

Determinação de correspondência com precisão sub-pixel por interpolação polinomial

Wimerson Sanches Bazan ¹
Prof. Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli ²
Prof. Dr. Mauricio Galo ²

² UNESP - Depto. de Cartografia
CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
{tomaseli, galo}@prudente.unesp.br

¹ Bolsista CNPq/PIBIC, Graduando do curso de Eng. Cartográfica
wimerson.bazan@bol.com.br

Resumo: O processo de identificação de áreas homólogas em diferentes imagens pode ser realizado automaticamente a partir de imagens digitais, as quais oferecem grandes possibilidades de automatização de alguns processos fotogramétricos. A determinação da correspondência entre feições pontuais pode ser realizada com qualidade pixel ou subpixel. Uma possibilidade de realização do refinamento com qualidade subpixel é através do ajustamento, pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), de uma superfície em torno do ponto de máximo ou mínimo da matriz de correlação, dependendo da função de correlação utilizada na determinação da correspondência entre as imagens. A partir da determinação dos coeficientes desta superfície, o ponto de maior similaridade pode então ser estimado com qualidade subpixel. Neste trabalho serão apresentados os detalhes da metodologia empregada para a determinação da posição com precisão subpixel, bem como resultados obtidos com imagens reais.

Palavras chaves: Correlação de imagens digitais, correspondência com exatidão sub-pixel, ajustamento polinomial, ajustamento de superfície.

Abstract: The process of identification of homologous areas in different images can be accomplished automatically when digital images are used, having great impact in some photogrammetric process. The determination of features correspondence can be performed with pixel or subpixel accuracy, using different methods. One of these methods is based on the adjustment by LSM – Least Square Method, of a surface around of the maximum or minimum of a correlation matrix, depending on the function used to compute the correlations. Since the coefficients of this surface are available, the most similar position, i.e., the critical point, can be computed with subpixel accuracy. In this work, some details of this approach are shown and also some results obtained with real images are presented.

Keywords: Image matching, correspondence with sub-pixel accuracy, polynomial fitting, surface fitting.

1 Introdução e objetivos

O processo de identificação de áreas homólogas, ou de determinação de correspondência de feições, em diferentes imagens, pode ser realizado manualmente em numa estação de trabalho (ANDRADE, 1998). Entretanto, o uso de imagens digitais oferece grandes possibilidades de automatização deste processo.

A determinação da correspondência, de modo automático, é um dos problemas mais importantes para a automação de alguns processos Fotogramétricos. A possibilidade de automação deste procedimento tem reflexos diretos em tarefas como: orientação relativa, fototriangulação automática, geração automática de Modelos Digitais de Terreno e na restituição semi-automática, na qual o posicionamento da marca flutuante sobre o terreno pode ser feita por correlação, sob a supervisão do operador.

O princípio da determinação da correspondência entre duas imagens, consiste na identificação de áreas equivalentes em imagens diferentes, mediante o deslocamento de uma sub-imagem de referência sobre uma sub-imagem de busca. Para cada combinação destas sub-imagens, calcula-se um valor fornecido por uma função de correlação, dentre as quais pode-se citar: função quociente, função erro, função erro quadrático e função coeficiente de correlação que, de acordo com um critério estabelecido, permitem

determinar as janelas que apresentam maior similaridade (STRAUCH, 1991).

Ao se considerar a utilização da função erro, por exemplo, obtém-se para cada combinação de janelas, um resultado numérico que irá compor uma matriz de valores de erro onde o menor valor dessa matriz, indica o ponto homólogo da janela de pesquisa mais similar à sub-imagem de referência.

Esse ponto homólogo pode ser posicionado com relação ao sistema de coordenadas da matriz de busca e essa posição (x, y) representa a localização do ponto homólogo com precisão ao nível de pixel, sendo possível a obtenção dessa posição com precisão subpixel. Uma possibilidade para esta determinação com qualidade subpixel é usar o procedimento de *matching* por mínimos quadrados, apresentado em Agouris et al (1992) e Grün (1996), onde o modelo matemático contém tanto parâmetros de natureza geométrica quanto radiométrica. Uma outra possibilidade é obter a posição de maior similaridade na matriz de correlação pelo ajuste de uma superfície em torno desta posição e determinar o ponto crítico com qualidade subpixel, obtendo-se assim uma nova estimativa do ponto homólogo.

