

DETERMINAÇÃO DE OBSTRUÇÕES CAUSADAS POR EDIFÍCIOS EM IMAGENS AÉREAS DE ALTA RESOLUÇÃO E DE CENAS SUBURBANAS

Antônio Juliano Fazan ¹
Aluir Porfírio Dal Poz ²
Edinéia Aparecida dos Santos Galvanin ³

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Graduação em Engenharia Cartográfica – ajfazan@estudante.prudente.unesp.br

² Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Departamento de Cartografia – aluir@prudente.unesp.br

³ Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – edineia@pos.prudente.unesp.br

RESUMO

Este artigo apresenta um método para detecção e extração de obstruções existentes em imagens aéreas de alta resolução causadas pela projeção perspectiva de telhados de edifícios sobre ruas. Estes elementos podem ser utilizados como informação contextual em metodologias automáticas para extração da malha viária em áreas urbanas. Essas informações indicam as relações entre os diversos objetos presentes na cena, como por exemplo, as relações entre os edifícios e as ruas. O uso de conhecimento contextual tem se tornado cada vez mais comum em processos de análise de imagens, principalmente em se tratando de cenas suburbanas e urbanas. Este trabalho foi inspirado nas possibilidades atuais de se obter Modelos Digitais de Elevações (MDE's) a partir de dados de perfilamento a laser. A metodologia consiste inicialmente em extrair os contornos de telhados e limites de ruas de uma imagem de intensidade gerada a partir de um MDE. Em seguida, os polígonos representando os contornos de telhados são projetados para o plano médio da rua, ao longo do feixe perspectivo orientado. Esta etapa depende dos parâmetros de orientação exterior da imagem de entrada, que são geralmente obtidos pelo tradicional processo de resseção espacial. Na seqüência, as obstruções perspectivas no espaço-objeto são determinadas através da realização de intersecções entre os polígonos dos telhados projetados e limites de rua, resultando em polígonos representando as obstruções no plano médio das ruas. Finalmente, as obstruções perspectivas são projetadas para a imagem de entrada para verificação visual. Os resultados preliminares obtidos pela metodologia proposta permitem a verificação de seu potencial na detecção e extração de obstruções em imagens aéreas de alta resolução.

Palavras-chave: Obstruções Perspectivas, Análise de Imagens, Equações de Colinearidade.

DETERMINATION OF OBSTRUCTIONS CAUSED BY BUILDINGS IN HIGH-RESOLUTION AERIAL IMAGES OF SUBURBAN SCENES

ABSTRACT

This article presents a method for detection and extraction of obstructions displayed in high-resolution images and caused by perspective projection of building roofs on streets. These elements can be used as contextual information in automatic methodologies for road extraction in urban areas. Those information indicates relations among objects present in the scene, as for example, relations between buildings and streets. The use of contextual knowledge has increased in image analysis processes for road extraction, mainly concerning suburban and urban scenes. This research was inspired by current possibilities of obtaining Digital Elevation Models (DEM's) from laser scanning data. The methodology consists firstly in extracting roof and street contours from an intensity image generated from a DEM. Secondly, the polygons representing the roof contours are projected along the oriented perspective bundle onto the mean street plane (MSP). This step depends on the exterior orientation parameter of the input image, which are usually obtained by the well-known space resection process. Thirdly, the perspective obstructions in object-space are found by accomplishing the intersections between the projected roof polygons and street boundaries, resulting in polygons representing the obstructions on the MSP. Finally, the perspective obstructions are projected onto input image for visual verification.

The preliminary results obtained by the proposed methodology allow the verification of its potential in detecting and extracting perspective obstructions occurring in high-resolution aerial images.

Keywords: *Perspective Obstructions, Image Analysis, Collinearity Equations.*

1 INTRODUÇÃO

Um dos aspectos fundamentais em problemas de extração automática da malha viária é o tipo de cena envolvida. Os principais tipos de cena presentes em imagens digitais para aplicações cartográficas são a rural, a suburbana e a urbana, sendo que a diferença fundamental no tratamento de imagens destas cenas é a relevância ou não das informações contextuais, ou seja, as relações espaciais existentes entre os diversos objetos presentes na cena. Exemplos de objetos no contexto das vias urbanas (ruas, avenidas, alamedas, etc.) são aqueles que de alguma forma provocam alterações nas suas propriedades, como é o caso dos edifícios, árvores e veículos em geral. Em particular, os edifícios interagem de duas formas diferentes com as vias, isto é, através das projeções perspectivas e das projeções de sombra. Esta última depende fundamentalmente da posição do Sol no instante de tomada da imagem. Já a obstrução perspectiva depende da posição e da atitude do sensor no instante do imageamento. É claro que em ambos os casos outros fatores são igualmente importantes como, por exemplo, a altura dos edifícios.

O uso de conhecimento contextual em metodologias para a extração automática da malha viária tem-se tornado cada vez mais comum, principalmente em se tratando de imagens de cenas suburbanas e urbanas. Por exemplo, HINZ e BAUMGARTNER (2000, 2002) e HINZ et al. (2001) utilizaram informações contextuais para localizar partes da imagem onde é mais fácil extrair segmentos de ruas em cenas urbanas complexas. Outro exemplo é encontrado em PRICE (2000), onde o conhecimento contextual de que objetos altos (tais como edifícios e árvores) margeiam as ruas é utilizado para definir seus limites. BAUMGARTNER et al. (1999), mostra que o conhecimento contextual também pode ser útil na extração de rodovias em imagens de cenas rurais. As informações contextuais foram utilizadas neste último trabalho para verificar hipóteses de conexão entre segmentos de rodovias previamente extraídos. Enquanto nesse caso o conhecimento contextual é uma opção para complementar a extração da malha viária, em imagens de cenas suburbanas e urbanas as informações contextuais possuem importância fundamental.

