básicos de variação espacial de um objeto são dados pela Área (A), pelo Perímetro (P), e pelo Coeficiente de Compacidade (CC). O CC mede o grau de similaridade entre uma região e uma circunferência de igual área, com fatores de forma normalmente definidos entre 0 e 1.

O CC aumenta na medida que o contorno do objeto se torna irregular (menos compacto), dado por:

$$CC = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (2)$$

Para FACON (1996), o CC é invariável na mudança de escala, já que o mesmo depende de descritores simples, tais como, área e perímetro. A compacidade também é invariável na translação e na mudança de orientação. Este aspecto tem grande importância na classificação pois, as imagens aéreas são projeções em perspectiva central e com escala variante ponto-a-ponto.

Na metodologia proposta, utilizou-se um algoritmo de crescimento de região automático, baseado na informação RGB, na média e no desvio-padrão dos elementos dados ao redor do pixel semente (coletado automaticamente) para a determinação dos descritores de variação espacial. A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo descrito.

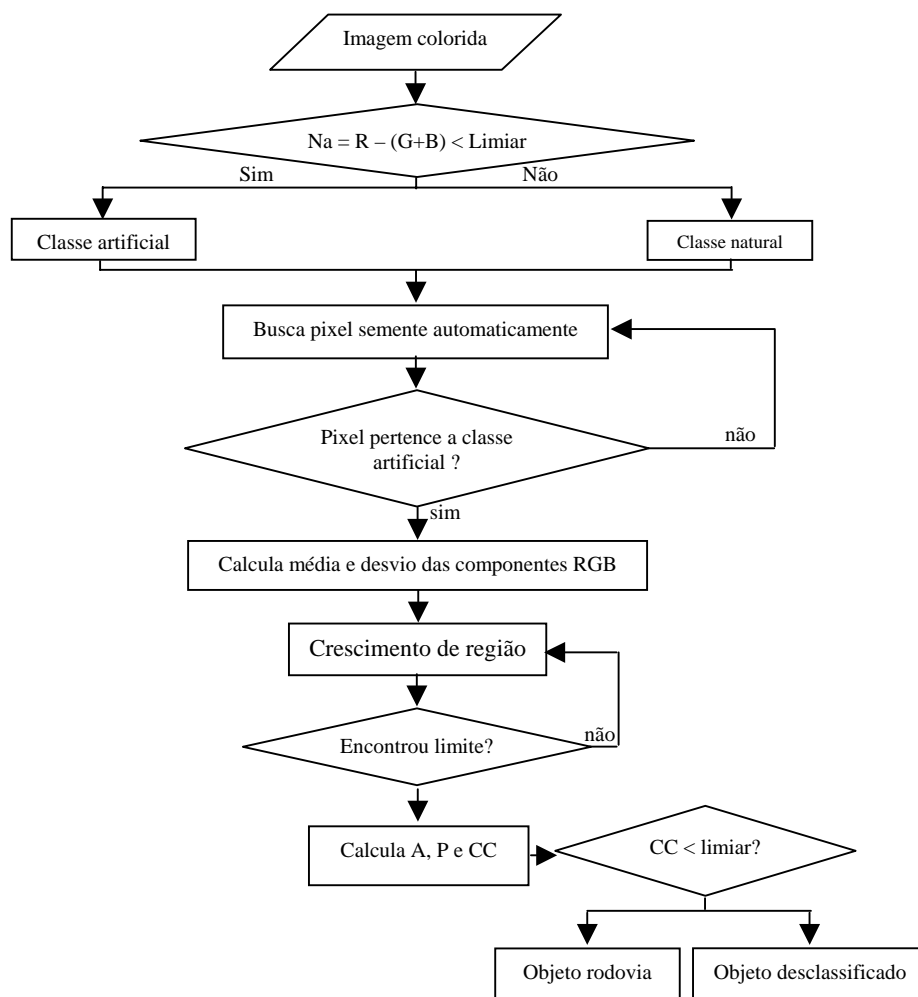


Fig. 2 – Fluxograma do processo de classificação de objetos rodovia.