Partindo desta possibilidade, objetiva-se, neste trabalho, apresentar a metodologia, bem como os procedimentos requeridos no processo da determinação da correspondência com precisão ao nível de subpixel, partindo da matriz dos valores de correlação, mais especificamente os valores resultantes da função erro. Serão apresentados alguns experimentos com imagens reais, onde é feita uma análise da qualidade.

2 Relevância da determinação da correspondência com precisão subpixel

No processo de determinação da correspondência entre imagens, para que sejam alcançados resultados comparáveis com os instrumentos utilizados na fotogrametria analítica (monocomparadores, estereocomparadores e restituidores analíticos), é necessário determinar as posições dos pontos homólogos com precisão subpixel.

Tomando-se como exemplo o caso de uma marca fiducial, quanto menor for o tamanho do pixel, maior será a precisão na determinação de seu centro, pois o número de pixels que fará parte do agrupamento circular central, que define a marca, será maior. Schenk (1999) apresenta um exemplo, discutido na seqüência, que permite perceber a importância de medidas com qualidade subpixel, sendo mostrados os efeitos da amostragem e do uso de limiares para fazer a binarização. Inicialmente deve-se considerar que uma marca fiducial de formato quadrado, com tamanho de $60 \mu\text{m}$, é idealmente imageada no filme. Supondo que o filme passe por um processo de digitalização com resolução de $20 \mu\text{m}$, e a marca fiducial não se alinhe exatamente com o conjunto de pixels, tem-se a situação indicada na Figura 1(a).

Cada um dos pixels recebe uma quantidade de energia e estes são “preenchidos” com algum tom de cinza (SCHENK, 1999). Os números na Figura 1(b) expressam a área coberta pela marca fiducial em cada pixel. Pode-se observar que aos quatro pixels do centro foram atribuídos valores dez, o que significa que o pixel recebeu 100% de energia, e o pixel no canto inferior esquerdo da imagem recebe apenas 8% da energia do pixels central, sendo atribuído um valor de 0.8. Após a escolha de um limiar para fazer a binarização, o resultado é o mostrado na Figura 1(c).

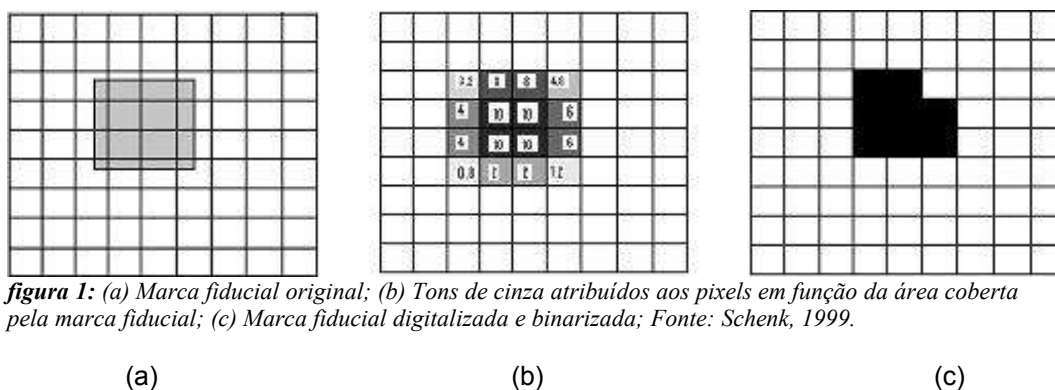


figura 1: (a) Marca fiducial original; (b) Tons de cinza atribuídos aos pixels em função da área coberta pela marca fiducial; (c) Marca fiducial digitalizada e binarizada; Fonte: Schenk, 1999.

(a)

(b)

(c)

Pode-se notar que a imagem binária resultante da marca fiducial difere da original tanto em tamanho quanto em forma, além de diferir também em localização, permitindo concluir que tais procedimentos causam deslocamento da marca fiducial.

Diversas são as abordagens que podem ser usadas para a determinação do centro da marca fiducial. Dentre elas, pode-se considerar a determinação do centróide e também o estabelecimento da correspondência entre uma imagem ideal da marca fiducial (*usada como modelo*), que será correlacionada com a imagem binária, usando uma das funções de correlação existentes como, por exemplo, a função erro, ou outra qualquer. A posição desta marca fiducial pode ser obtida com precisão de um pixel a partir de tal correspondência. Para a determinação com precisão sub-pixel, o procedimento apresentado nas seções seguintes, pode ser aplicado.