Este trabalho foi inspirado nas possibilidades atuais de se obter Modelos Digitais de Elevações (MDE's) a partir de dados do terreno, obtidos por meio de sistemas de perfilamento a laser. Estes dados podem ser utilizados para prever onde ocorrem sombras e obstruções perspectivas em imagens aéreas de alta resolução. Estes elementos contextuais são bastante comuns neste tipo de imagem e ocorrem em virtude da projeção de edifícios sobre as vias urbanas, a partir de um determinado ponto de vista perspectivo, constituindo-se em um problema para as metodologias automáticas de extração de malha viária urbana. Nesse sentido, este trabalho tem como proposta o desenvolvimento de uma metodologia para detecção e extração dessas obstruções. As informações resultantes poderão então ser utilizadas como informações contextuais para trabalhos futuros na área de extração automática de malha viária urbana. Na seqüência (seção 2) é apresentada a metodologia proposta. As seções 3 e 4 apresentam, respectivamente, os resultados preliminares e as principais conclusões.

2 METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE OBSTRUÇÕES PERSPECTIVAS

A metodologia a ser apresentada visa determinar as regiões de uma imagem aérea que são afetadas por obstruções perspectivas de telhados de edifícios, tendo por base um MDE. Um primeiro passo é determinar na imagem de intensidade correspondente ao MDE os contornos do telhado e vias urbanas. Na seqüência, os contornos extraídos são projetados no plano médio das ruas para verificar se existem obstruções perspectivas. Os polígonos representando obstruções perspectivas são projetados na imagem para visualização e verificação.

2.1 DETERMINAÇÃO DE CONTORNOS DE TELHADOS E LIMITES DE RUAS A PARTIR DE UM MDE

A forma de extração de contornos de telhados e vias urbanas a ser apresentada é totalmente manual. Primeiramente, transformações geométricas são aplicadas no MDE para obter uma imagem de intensidade. Na seqüência, o operador identifica (e extrai) na imagem os contornos de telhados e vias urbanas. Finalmente, como a transformação do MDE para a imagem de intensidade é inversível, os contornos extraídos são transformados para o referencial 3D do MDE.

2.1.1 Conversão de um MDE em uma Imagem Digital em Níveis de Cinza

Para se obter manualmente as coordenadas (x,y) dos contornos dos telhados dos edifícios e dos limites da malha viária, primeiramente é necessário transformar o MDE em uma imagem de intensidade (em níveis de cinza). Para realizar esse processo, duas transformações geométricas são utilizadas. Inicialmente, é necessário fixar uma resolução espacial (resolução geométrica) para a imagem a ser gerada. Para entender melhor o significado desse procedimento, uma resolução espacial de 1 m/pixel significa que cada célula da imagem representa 1 metro no terreno. Tomando-se os valores máximos e mínimos das componentes (E,N) do MDE, calcula-se a variação espacial dessas coordenadas (dE e dN - equações 1 e 2). Esse processo corresponde a estabelecer os limites da imagem e é exemplificado pela figura 1.

$$dE = E_{\max} - E_{\min} \quad (1)$$

$$dN = N_{\max} - N_{\min} \quad (2)$$

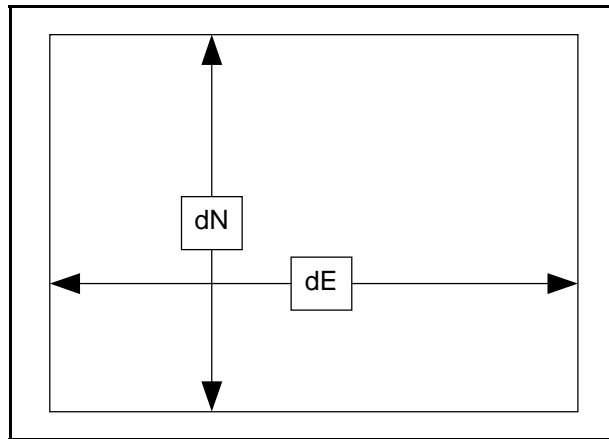


Figura 1: Limites da imagem.

Após estabelecer os limites da imagem, é calculado o número de linhas e colunas (altura e largura) da imagem, respectivamente através das equações,

$$h = dN/r_e \quad (3)$$

$$w = dE/r_e \quad (4)$$

O próximo passo é o estabelecimento de uma relação matemática entre a posição de um elemento na imagem (L,C) e sua respectiva posição no MDE, representada pelas coordenadas (E,N) . Esse procedimento é feito refletindo-se o eixo N e transladando o MDE de tal forma que o canto superior esquerdo do retângulo que o delimita corresponda ao pixel de coordenadas $(0,0)$ na imagem. Além disso, deve-se aplicar o fator de escala estabelecido para a resolução espacial da imagem. A forma analítica desse processo é dada pelas equações,

$$L = (N_{\max} - N)/r_e \quad (5)$$

$$C = (E - E_{\min})/r_e \quad (6)$$

onde:

- (L,C) : coordenadas de um pixel na imagem;
- (E,N) : coordenadas planimétricas de um ponto no MDE;
- (E_{\min}, N_{\max}) : coordenadas do canto superior esquerdo do retângulo envolvendo o MDE;

- r_e : resolução geométrica da imagem.