De acordo com a Figura 2, o algoritmo de crescimento de regiões coleta pixels semente automaticamente, varrendo a imagem da esquerda para a direita e de cima para baixo. Encontrado um pixel que pertence à classe artificial é ativado o processo de

agregação de pixels. O pixel analisado será agregado ao pixel semente, se e somente se estiver entre a média e o desvio-padrão (calculado para uma pequena região próxima ao pixel semente), e pertencer à mesma classe do pixel semente.

Para cada região obtida são calculados o P, A e CC, e eliminados do processo as regiões que não possuem forma de rodovias. A Figura 3 apresenta o resultado obtido depois de aplicada a metodologia descrita.



Fig. 3 – Imagem aérea classificada por descritores de variação espacial.

Na Figura 3, as edificações e os carros foram eliminados da classe artificial usando o processo descrito acima. Isto permite concluir que o uso de descritores básicos de variação espacial de um objeto ajuda na classificação baseada em imagens coloridas. Porém, verifica-se ainda a presença de alguns objetos (pertencentes a classe artificial), tais como, a edificação no canto inferior esquerdo (pintada de preto). Isto mostra a dificuldade em utilizar apenas os descritores de variação espacial no processo de eliminação dos objetos artificiais.

Sendo assim, propõe-se o uso de uma classificação adicional, que implementa o histograma de contraste dos objetos em relação a suas adjacências, ou seja, objetos de maior contraste em relação à sua adjacência são eliminados do processo.

### 3.3 Classificação de objetos baseada na proporção de contraste

A classificação de objetos baseada na proporção de contraste é uma etapa adicional ao método proposto, pois devido a presença de sombras projetadas sobre os objetos, algumas regiões podem não ser perfeitamente agregadas e conseqüentemente fornecer falso CC. Neste caso, não é possível eliminar completamente tais objetos do processamento.

Então foi utilizado um filtro de informação de proporção de contraste da imagem, caracterizado por um histograma de contraste. Este filtro possibilita reconstruir a imagem, aplicando cores no plano de

fundo (preto, por exemplo) e no primeiro plano (branco), como pode ser visto na figura 4.



(a)



(b)



Fig. 4 – (a) Imagem original; (b) Imagem de proporção de contraste; (c) Objetos de alto contraste filtrados.

Na Figura 4b, objetos de alto contraste em relação as suas adjacências são apresentados em branco na imagem e na figura 4c são apresentados os objetos com sua cor original. Finalmente, foram combinadas as imagens apresentadas na figura 3 e figura 4c, e obteve-se o resultado mostrado na figura 5.



Fig. 5 - Resultado da combinação das classificações.

O resultado é obtido com a aplicação da imagem de proporção de contraste combinada com a metodologia de classificação a partir da imagem obtida após aplicar os cálculos de descritores de variação espacial. Pode-se verificar que os objetos edificações e carros foram totalmente eliminados do processo, restando apenas a informação de rodovias (pintado de preto).

Foram então, aplicados os processos de extração de objetos semânticos e geração de hipótese de rodovias. A seguir serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação das regras de construção de objetos semânticos, descritas nas seções 3.4.1 e 3.4.2.

### 3.4 Extração de objetos semânticos

Classificados os objetos semânticos, extrae-se vetorialmente as bordas das feições lineares alongadas para a geração das hipóteses de rodovias.

#### 3.4.1 Fluxo para extração de objetos semânticos

Para a extração de objetos semânticos, a seqüência de etapas utilizadas é a apresentada na figura 6.

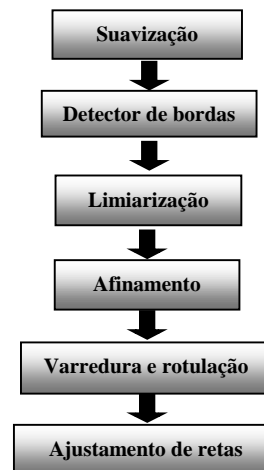


Fig. 6 - Seqüência de etapas para extração de objetos semânticos.