3 Determinação da correspondência com precisão sub-pixel

A metodologia descrita e implementada para a determinação da correspondência com exatidão sub-pixel é descrita nesta seção. Inicialmente deve ser obtida a matriz de correlação usando a função erro. Uma vez que esta matriz é criada, deve-se fazer a busca do ponto de mínimo e fazer a extração de uma sub-matriz quadrada, a qual contém o valor mínimo em seu centro. Usando os valores de correlação desta matriz como dados, é feito o ajuste de uma superfície quadrática cujos parâmetros podem ser determinados através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

A partir dos parâmetros desta superfície pode-se obter analiticamente o novo ponto de mínimo. A diferença é que esta nova posição é obtida com precisão subpixel

3.1 Determinação da matriz de correlação usando a função erro

Supondo que se têm duas imagens e que se pretende obter na imagem da direita, por exemplo, o ponto homólogo a um dado ponto na imagem esquerda, algumas etapas devem ser seguidas. Inicialmente deve-se selecionar uma sub-imagem na imagem esquerda que contenha o alvo de interesse. Posteriormente deve ser definida na imagem da direita uma sub-imagem de busca (ou pesquisa), no qual se supõe que o alvo homólogo esteja presente. Assume-se portanto que estas sub-imagens tenham as seguintes dimensões:

- $L_r \times C_r$ - Número de linhas e colunas da sub-imagem de referência;
- $L_p \times C_p$ - Número de linhas e colunas da sub-imagem de pesquisa.

A partir destas dimensões pode-se determinar a matriz de correlação, fazendo toda as combinações possíveis, assumindo que $L_p \geq L_r$ e $C_p \geq C_r$. Deste modo, o número de combinações será igual ao produto $(L_p - L_r + 1) \cdot (C_p - C_r + 1)$, sendo a dimensão da matriz de correlação igual a $L_c \times C_c$ onde $L_c = L_p - L_r + 1$ e $C_c = C_p - C_r + 1$.

Definidas estas dimensões, a matriz de correlação poderá ser montada, usando diferentes funções, como, por exemplo, as apresentadas em Yanniris (1974). Na seqüência é mostrada a função erro:

$$D(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{L_c \cdot C_c} \sum \sum |g_e(x_i^e, y_i^e) - g_d(x_i^d + \Delta x, y_i^d + \Delta y)| \quad (1)$$

onde:

- D - resposta da função erro, onde na verdade é considerado o erro absoluto;
- $(\Delta x, \Delta y)$ - deslocamentos da matriz de referência sobre a matriz de pesquisa, ou seja, $\Delta x = \{0, 1, \dots, C_c - 1\}$ e $\Delta y = \{0, 1, \dots, L_c - 1\}$;
- $g_e(x^e, y^e)$ - tom de cinza do pixel (x^e, y^e) da sub-imagem de referência;
- $g_d(x^d + \Delta x, y^d + \Delta y)$ - tom de cinza do pixel $(x^d + \Delta x, y^d + \Delta y)$ da sub-imagem de pesquisa.

O critério a ser usado no caso desta função é que $D(\Delta x, \Delta y)$ assuma valor mínimo. Esta função não apresenta problemas no caso das funções analisadas serem monotônicas. No entanto, ela é sensível a pequenas variações de amplitude entre as funções de tons de cinza analisadas.

3.2 Determinação da posição com precisão subpixel

A partir do procedimento descrito na seção anterior tem-se a matriz de correlação, usando a função erro. A partir desta matriz pode-se selecionar uma janela com dimensão $n \times n$, sendo $n \geq 3$, que deve conter o ponto com menor valor de erro em seu centro. Esta janela deve ser recortada e pode ser utilizada para ajustar uma superfície quadrática, cujos parâmetros podem ser determinados através do MMQ. A superfície a ser ajustada, é dada pela Equação 2, onde $D_i = 1, 2, \dots, n^2$ são os valores resultantes da aplicação da Equação 1:

$$D_i = ax_i^2 + by_i^2 + cx_iy_i + dx_i + ey_i + f - v_i \quad (2)$$

Considerando que os 6 coeficientes (a, b, c, d, e, f) sejam conhecidos, por um processo de ajustamento, e que o ponto procurado é um ponto crítico, pode-se escrever o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial x} &= 2ax + cy + d = 0 \\ \frac{\partial D}{\partial y} &= 2by + cx + e = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Deste modo, a solução do sistema linear 2×2 em x e y é dada por

$$\begin{aligned} x &= \frac{-2bd + ce}{4ab - c^2} \\ y &= \frac{cd - 2ae}{4ab - c^2} \end{aligned} \quad (4)$$

sendo esta justamente a posição do ponto procurado, com qualidade subpixel.