Tendo em vista a geração de uma imagem em 256 níveis de cinza, onde os possíveis valores de brilho que os elementos da imagem podem assumir estão no intervalo $[0;255]$, as alturas do MDE são escaladas de tal forma que a altura mínima corresponda ao valor de brilho 0 e a altura máxima corresponda ao valor de brilho 255. Essa operação consiste em interpolar o valor de brilho que será atribuído na posição (L,C) da imagem calculada na etapa anterior, através da equação,

$$TC = \frac{255}{h_{\max} - h_{\min}} \cdot (h - h_{\min}), \quad (7)$$

onde:

- h_{\max} : altitude máxima do MDE;
- h_{\min} : altitude mínima do MDE;
- h : altitude do ponto de coordenadas (E,N) no MDE, correspondente ao pixel de coordenadas (L,C) na imagem.

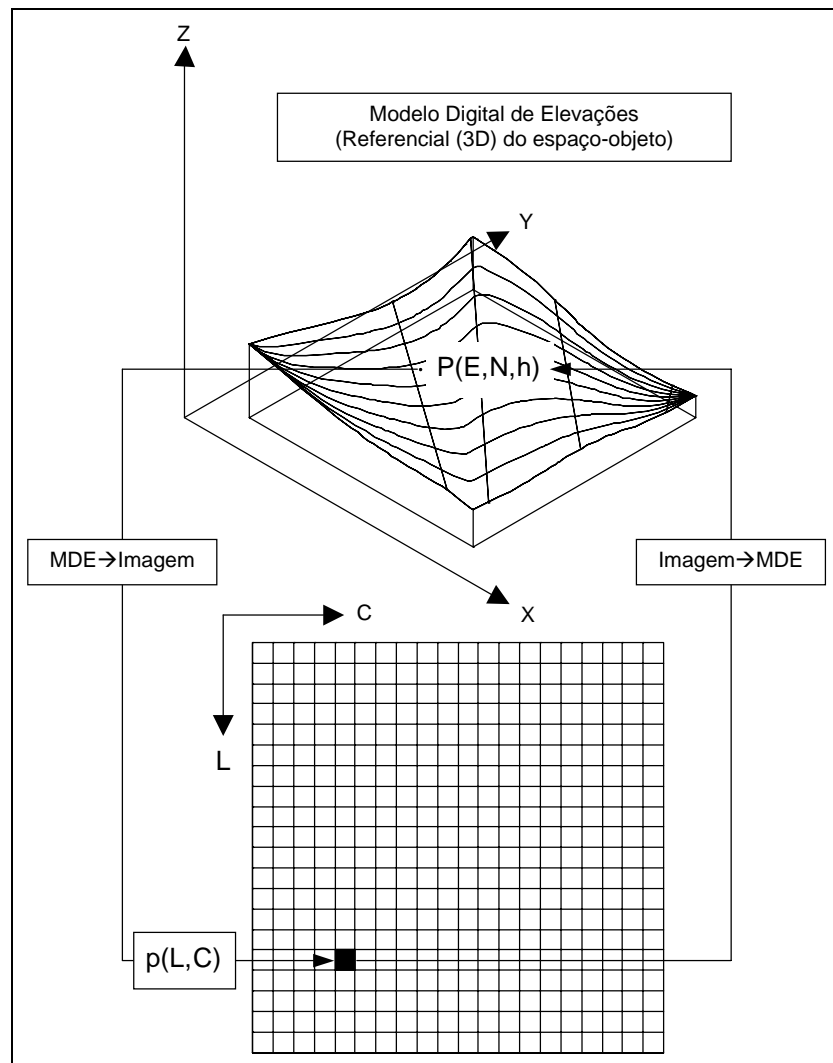


Figura 2: Conversão de um MDE em uma imagem digital.

A imagem obtida é então convertida para o formato BMP. Uma vantagem do processo de conversão de um MDE em uma imagem de intensidade é que as transformações envolvidas (equações 5, 6 e 7) são inversíveis, o que permite calcular as coordenadas (E,N,h) de um ponto no

MDE a partir de um pixel observado na imagem gerada, isto é, $(L,C,TC(L,C))$. O procedimento descrito é ilustrado pela figura 2.

2.1.2 Medição dos Contornos de Telhado e Limites de Vias Urbanas

Para extrair as coordenadas (E,N,h) de contornos de telhados e ruas, é necessário identificá-los visualmente na imagem gerada a partir do MDE e medir suas coordenadas $(L,C,TC(L,C))$. As coordenadas medidas são transformadas matematicamente para (E,N,h) . O resultado deste processo consiste de listas de coordenadas representando os contornos medidos. Na figura 3 é mostrado um exemplo de medição dos pontos que definem o contorno de um telhado enquanto a figura 4 ilustra a delimitação de uma rua.