O algoritmo de extração de feições retas implementado por ARTERO e TOMMASELLI (2002) foi adaptado ao problema. A metodologia utilizada na extração de feições retas para gerar hipóteses de feições lineares alongadas foi baseada em Sussel e DAL POZ (2002). Para cada segmento de reta extraído na imagem é calculado o seu ponto médio e a partir deste, projeta-se uma seqüência perpendicular de pontos espaçados regularmente, para cada lado através de uma janela de pesquisa unidimensional. A figura 7, apresenta o processo da janela unidimensional e a seqüência de pontos perpendiculares em relação ao ponto médio do segmento da reta de pesquisa.

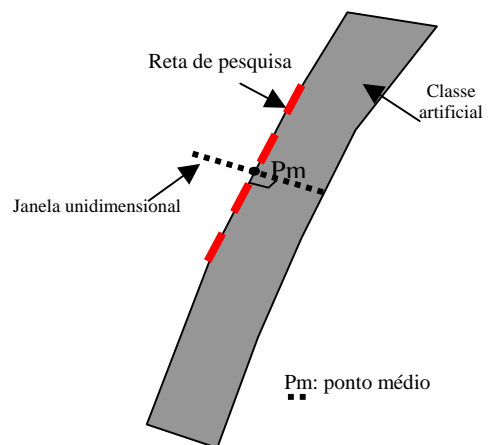


Fig. 7 – Esboço de um objeto linear (rodovia) e do método da janela unidimensional.

A equação utilizada para a projeção perpendicular dos pontos da janela unidimensional em relação ao ponto médio é dada por:



$$\begin{bmatrix} C \\ L \end{bmatrix}_I = k \cdot dt \cdot \vec{n} + \begin{bmatrix} Pm_x \\ Pm_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

onde,

- $\begin{bmatrix} C \\ L \end{bmatrix}_I$ : são as coordenadas calculadas dos pontos amostrados na janela unidimensional, para  $I = 1, \dots, n_{pr}$ ;
- $n_{pr}$ : é o número de pontos reamostrados em cada lado do segmento da reta;
- $k$ : varia de  $1, \dots, n_{pr}$  para um lado e de  $-1, \dots, -n_{pr}$  para outro lado do segmento;
- $\vec{n}$ : é um vetor unitário  $(-b \ a)$  perpendicular a reta de pesquisa, sendo portanto normal ao vetor  $(a \ b)$ ;
- $dt$ : é a resolução da janela unidimensional, devendo ser menor que 1 pixel para possibilitar precisão sub-pixel; e
- $Pm_x, Pm_y$ : são as coordenadas do ponto médio do segmento da reta de pesquisa.

A metodologia utilizada para extrair feições retas (ARTERO e TOMMASELLI, 2002) é aplicada na imagem digital e cada reta extraída passa por um processo de verificação de pertinência do segmento em relação ao objeto rodovia (equação 03). Para cada segmento de reta extraído foi aplicada a janela unidimensional (a partir do seu ponto médio) e para cada ponto reamostrado na janela, verifica-se a pertinência do pixel na classe artificial (rodovia). A Figura 8 apresenta os segmentos das retas extraídas automaticamente na imagem digital e que pertencem ao objeto rodovia.



Fig. 8 – Segmentos de retas extraídas sobre o objeto linear rodovia.

Como pode ser visto na figura 8, apenas retas extraídas sobre o objeto rodovia permaneceram no processo. Posteriormente, devem ser construídas as hipóteses em potencial do objeto rodovia.

### 3.4.2 Geração de hipóteses de rodovia em potencial

Baseado nos trabalhos de DAL POZ (2003) e BAUMGARTENER et al. (1999a, 1999b), propõe-se uma metodologia para geração de hipóteses de objetos lineares alongados, considerando um conjunto de quatro objetos semânticos (geometricamente definidos), regras com atributos geométricos e com atributos radiométricos (em função da classe artificial). A Figura 9 mostra os quatro objetos semânticos definidos geometricamente por DAL POZ (2003).