3.3 Determinação dos coeficientes da superfície

A determinação dos coeficientes (a, b, ..., f) possibilita a obtenção da localização com precisão subpixel, como visto na seção anterior. Para a determinação dos coeficientes desta superfície, pode-se aplicar o método paramétrico ou método das observações diretas, considerando como observações os valores presentes na matriz de erros na vizinhança do ponto de mínimo.

O modelo matemático usado no ajustamento é a Equação 2, que é linear em relação aos parâmetros, podendo ser descrita como um modelo do tipo $L_a = F(X_a)$, onde L_a representa o vetor das observações ajustadas, de dimensão $n^2 \times 1$; X_a é o vetor dos parâmetros ajustados $X_a = [a \ b \ c \ d \ e \ f]^T$, de dimensão 6×1 e F o modelo matemático utilizado (Equação 2).

Assumindo que as observações possuem a mesma qualidade ($P=I$) e aplicando o critério de que a soma dos quadrados dos resíduos seja mínima, como pode ser visto em Gemael (1994) e Camargo (2003), o vetor dos parâmetros ajustados pode ser obtido por

$$X_a = -(A^t A)^{-1} A^t L_b \quad (5)$$

onde A é a matriz das derivadas parciais do modelo matemático em função dos parâmetros:

$$A = \begin{bmatrix} x_1^2 & y_1^2 & x_1y_1 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2^2 & x_2y_2 & x_2 & y_2 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{n^2-1}^2 & y_{n^2-1}^2 & x_{n^2-1}y_{n^2-1} & x_{n^2-1} & y_{n^2-1} & 1 \\ x_{n^2}^2 & y_{n^2}^2 & x_{n^2}y_{n^2} & x_{n^2} & y_{n^2} & 1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

e L_b é formado por

$$L_b = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_{n^2} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

sendo os valores de D obtidos a partir da Equação 2.

Obtidos os parâmetros ajustados, a matriz variância-covariância – MVC destes parâmetros poderá ser estimada por

$$\sum X_a = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} \quad (10)$$

onde a variância de unidade de peso a *posteriori* pode ver calculada por

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T V}{gl} \quad (9)$$

e o número de graus de liberdade gl , é dado por $gl=n^2-6$.

A partir do momento que os coeficientes da superfície são obtidos, as coordenadas procuradas podem ser calculadas pela Equação 4. A obtenção da MVC destas coordenadas pode ser realizada pela propagação das covariâncias, através do modelo

$$\sum(x, y) = J \sum X_a J^T \quad (10)$$

onde J é a matriz Jacobiana, obtida por

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial a} & \frac{\partial x}{\partial b} & \frac{\partial x}{\partial c} & \frac{\partial x}{\partial d} & \frac{\partial x}{\partial e} \\ \frac{\partial y}{\partial a} & \frac{\partial y}{\partial b} & \frac{\partial y}{\partial c} & \frac{\partial y}{\partial d} & \frac{\partial y}{\partial e} \end{bmatrix}$$

Após a determinação das derivadas parciais, a matriz J é montada:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{8b^2d - 4bce}{(4ab - c^2)^2} & \frac{8abd - 4ace}{(4ab - c^2)^2} - \frac{2d}{4ab - c^2} & \frac{e}{4ab - c^2} - \frac{2(2bcd - c^2e)}{(4ab - c^2)^2} & \frac{2b}{c^2 - 4ab} & \frac{c}{4ab - c^2} \\ -\frac{4bcd - 8bae}{(4ab - c^2)^2} - \frac{2e}{4ab - c^2} & -\frac{4acd - 8a^2e}{(4ab - c^2)^2} & \frac{2c^2d - 4ace}{(4ab - c^2)^2} + \frac{d}{4ab - c^2} & \frac{c}{4ab - c^2} & -\frac{2a}{4ab - c^2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

podendo a propagação ser efetuada pela Equação 10.