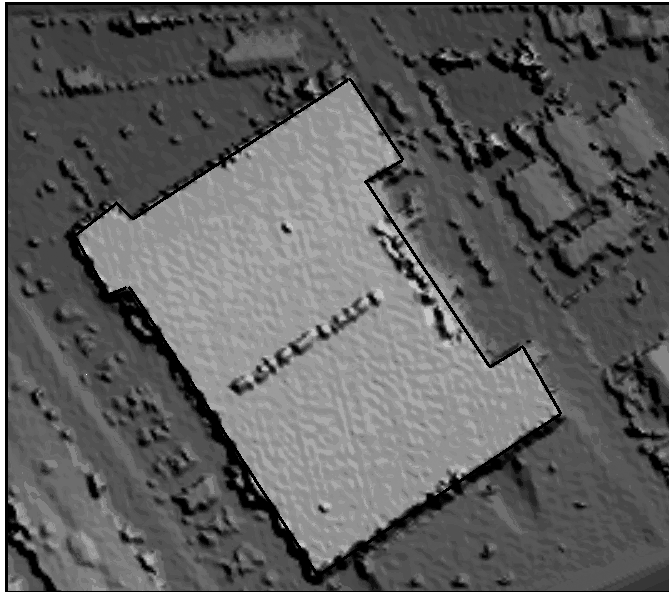


Figura 3: Delimitação manual do telhado de um edifício realizada sobre imagem em níveis de cinza obtida a partir de um MDE.

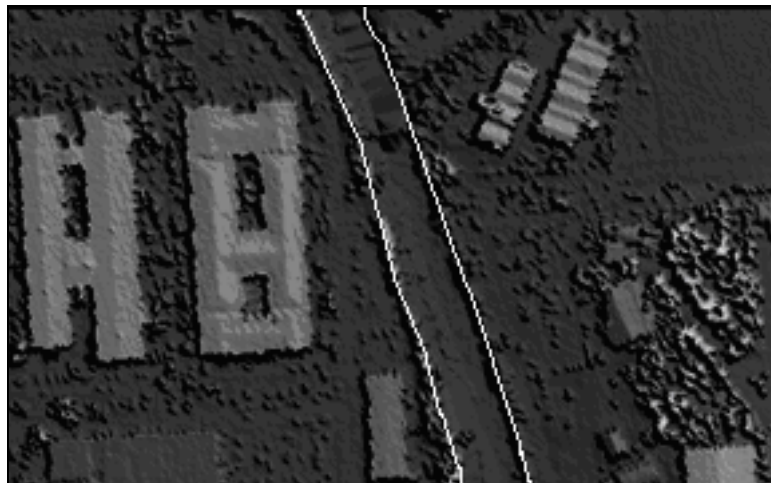


Figura 4: Delimitação manual de uma rua em imagem digital obtida a partir de um MDE.

2.2 PROJEÇÃO PERSPECTIVA DE TELHADOS NO PLANO MÉDIO DAS VIAS URBANAS

Como as coordenadas do MDE geralmente estão no referencial UTM (com altura geométrica), primeiramente é necessário converter as coordenadas dos pontos medidos na etapa anterior para o sistema geodésico cartesiano local, pois é neste sistema de referência que se processa a detecção das obstruções perspectivas sobre as vias urbanas. A razão básica para a escolha desse referencial é a conveniência em utilizá-lo em procedimentos analíticos da Fotogrametria (LUGNANI, 1987), como a resseção espacial.

Na figura 5 é apresentada a seqüência de transformações a ser aplicada nas coordenadas dos pontos que definem os contornos dos telhados e ruas delimitados na imagem. Conforme pode ser visto em Lugnani (1987), o primeiro passo consiste na transformação do sistema UTM com altura geométrica (E, N, h) para o referencial geodésico (ϕ, λ, h) , depois deste para o referencial geodésico cartesiano (X, Y, Z) e, finalmente, deste último para o referencial geodésico cartesiano local (X_L, Y_L, Z_L) .

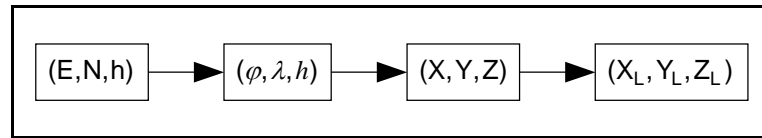


Figura.5: Seqüência de transformações de coordenadas aplicadas aos pontos medidos.

Depois de realizadas as transformações de coordenadas, os pontos são projetados para o referencial do espaço-imagem empregando para isso as equações de colinearidade e os parâmetros de orientação exterior da imagem. As equações de colinearidade são as equações básicas da Fotogrametria analítica e são largamente empregadas em processos da Fotogrametria digital. Essas equações expressam a condição de que um ponto $P(X_L, Y_L, Z_L)$ no espaço-objeto, o ponto correspondente no espaço-imagem $p(x, y, z = f)$ e a estação de exposição (centro perspectivo) pertencem à mesma reta (são colineares) (WOLF e DEWITT, 2000). Essas equações são representadas por,

$$x = f \cdot \frac{m_{11} \cdot (X_L - X_0) + m_{12} \cdot (Y_L - Y_0) + m_{13} \cdot (Z_L - Z_0)}{m_{31} \cdot (X_L - X_0) + m_{32} \cdot (Y_L - Y_0) + m_{33} \cdot (Z_L - Z_0)} \quad (8)$$

$$y = f \cdot \frac{m_{21} \cdot (X_L - X_0) + m_{22} \cdot (Y_L - Y_0) + m_{23} \cdot (Z_L - Z_0)}{m_{31} \cdot (X_L - X_0) + m_{32} \cdot (Y_L - Y_0) + m_{33} \cdot (Z_L - Z_0)}, \quad (9)$$

onde:

- (x, y) são as coordenadas de um ponto p no referencial do espaço-imagem;
- f é a distância focal da câmara;
- $m_{ij} : i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$ são os elementos da matriz que representa as rotações entre os referenciais do espaço-objeto e o do espaço-imagem;
- (X_L, Y_L, Z_L) são as coordenadas do ponto P no referencial do espaço-objeto, sendo P homólogo de p ;
- (X_0, Y_0, Z_0) são as coordenadas do centro perspectivo no referencial do espaço-objeto.