De acordo com DAL POZ (2003), na construção de um objeto semântico, o segmento de reta inferior é denominado base e o superior é denominado candidato. Para cada caso referente às Figuras 9(a,b,c,d), cada ponto que define os extremos dos segmentos das retas (pontos pretos) são projetados ortogonalmente de um para outro segmento, sendo dois deles locados (circunferências hachuradas) entre os mesmos, formando quadriláteros (retângulos hachurados).

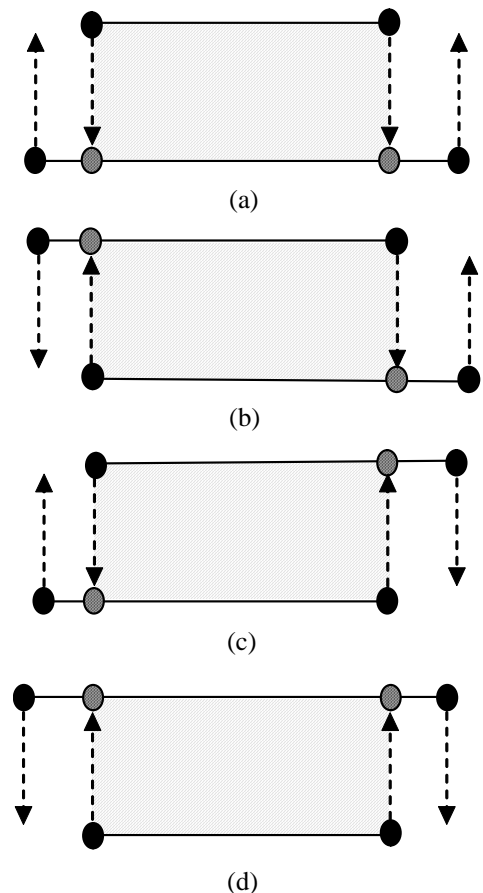


Fig. 9 – Objetos semânticos. (a) Caso 1; (b) Caso 2; (c) Caso 3; (d) Caso 4 (Fonte: DAL POZ, 2003).

Neste trabalho a geração de hipótese de objetos, baseia-se num conjunto de regras envolvendo, atributos geométricos e radiométricos, de acordo com a sequência:

(1) **Regra de fragmentação:** Retas compostas por pequenos segmentos que não são de interesse são eliminadas do processo, sendo que, posteriormente revalidadas para o reconhecimento de cruzamentos de via através de atributos;

(2) **Regra de superposição:** Somente segmentos de retas que formam quadriláteros permanecem no processo de geração de hipóteses de rodovia, ou seja, ela será uma candidata, se e somente se, ocorrer para uma reta um ou mais dos casos apresentados na Figura 9;

(3) **Regra de paralelismo e proximidade dos lados:** por esta regra os segmentos de reta candidados formam objetos semânticos se forem aproximadamente paralelos e estiverem suficientemente próximos um do outro (DAL POZ, 2003);

(4) **Regra de Classe:** Na área delimitada dos objetos semânticos gerados serão analisados o número da classe da qual pertence o objeto; e

(5) **Regra de sobreposição:** Hipóteses geradas podem conter hipóteses menos importante dentro de sua área delimitada, não sendo necessário o processamento com as mesmas. No entanto, é necessário realizar uma análise de sobreposição entre hipóteses para eliminar aquelas que são menos importante.

A metodologia apresentada propõe uma regra adicional ao processo descrito por DAL POZ (2003), que é a regra de classe. A partir das regras apresentadas acima, aplicou-se o algoritmo de construção de hipóteses de rodovia, baseado em atributos geométricos dos segmentos extraídos e radiométricos da imagem. A Figura 10 apresenta as hipóteses construídas pelo algoritmo.