4 Experimentos e análise

Os modelos apresentados foram implementados em Linguagem C ANSI, possibilitando a realização de experimentos e análises. Para a realização dos experimentos foram usados segmentos de imagens reais, em duas situações diferentes: sem e com a presença de variações radiométricas, tendo sido analisado o efeito do tamanho da janela extraída da matriz de erros e usada no ajustamento da superfície. A imagem de referência é um recorte da imagem de busca, o que deveria garantir a perfeita correspondência entre as imagens. No experimento 2, a imagem de referência sofreu uma mudança radiométrica aleatória, o que deve alterar a resposta da função erro.

Em ambos os experimentos foram realizados três processamentos:

- No experimento 1: Utilizou-se um recorte de 3x3 observações da matriz dos valores de erro, em torno do mínimo, para o primeiro processamento; o segundo processamento foi realizado com um recorte de 5x5, e o terceiro com o recorte máximo possível de 9x9;
- No experimento 2: Foi realizado um primeiro processamento com um recorte de 3x3, um segundo processamento com um recorte de 5x5, e um terceiro com o recorte máximo possível de 7x7.

4.1 Experimento usando sub-imagens sem diferenças radiométricas e geométricas e sem ruído.

Neste experimento foi executado o aplicativo desenvolvido, sendo utilizadas as imagens mostradas na Figura 2.



Figura 2: Imagens de referência (a) e pesquisa (b), sem diferenças radiométricas e geométricas.

(a)

(b)

As figuras 3, 4 e 5 a seguir, são referentes aos processamentos utilizando recortes de observações com dimensão 3x3, 5x5 e 9x9 em torno do mínimo, e permitem visualizar lado a lado as superfícies geradas a partir dos valores discretos fornecidos pela função erro, em função da posição x e y de cada observação, e as geradas a partir de um ajuste de uma superfície polinomial.

É importante salientar que, as implementações realizadas adotam o referencial coluna-linha, onde as componentes x referem-se às colunas e são positivas, ao passo que as coordenadas y são negativas, porque o sentido adotado para o eixo foi para cima.

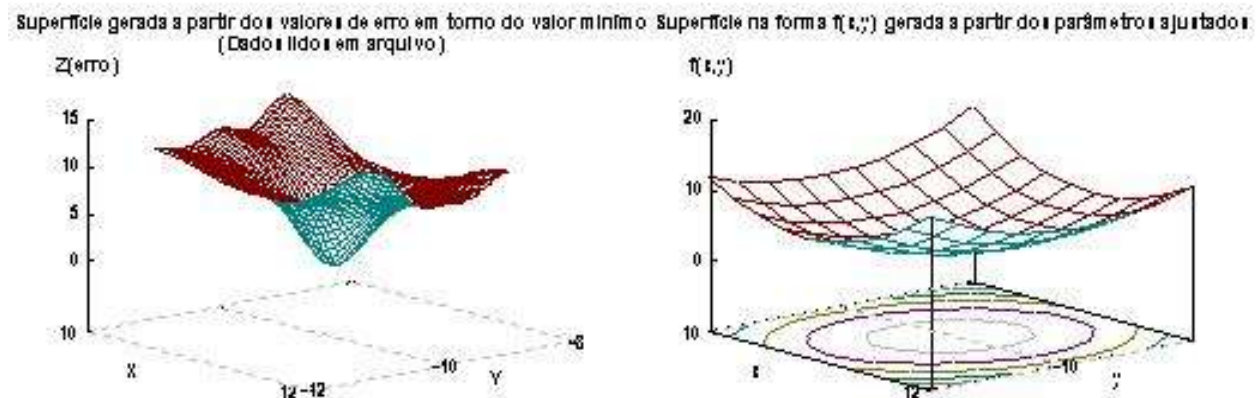
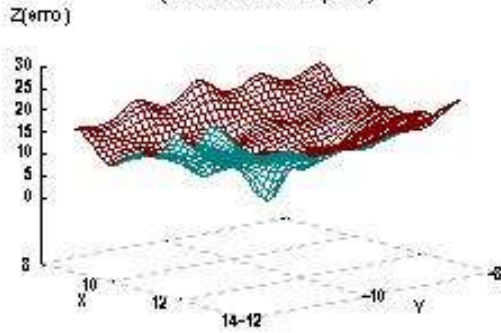