O processo de transformação descrito anteriormente é mostrado na figura 6, onde C_i representa o contorno de um telhado qualquer no espaço-objeto e c_i é sua projeção na imagem.

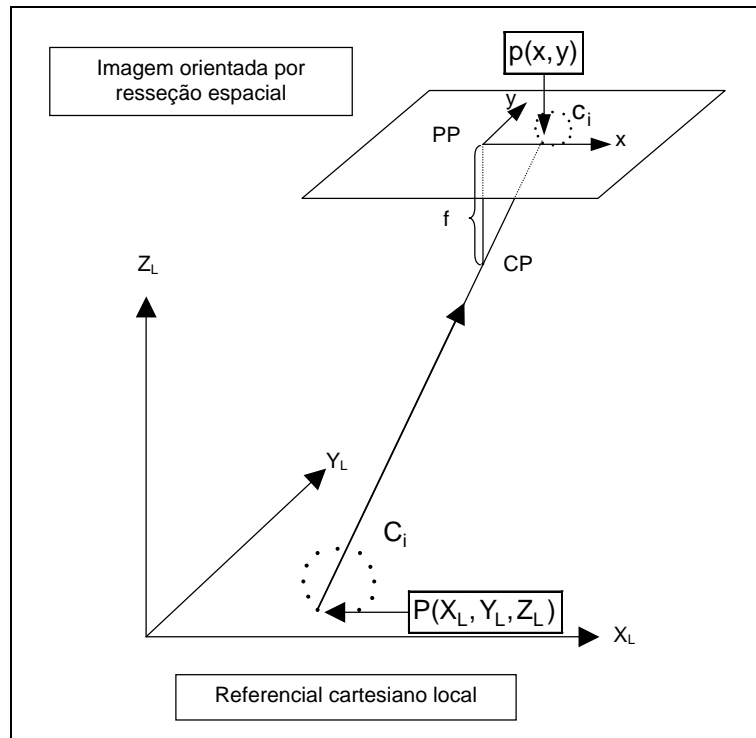


Figura.6: Projeção dos pontos dos contornos de telhados para o espaço-imagem.

As coordenadas dos pontos projetados para o espaço-imagem na etapa anterior são agora projetadas novamente para o espaço-objeto. Essa transformação é realizada empregando as equações de colinearidade "inversas". Essas equações relacionam as coordenadas (X_L, Y_L, Z_L) de um ponto P no espaço-objeto com suas coordenadas no espaço-imagem.

É importante notar que estas equações não são, a rigor, inversas das equações de colinearidade, pois a determinação de coordenadas planas (X_L, Y_L) de um ponto P no espaço-objeto depende da componente altimétrica (Z_L) do mesmo ponto. Entretanto, se as informações do relevo (por exemplo, na forma de MDT, MDE ou outra qualquer) estiverem disponíveis, essas equações podem ser utilizadas em vários processos da Fotogrametria, como a geração de ortofoto digital e a monorrestituição (DAL POZ, 1998).

Nesse caso, como todos os pontos são projetados para o plano médio da rua, é adotada a altura desse plano médio (Z_{LM}) , que pode ser facilmente obtida a partir do MDE. Esse procedimento é ilustrado pela figura 7, onde C_r é o contorno de telhado C_i projetado no plano médio da rua. As inversas das equações de colinearidade são dadas por,

$$X_{LR} = X_0 + (Z_{LM} - Z_0) \cdot \frac{m_{11} \cdot x_p + m_{21} \cdot y_p + m_{31} \cdot f}{m_{13} \cdot x_p + m_{23} \cdot y_p + m_{33} \cdot f} \quad (10)$$

$$Y_{LR} = Y_0 + (Z_{LM} - Z_0) \cdot \frac{m_{12} \cdot x_p + m_{22} \cdot y_p + m_{32} \cdot f}{m_{13} \cdot x_p + m_{23} \cdot y_p + m_{33} \cdot f}, \quad (11)$$

onde (X_{LR}, Y_{LR}, Z_{LM}) são as coordenadas de um ponto de contorno de telhado projetado para o plano médio da rua.