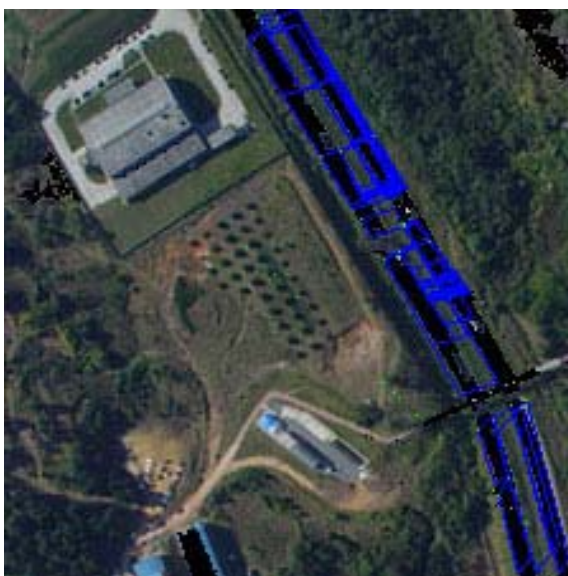


Fig. 10 – Hipóteses geradas automaticamente.

De acordo com a figura 10, verifica-se que, as hipóteses geradas são construídas ao longo do objeto rodovia. Porém, existem falsas hipóteses decorrentes da conexão entre segmentos de retas paralelos, que compõem rodovias opostas. Para eliminar o problema encontrado, as hipóteses foram verificadas e avaliadas.

A etapa de verificação e validação das hipóteses rodovia ocorre quando são aplicadas as regras (4) e (5), isto é, regra de classe e sobreposição. Aplicando a regra (4), falsas hipóteses são eliminadas do processamento. A Figura 11 apresenta as hipóteses verificadas, após a aplicação da regra (4).



Fig. 11 – Hipóteses verificadas.

Analizando visualmente a figura 11 conclui-se que:

- As falsas hipóteses geradas foram eliminadas, após a aplicação da regra (4);
- Como pode ser observado, no canto superior direito da figura 11, existem hipóteses sobrepostas que podem causar erros de conexão (etapa de conexão entre hipóteses adjacentes - processamento futuro). Então, foi aplicado a regra (5) para o estabelecimento e validação das hipóteses em potencial.

A Figura 12, apresenta os resultados obtidos depois de aplicada a regra (5).





Fig. 12 - Hipóteses em potencial avaliadas.

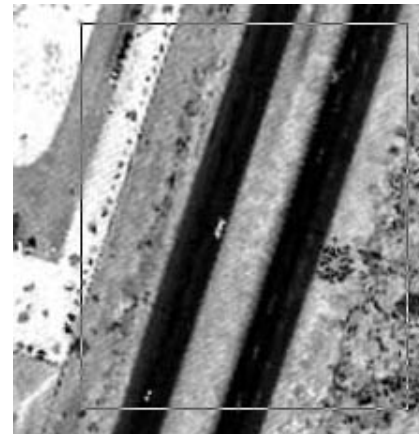
A regra (5) é aplicada para eliminar hipóteses sem importância no processo. Com a análise da figura 12, pode-se concluir que:

- Visualmente as hipóteses de menor importância, que eram claramente visíveis na Figura 11, foram eliminadas do processo;
- Os problemas encontrados na geração de hipóteses são as irregularidades das bordas da rodovia e oclusões causadas pela presença de carros, sombras e pelos acostamentos existentes entre as hipóteses geradas;
- É necessário desenvolver algoritmos para contornar esses problemas, caso ocorra a necessidade de conectar as hipóteses geradas para a reconstrução dos eixos das rodovias;
- As hipóteses em potencial foram reconstruídas, verificadas e avaliadas;
- As próprias hipóteses em potencial geradas podem ser utilizadas para o processo de automação da orientação absoluta de imagens, desde que sejam construídas hipóteses em potencial no espaço-objeto.

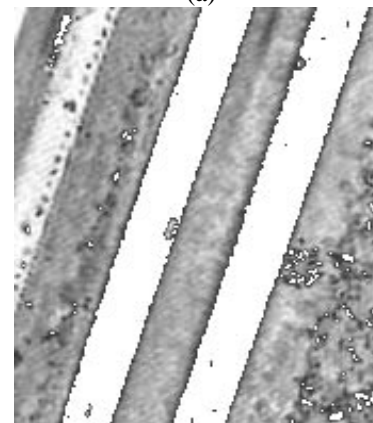
Com o objetivo de apontar a relevância da metodologia proposta no uso de hipóteses de rodovia em potencial para o processo de automação da orientação absoluta de imagens, foi aplicado todo o processamento descrito nas seções 3.4.1 e 3.4.2 na imagem de varredura laser. Entretanto, como o objeto rodovia e rua presente na imagem de varredura laser apresenta-se com baixo valor de intensidade (Figura 13a) foi aplicado apenas o algoritmo de classificação baseado em descritores de variação espacial, modificado pelo critério de agregação (valor de intensidade).