Figura 3: Superfícies de interpolação para uma janela 3x3 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

(a)

(b)

Superfície gerada a partir dos valores de erro em torno do valor mínimo (Dados lidos em arquivo)



Superfície na forma $f(x,y)$ gerada a partir dos parâmetros ajustados

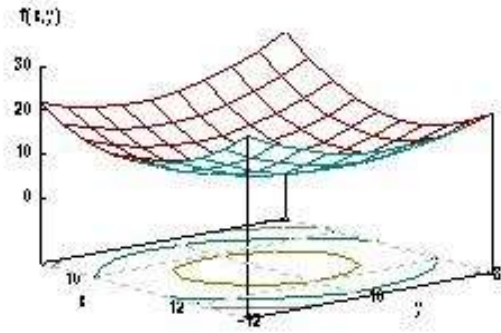
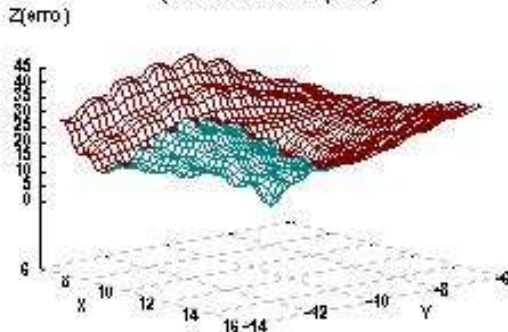


figura 4: Superfícies de interpolação para uma janela 5x5 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

(a)

(b)

Superfície gerada a partir dos valores de erro em torno do valor mínimo (Dados lidos em arquivo)



Superfície na forma $f(x,y)$ gerada a partir dos parâmetros ajustados

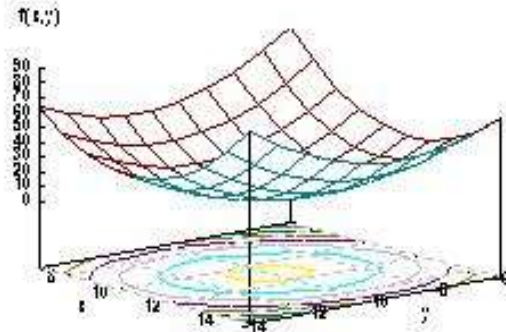


figura 5: Superfícies de interpolação para uma janela 9x9 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

(a)

(b)

Tabela 1: Processamento com imagens sem variação radiométrica para diferentes dimensões de janela para o ajuste polinomial.

	Posição ao nível de pixel	3x3		5x5		9x9	
		Posição subpixel	σ	Posição subpixel	σ	Posição subpixel	σ
x (pixel)	11	11,002	0,091	11,01	0,101	11,05	0,155
y (pixel)	-10	-10,008	0,131	-10,01	0,150	-9,72	0,269
		2,677		3,368		6,427	

Como se pode observar na Tabela 1, um recorte de 3x3 em torno do mínimo, permitiu um ajustamento de uma superfície polinomial de maneira a proporcionar uma localização subpixel suficientemente próxima da posição ao nível de pixel, que pode ser considerada como referência, uma vez que a matriz de referência foi extraída da imagem de busca. Neste caso, os desvios padrão nas coordenadas x e y , foram os menores, se comparados com as localizações obtidas para o ajustamento com recortes de 5x5 e 9x9, respectivamente. Tal fato se confirma ao se analisar o desvio padrão a posteriori ($\hat{\sigma}_0$), observando-se que este valor aumenta à medida que se aumenta o número de observações no processo, indicando um resíduo maior entre as observações e a superfície ajustada. Resumindo, neste caso, o melhor conjunto de dados foi o da janela 3x3.

Verifica-se, ainda, que os desvios padrão em y foram maiores se comparados com os obtidos em x, devido à característica da janela de referência (Figura 2a) que apresenta bordas na direção y, gerando uma ambigüidade neste sentido, quanto ao processo de correspondência entre as duas imagens.

4.1 Experimento usando sub-imagens com diferenças radiométricas

Neste experimento foi novamente usado o aplicativo desenvolvido, sendo utilizadas as imagens mostradas na Figura 2. Neste caso, a imagem (a) corresponde à da figura 2(a), mas com alterações na radiometria.