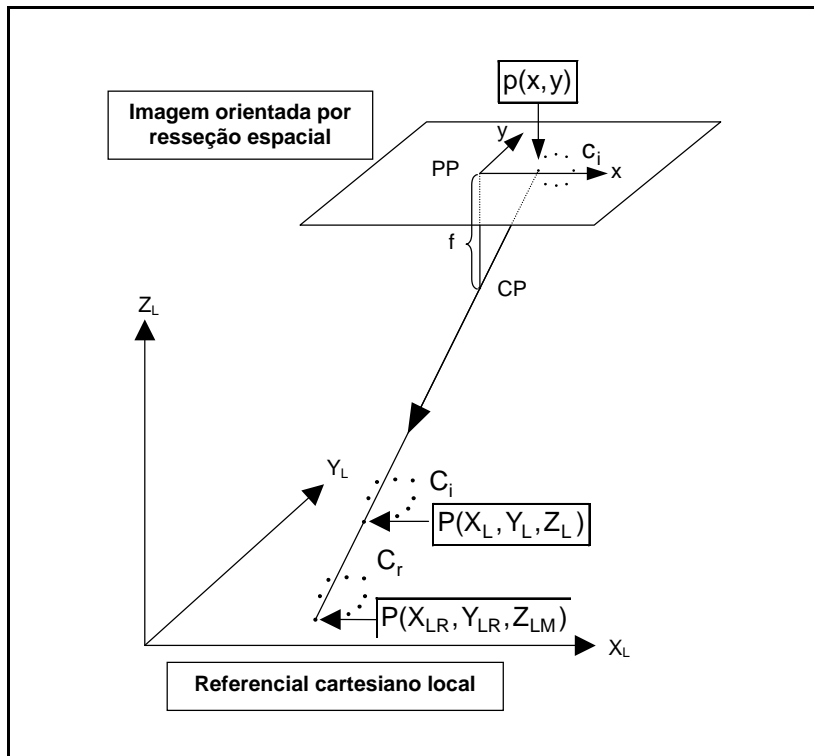


Figura 7: Projeção do contorno de telhado para o plano médio da rua.

A figura 8 ilustra a ocorrência de uma obstrução perspectiva causada pela posição do centro perspectivo (CP) e orientação do feixe perspectivo no espaço dado pelos ângulos de atitude $(\omega, \varphi, \kappa)$ do sensor de aquisição da imagem. Esta figura mostra um exemplo onde o telhado de um edifício se projeta no plano médio que contém a base do edifício (plano médio da rua). Como é possível verificar na figura 8, o objetivo é detectar a parte do telhado que se projeta no limite da via urbana.

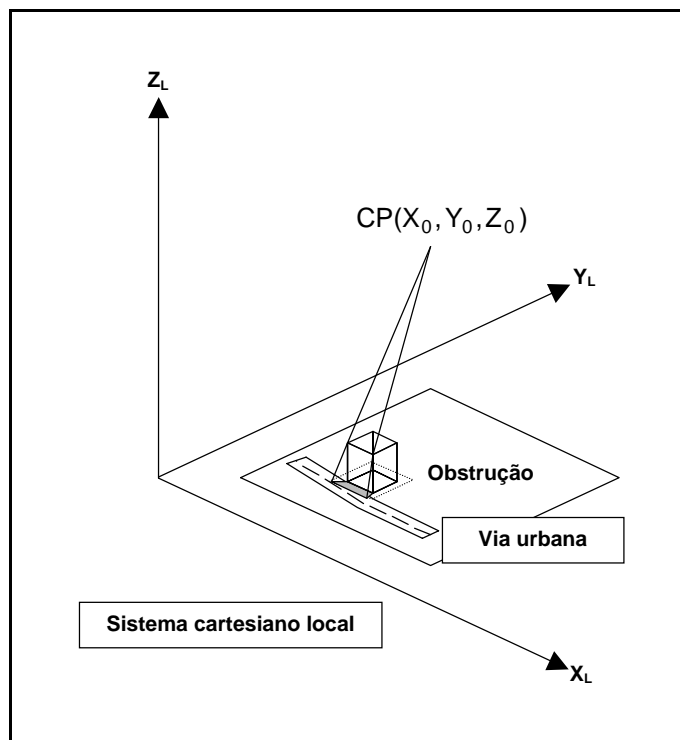


Figura 8: Ocorrência de uma obstrução perspectiva sobre uma via urbana.

2.2.1 Extração das Obstruções sobre Vias

Depois de realizada a projeção dos pontos dos contornos de telhados e limites de vias, é obtida uma lista de pontos que define os polígonos representando os telhados projetados no plano médio da rua. Para a extração de uma obstrução, a solução a ser empregada é verificar se os segmentos de reta que representam um polígono de um determinado telhado interceptam os segmentos de retas que marcam os limites da rua ($r1$ e $r2$ na figura 9). Depois de realizado esse procedimento, deve-se então verificar que parte do polígono representando o telhado está contida na região delimitada pelos dois segmentos de reta que representam a rua ($r1$ e $r2$). Os pontos do polígono que estiverem contidos nessa região, bem como os pontos dos trechos dos segmentos de reta de $r1$ e/ou $r2$ em comum com o polígono do telhado projetado, são os pontos que definem o polígono que representa a obstrução perspectiva do telhado sobre a rua.

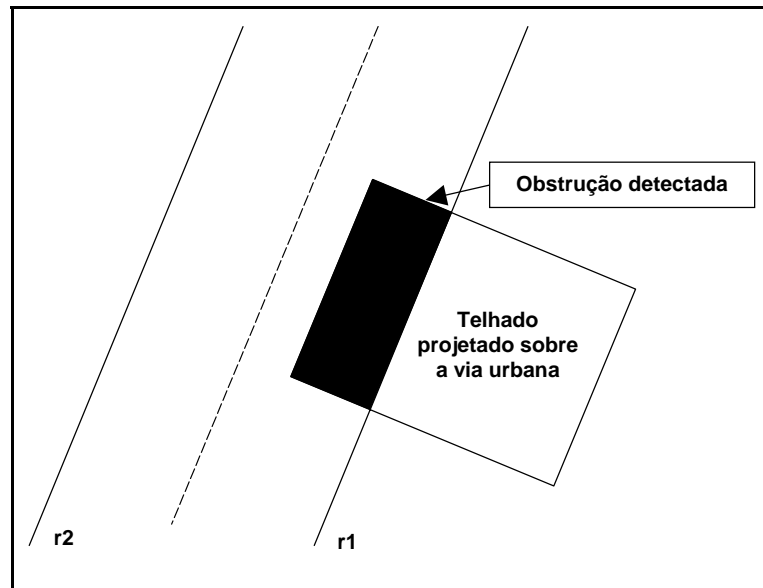


Figura 9: Extração de uma obstrução.