A Figura 13 apresenta resultados preliminares de hipóteses em potencial geradas automaticamente

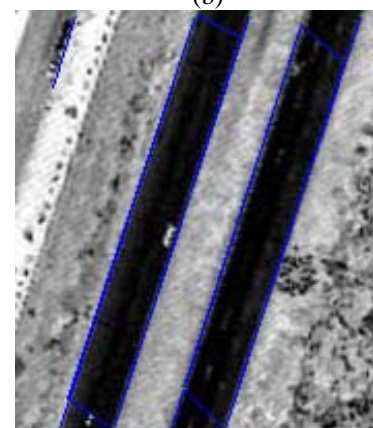
derivadas da imagem de varredura a laser. A perspectiva futura deste trabalho é apresentar uma metodologia para a reconstrução de hipóteses de rodovias obtendo correspondências entre hipóteses em potencial construídas no espaço-imagem e espaço-objeto visando a eficiência do desempenho do método de orientação absoluta automática de imagens digitais (SANTOS e DALMOLIN, 2004 e SANTOS et al., 2004).



(a)



(b)



(c)

Fig. 13 – (a) Recorte de um pedaço da imagem de varredura a laser original; (b) Imagem classificada; (c) Retas extraídas; (d) Hipótese em potencial gerada, verificada e avaliada.

Da figura 13, conclui-se que:

- As hipóteses em potencial foram geradas e avaliadas no espaço-objeto;
- O uso de imagens de varredura laser para a metodologia proposta é promissora e fornece condições para o processo de automação da orientação absoluta de imagens;
- Neste processo, não é necessário aplicar a classificação de objetos baseada em contraste, pois na imagem de varredura laser, as rodovias e ruas possuem um valor de intensidade (preto) bastante diferenciado dos demais objetos;
- Uma vantagem deste tipo de imagem é que ela não apresenta sombras projetadas pelos objetos.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia de geração automática de hipóteses de objetos lineares alongados (rodovias) presentes em imagens digitais, obtidas por câmaras de pequeno formato e varredura laser.

A Equação (1), apresentou uma boa classificação baseada em cor quando se utiliza um limiar que define a classe dos objetos presentes na imagem. Este limiar foi fornecido empiricamente para atender a realidade exposta na imagem. A busca por um limiar que se molde automaticamente, também é objeto de estudos futuros.

Descritores de variação espacial mostraram-se como bons parâmetros para auxiliar no processo de classificação automática de objetos na classe artificial. Porém, foi necessário aplicar um algoritmo de proporção de contraste para melhorar a eficiência da classificação automática.

Com a análise dos resultados das hipóteses geradas pôde-se concluir que, o método funciona com eficiência e as hipóteses são perfeitamente geradas, verificadas e avaliadas através das regras propostas de forma totalmente automática. A regra (4), adicionalmente proposta, é muito importante na avaliação das hipóteses geradas e depende da boa qualidade do processo de classificação das imagens coloridas. No entanto, é necessário implementar heurísticas para os problemas relacionados com a presença de objetos contextuais, tais como, sombras, carros etc.

A metodologia proposta, elimina drasticamente o número de retas que não são de interesse para a geração de hipóteses em potencial de rodovias e torna o processo de coleta de pontos sementes (sobre a rodovia) totalmente automático, eliminando a preocupação com o número de relações existentes entre os objetos.