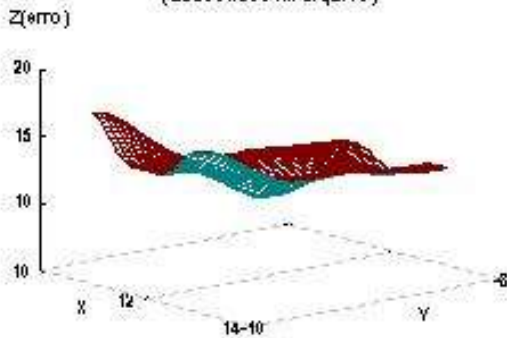
figura 6: Imagens de referência (a) e pesquisa (b), com diferenças radiométricas.

(a)

(b)

Seguindo a mesma seqüência de processamentos realizados no experimento 1, são apresentadas as figuras 7, 8 e 9, referentes aos processamentos utilizando recortes de observações com dimensão 3x3, 5x5 e 7x7, em torno do erro mínimo. Estas figuras permitem visualizar lado a lado as superfícies geradas a partir dos valores discretos fornecidos pela função erro, em função da posição x e y de cada observação, e aquelas geradas a partir de um ajuste de uma superfície polinomial.

Superfície gerada a partir dos valores de erro em torno do valor mínimo (Dados lidos em arquivo)



Superfície na forma $f(x,y)$ gerada a partir do parâmetro ajustado

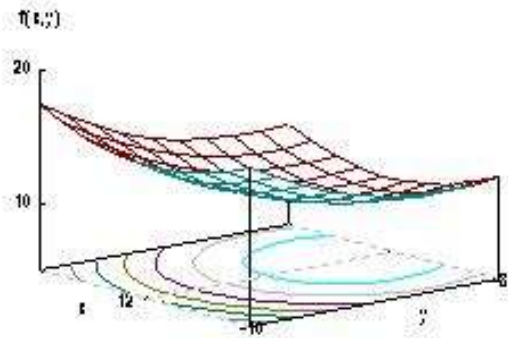
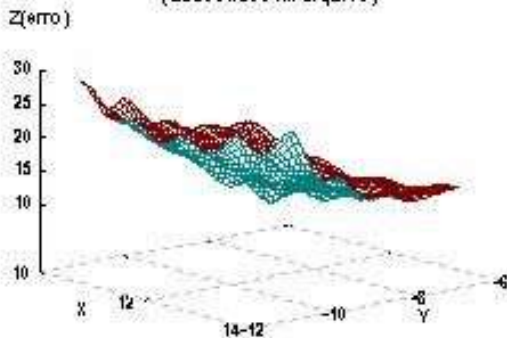


Figura 7: Superfícies de interpolação para uma janela 3x3 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

Superfície gerada a partir dos valores de erro em torno do valor mínimo (Dados lidos em arquivo)



Superfície na forma $f(x,y)$ gerada a partir do parâmetro ajustado

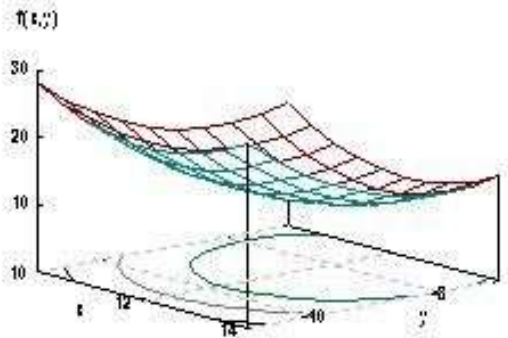


Figura 8: Superfícies de interpolação para uma janela 5x5 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