2.2.2 Projeção das obstruções para o espaço-imagem

Os polígonos representando as obstruções das vias são transformados para a imagem digital através das equações de colinearidade e de um processo de orientação interior inversa. Isto é, primeiramente os polígonos são obtidos no referencial fotogramétrico, sendo depois transformados para o referencial digital (L,C), com a introdução dos erros sistemáticos que afetam a imagem (refração fotogramétrica, distorção das lentes, etc.). Este procedimento é necessário porque o objetivo é obter as obstruções na imagem digital, que além de se encontrar no referencial digital (L,C), não possui qualquer tratamento referente aos erros sistemáticos. O processo é ilustrado na figura 10.

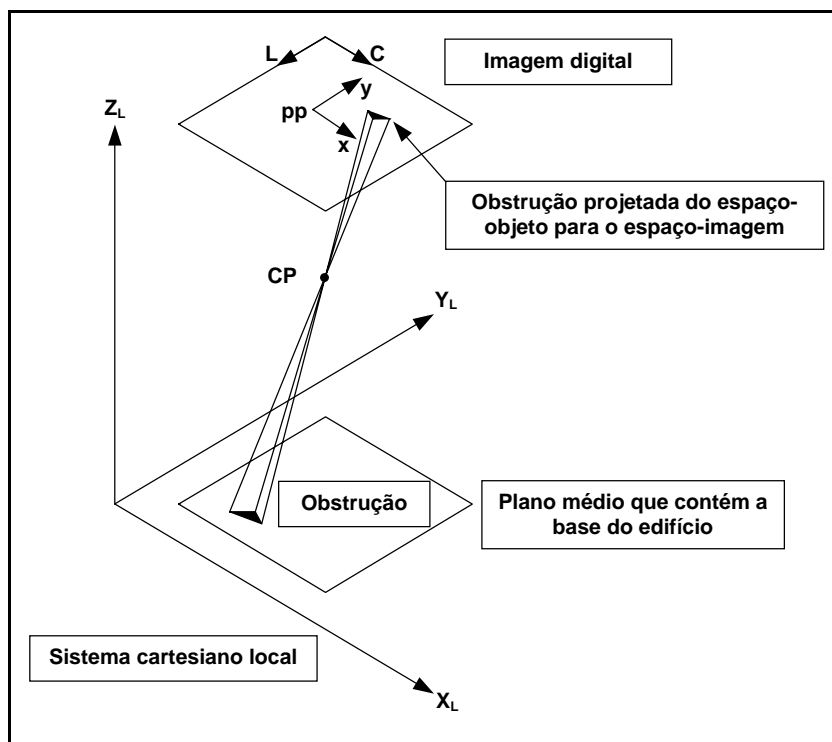


Figura 10: Projeção de uma obstrução perspectiva detectada no espaço-objeto para o espaço-imagem.

Existem dois motivos para a projeção das obstruções para a imagem digital bruta. O primeiro visa tão somente a verificação visual das obstruções detectadas (figura 9), embora os polígonos projetados possam também ser comparados numericamente com polígonos correspondentes extraídos diretamente da imagem, o que possibilita verificar a precisão do método de detecção de obstruções. O segundo motivo e por sinal, o mais relevante, está relacionado com o uso futuro dessas informações em processos de análise de imagens. As informações contextuais de malha viária (no caso, obstruções perspectivas) são informações importantes para extração de ruas em ambientes urbanos.

3 EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção é descrito um experimento realizado, bem como a análise dos resultados obtidos pela metodologia de detecção de obstruções.

Vale salientar que neste estágio da pesquisa não havia imagem aérea com um MDE correspondente. Assim, a fim de viabilizar um experimento preliminar, foram utilizados outros dados representando feições reais da superfície do terreno com suas respectivas elevações. Como se dispunha de dados de restituição fotogramétrica digital, bem como da imagem aérea da área correspondente, utilizou-se esses dados para a realização do experimento na avaliação da metodologia desenvolvida. Esses dados estavam armazenados em formato vetorial, onde as feições são representadas tridimensionalmente.

Dessa forma, foram extraídos desses dados alguns pontos representando o contorno de um telhado bem como os limites da rua confrontante. O sistema no qual as coordenadas dos pontos extraídos estão referenciadas é o UTM com altura geométrica, uma vez que o apoio da restituição foi realizado com GPS e as coordenadas obtidas no processamento foram convertidas para esse sistema. Os parâmetros de orientação da imagem utilizada no teste foram obtidos por meio de uma resseção espacial realizada com o aplicativo SOCET SET. Os pontos representando o telhado são mostrados na tabela 1, enquanto os pontos representando as retas que delimitam a rua estão resumidos na tabela 2.

Tabela 1: Coordenadas dos pontos de um telhado obtidas de dados de restituição.

Ponto	E (m)	N (m)	h (m)
1	457517.570000	7553743.600000	419.550000
2	457515.675438	7553752.300558	419.550000
3	457523.494912	7553754.003267	425.234350
4	457531.314385	7553755.705972	419.550000
5	457533.208947	7553747.005415	419.550000
6	457525.389473	7553745.302705	425.234350

Tabela 2: Pontos que definem o limite de uma rua.