Finalmente, os resultados obtidos mostraram que a metodologia proposta é promissora e poderá melhorar a eficiência do método de orientação absoluta

de imagens de forma totalmente automática, desde que seja também considerado o fluxo aplicado para imagens de varredura laser. Esta potencialidade irá garantir a automação completa do processo de orientação absoluta de imagens, pois informações no espaço-imagem e espaço-objeto são extraídas automaticamente quando dadas por heurísticas de reconhecimento semântico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos ao Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli, pela disponibilização do algoritmo de extração de feições retas, ao DAAD (*Deutscher Akademischer Austausch Dienst*) e Capes (Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) pelo fomento de bolsa com estadia na Alemanha, da qual foi possível a realização deste trabalho, e ao Instituto de Tecnologia e Desenvolvimento (LACTEC) pelo fornecimento da imagem de varredura laser.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTERO, A. O. TOMMASELLI, A. M. G. Um método para a conexão e aproximação poligonal de elementos de bordas em imagens digitais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, Vol. 8, p. 71-94, 2002.
- BAUMGARTNER, A., ECKSTEIN, W., MAYER, H., HEIPKE, C., EBNER, H. Context Supported Road Extraction. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, (II), Birkhäuser Verlag Basel, p. 299-308, 1997.
- BAUMGARTNER, A., STEGER, C., MAYER, H., ECKSTEIN, W. and EBNER, H. Automatic Road Extraction Based on Multi-Scale, Grouping and Context. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 65(7), p. 777-785, 1999.
- BASSMAN, H., KREYSS, J. **Bildverarbeitung Ad Oculis**. Heidelberg Springer, 1998, p. 200.
- DAL POZ, A. P. Reconhecimento e delineamento automático de segmentos de rodovia através de objetos semânticos. Livro: **Série em Ciências Geodésicas**. Vol. 3, Curitiba, p. 262-275, 2003.
- FACON, J. **Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos**. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 1996, p. 360.
- GRUN, A. Semi-Automated Approaches to Site Recording and Modeling. XIXth ISPRS – **International Society For Photogrammetry and Remote Sensing**. vol. XXXIII, part B5/1, p. 309 – 318, Amsterdam, Netherlands, 2000.

HINZ, S., BAUMGARTNER A. Road extraction in urban areas supported by context objects. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, Netherlands, 2000.

Recebido em 17 de outubro de 2004 – Aceito em 30 de dezembro de 2004.

HINZ, S., KURZ, F., BAUMGARTNER, A., WASMEIER, P. The role of shadow for 3D object reconstruction from monocular images. In: **Optical 3-D Measurement Techniques V**, Wien, 01.-04.10, p. 354-363, 2001.

HINZ, S., BAUMGARTNER, A. Urban road net extraction integrating internal evaluation models. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Graz, Austria, p. 255-265, 2002.

LAPTEV, I., MAYER, H., LINDEBERG, T., ECKSTEIN, W., STEGER, C., BAUMGARTNER, A. Automatic extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes. **Machine Vision and Application**. Springer-Verlag, p. 23-31, 2000.

POLIDORO, A. M., IMAI, N. N., TOMMASELLI, A. M. G., Flores, F. C., Franco, C. Realce do Grau de Artificialidade de Feições em Imagens Aéreas Coloridas. Livro: **Série em Ciências Geodésicas**. Vol. 3, p. 277-287, Curitiba, 2003.

PRICE, K., Urban Street Grid Description and Verification. In: **5<sup>th</sup> IEEE Workshop on Applications of Computer Vision**, p. 148-154, 2000.

SANTOS, D. R., DALMOLIN, Q. Simulação de objetos reconhecidos semanticamente visando a eficiência do desempenho do método para automação da orientação absoluta de imagens. Anais do **I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação**. p. 13-21, Recife, 2004.

SANTOS, D. R., DALMOLIN, Q. BAHR, H. P. Geração automática de hipóteses de rodovias em imagens digitais. Anais do **XII Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM**. p. 50-60, Curitiba, 2004.

SUSSEL, T. G. M., DAL POZ, A. P. Extração semi-automática de rodovias combinando um modelo de trajetória de correlação. Anais do **I Simpósio Brasileiro de Geoinformação**. Caxambu/Minas Gerais, 2000.

ZHANG, C., BALTSAVIAS, E.P., GRUN, A. Knowledge-based image analysis for 3D road reconstruction. **Asian Journal of Geoinformatics** 1 (4), p. 1-14, 2001a.