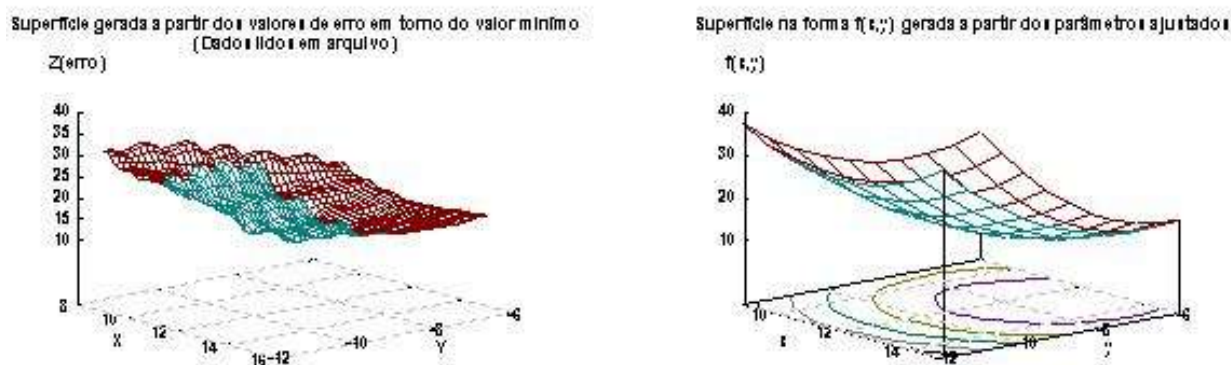


Figura 9: Superfícies de interpolação para uma janela 7x7 (a) Matriz dos valores de erro e; (b) superfície interpoladora.

Tabela 2: Processamento com imagens com diferenças radiométricas para diferentes dimensões de janela para o ajuste polinomial.

		3x3		5x5		7x7	
	Posição ao nível de pixel	Posição subpixel	σ	Posição subpixel	σ	Posição subpixel	σ
x	12	11,98	0,071	12,20	0,073	12,59	0,166
y	-9	-8,36	0,160	-7,94	0,111	-7,28	0,237
		0,581		1,001		2,497	

A Tabela 2 referente ao experimento 2, permite verificar que recortes de 3x3 ou 5x5 seriam os mais convenientes, percebendo-se que, para um recorte de 3x3, o desvio padrão a posteriori ($\hat{\sigma}_0$) é menor. Isto significa que a superfície melhor se ajustou a este conjunto de dados. Os desvios padrão estimados foram similares em ambos os casos, variando em centésimos do tamanho do pixel, o que é irrelevante neste tipo de processo.

De modo análogo ao experimento 1, verifica-se que os desvios padrão em y, foram maiores em relação a x, devido às características da janela de referência (Figura 2a).

4 Conclusão

Os procedimentos mostrados neste trabalho permitiram verificar que os processos de correlação de imagens podem ser efetuados de maneira que a melhor correspondência entre uma janela de referência e uma das janelas candidatas da matriz de busca seja determinada com precisão subpixel. Pode-se, ainda, estimar a MVC dessas coordenadas, pela propagação de covariâncias a partir da MVC dos coeficientes da superfície ajustados pelo método paramétrico.

A análise sobre o número de observações a serem usadas no ajuste da superfície mostrou que, para o caso estudado, basta uma janela de 3x3 e que o aumento desta janela não melhora significativamente a solução.

Para melhorar a solução sugere-se:

- Utilizar outras funções de correlação mais confiáveis, como a função de covariância cruzada modificada;
- Estudar o tamanho da janela para o ajuste da superfície para vários tipos de imagem;
- Comparar com outros métodos de determinação de correspondência com precisão sub-pixel, como o *matching* por mínimos quadrados.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa PIBIC-Unesp/CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica

6 Referências Bibliográficas

- Agouris, P.; Schenk, T.** *Multiple Image Matching*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Washington: ISPRS, 1992. v. XXIX, Part B3, Commission III. p. 802-807.
- Andrade, J. B.** *Fotogrametria*. Curitiba, 1998, 258p.
- Camargo, P.O.** *Ajustamento de Observações*. Presidente Prudente, 2003. Notas de aulas do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica - FCT/UNESP.
- Costa, E. R.** *Predição de erros no processo de correlação de imagens*. Anais do IV Fórum d Ciências da FCT. Presidente Prudente, 2003, p 129-136.
- Gemael, C.,** *Introdução ao Ajustamento de Observação: aplicações geodésicas*. 1ª ed. Curitiba: Ed. UPFR, 1994.
- Grün, A.** *Least square matching: a fundamental measurement algorithm*. ATKINSON, K. B. (Ed.). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Bristol: Whittle Publishing, 1996. Chap. 8, p. 217-255.
- Schenk, T.** *Digital Photogrammetry*. Terra Science, 1999, 428p.
- Strauch, J. C. M.** *Correlação de Imagens Digitais*. 1991. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.
- Yanniris, Y.** *Improvements to the off-line epipolar correlation*. Tese de Doutorado; UNB, Canadá, 1974.