Reta	Ponto	E (m)	N (m)	h (m)
1	1	457540.560	7553752.970	405.820
	2	457480.120	7553739.320	405.820
2	1	457543.290	7553740.880	405.820
	2	457482.850	7553727.230	405.820

Na figura 11 é possível verificar no recorte da imagem original o resultado do teste realizado, onde é mostrada na imagem a projeção do polígono representando a obstrução detectada no espaço-objeto. Como é possível verificar pela figura, a obstrução detectada não se projeta propriamente sobre a rua até porque se pode verificar visualmente que o telhado não se projeta sobre o limite da via. Para que pudesse ocorrer uma obstrução, o limite da rua teve de ser deslocado para a posição mostrada na figura 11, fazendo com que dessa forma o telhado se projetasse sobre a rua.



Figura 11: Obstrução detectada no espaço-objeto e projetada para a imagem.

Como já foi dito, o objetivo principal do experimento realizado era verificar preliminarmente o desempenho da metodologia para o propósito ao qual está sendo desenvolvida, e como pode ser

verificado pela figura 11, o desempenho foi satisfatório, considerando-se também que não se dispunha de dados mais adequados para sua avaliação.

4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma metodologia para a detecção e extração de obstruções perspectivas sobre vias urbanas. Considerando-se o resultado obtido pela avaliação experimental da metodologia desenvolvida até o atual estágio, verifica-se sua potencialidade na solução do problema de detecção e extração de obstruções perspectivas causadas pela projeção de telhados sobre vias urbanas, em imagens aéreas de alta resolução.

Deve-se levar em conta, ainda, que a metodologia é adequada na detecção de obstruções causadas pela projeção de telhados de edifícios sobre as vias. Quando outras partes dos edifícios projetam-se sobre as vias, a metodologia perde a eficiência. Nesses casos, uma solução relativamente simples seria considerar os edifícios como sólidos regulares. Desse modo, bastaria projetar os contornos de telhados dos edifícios no plano médio da rua e, após essa etapa, ligar os pontos do contorno projetado com os correspondentes da base do edifício, obtendo-se vários segmentos de reta. Combinando-se agora estes segmentos de reta com os demais da base do edifício e do telhado projetado, pode-se obter um polígono envolvente em que todos os segmentos de reta, não integrados, estão contidos. Finalmente, bastaria encontrar a intersecção deste polígono com os limites da via. Este problema será um dos alvos de trabalhos futuros.

Futuramente está prevista também a utilização de dados de MDE's obtidos por meio de perfilamento a laser para uma avaliação mais conclusiva da metodologia em desenvolvimento. Finalmente, como esta metodologia será útil em processos automáticos de análise de imagens, a mesma deverá ser totalmente automática. Para tanto, o processo de extração de limites de vias bem como de contornos de telhados deverão ser automatizados. No caso da determinação automática de limites de ruas, uma solução viável seria o registro de mapas pré-existentes com o MDE, visto que documentos cartográficos estão geralmente disponíveis para áreas urbanas. Referente a extração automática de contornos de telhados, pode-se notar que existem boas possibilidades de solução para o problema, pois, as pesquisas relacionadas a este tema têm se intensificado nos últimos anos (ABDULLATIF e BETHEL; ELAKSHER e BETHEL; HORIGUCHI et al., 2002).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLATIF, A., BETHEL, J. Heuristic Filtering and 3D Feature Extraction from LIDAR Data. **ISPRS Symposium Photogrammetric Computer Vision**, 2002, Graz - Austria.
- BAUMGARTNER, A. et al. Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 66, n. 7, p.777-785, 1999.
- BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, T. J. **Urban surveying and mapping**. New York: Spring-Verlag, 1979, 372p.
- DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Laserscanner**. Conceitos e Principios de Funcionamento. Curitiba: Editora UFPR, 2004, 97p.
- DAL POZ, A. P. Um modelo fotogramétrico inverso: Aplicações na Cartografia. **Revista Brasileira de Engenharia e Ciências Aplicadas**, São Paulo, v.4, p.98-116, 1998.
- ELAKSHER, A. F., BETHEL, J. Reconstructing 3D Buildings from LIDAR Data. **ISPRS Symposium Photogrammetric Computer Vision**, 2002, Graz - Austria.
- HINZ, S.; BAUMGARTNER, A. Road Extraction in Urban Areas Supported by Context Objects. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 33, 2000, Amsterdã. **Proceedings...** Amsterdã, p.163-168.
- HINZ, S. et al. Road Extraction Focussing on Urban Areas. In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, 2001, Rotterdam. **Proceedings...** Rotterdam, p.255-265.
- HINZ, S.; BAUMGARTNER, A. Urban Road Net Extraction Integrating Internal Evaluation Models. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Science, 2002, Graz. **Proceedings...** Graz.
- HORIGUCHI, S. et al. Reconstructing Road and Block from DEM in Urban Area. **ISPRS Symposium Photogrammetric Computer Vision**, 2002, Graz - Austria.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Imprensa da Universidade Federal do Paraná, 1987, 134p.

PRICE, K. Urban street grid description and verification. In: IEEE Workshop on Computer Vision, 2000. **Proceedings...** Palm Springs, 2000, p.148-154.

VOSSelman, G.; de KNECHT, J. Road tracing by profile matching and Kalman filtering. In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, 1995. **Proceedings...** p.265-274.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry**: with applications in GIS. Boston: McGraw-Hill, 2000, 608p.

6 AGRADecIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pela concessão de bolsa de Iniciação Científica, Processo nº 03/05799-5, que tem possibilitado a execução deste projeto.