

## Utilização de Estero-pares Híbridos na atualização Cartográfica

**Amilton Amorim**<sup>1</sup>

**Irineu da Silva**<sup>2</sup>

Universidade de São Paulo – USP  
Departamento de Transportes  
EESC – São Carlos – SP

**Antonio Maria Garcia Tommaselli**<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista – Unesp.  
Departamento de Cartografia  
FCT - Presidente Prudente

<sup>1</sup> ✉ amorim@prudente.unesp.br

<sup>2</sup> ✉ LeicaBR@ibm.net

<sup>3</sup> ✉ tomaseli@prudente.unesp.br

<b>Conteúdo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>1 Introdução</b></li> <li><b>2 Objetivos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>2.1 Objetivo Geral</b></li> <li><b>2.2 Objetivos Específicos</b></li> </ul> </li> <li><b>3 Atualização cartográfica por Fotogrametria</b></li> <li><b>4 Proposta metodológica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>4.1 Formação de modelos híbridos</b></li> <li><b>4.2 Detecção de alterações</b></li> </ul> </li> <li><b>5 Experimentos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>5.1 Detecção de alterações a partir de um modelo estereoscópico anaglifo</b></li> <li><b>5.2 Testes de precisão</b></li> </ul> </li> <li><b>6 Conclusões e recomendações</b></li> <li><b>7 Referências bibliográficas</b></li> </ul>
-----------------	--

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma proposta metodológica rápida e econômica de atualização cartográfica, onde a premissa básica será a utilização de um estereopar híbrido, composto por uma fotografia aérea 23 x 23 cm (que foi utilizada no mapeamento existente) digitalizada matricialmente, e por uma imagem aérea digital recente obtida com uma câmara digital. Além disso, este trabalho apresenta discussões e resultados sobre a visualização estereoscópica do estereopar híbrido, quando utilizada para a detecção das alterações e a extração das feições identificadas, completando assim o processo de atualização cartográfica. Esta estratégia de combinação de fontes diferentes de dados, para a formação de modelos estereoscópicos, pode acelerar o processo de revisão e atualização cartográfica reduzindo os custos e obtendo resultados satisfatórios.

**Palavras chave:** Fotogrametria, Atualização Cartográfica.

**Abstract:** This work presents a fast and economical methodological proposal for cartographic updating, in which the basic approach is the use of a hybrid stereo-pair, composed by a scanned aerial photography 23 x 23 cm (that was used in the existing mapping), and by a recent digital aerial image, acquired by a digital camera. Besides that, discussions and results on the stereoscopic visualization of the hybrid stereo-pair are presented, focusing on change detection and extraction of the identified features, aiming cartographic updating. This strategy of combining different sources of data, for stereoscopic models reconstruction can speed up the revision process and cartographic updating, reducing the costs and obtaining reliable results.

**Keywords:** Photogrammetry, Cartographic Updating.

### 1 Introdução

A organização administrativa dos municípios torna-se um objetivo cada vez mais perto de ser alcançado, mas para isso existe a necessidade de se conhecer a realidade física da área em questão. Este problema é parcialmente resolvido com a cartografia atualizada da referida área.

Contratar um serviço de aerolevantamento envolve recursos financeiros, nem sempre disponíveis nos cofres públicos. Além disso, um mapeamento se desatualiza com o decorrer do tempo, pela própria atividade humana, que é muito dinâmica.

As empresas de aerolevantamento, normalmente, não são contratadas para a execução de atualizações cartográficas, utilizando-se do mapeamento anterior (desatualizado) e novas fontes de informação, por exemplo, fotografias aéreas recentes, imagens de satélite e levantamentos topográficos.

Na realidade, por falta de metodologias adequadas, implementadas nas empresas, executa-se um novo aerolevantamento, fato este que pode inviabilizar esta atividade pelo alto custo. Procura-se neste trabalho, pesquisar métodos rápidos e econômicos de atualização cartográfica.

O avanço da tecnologia, nas áreas de informática e eletrônica, tem colaborado em muito com o desenvolvimento de Sistemas Fotogramétricos Digitais e este fato traz à comunidade científica mundial, novas e tentadoras expectativas para a exploração de recursos de automação em Fotogrametria (MILLER et al, 1996; GRUEN, 1996; YOICHI, 1996).

Acredita-se que, com estas áreas em constante desenvolvimento, pode-se implementar procedimentos econômicos e produtivos para a atualização cartográfica, acoplados à Sistemas de Informações Geográficas, viabilizando projetos dessa natureza (AL-GARNI, 1996).

De acordo com LUGNANI (1985), na atualização cartográfica, quer se use técnicas convencionais ou recursos tecnológicos mais

avançados, ocorrem duas dificuldades principais que constituem pontos críticos, quais sejam: detectar as variações ocorridas no espaço objeto e preservar o apoio de campo. Sendo assim, propôs recursos para minimizar estas grandes dificuldades da atualização cartográfica. No que diz respeito à detecção das variações no espaço objeto foi proposto um dispositivo adaptável aos restituidores analógicos, semi-analíticos e analíticos que facilita a detecção. Quanto à preservação do apoio de campo, foi proposto o uso de feições para o estabelecimento do controle.

As propostas apresentadas por LUGNANI (1985) mostram a preocupação com esta tarefa inesgotável e que, em muitos casos, tem prioridade sobre a elaboração de novas cartas. Nota-se, portanto, que até hoje os principais avanços ainda são em termos de produção de mapeamentos, ou seja, as ferramentas mais modernas, elaboradas com o auxílio das novas e avançadas tecnologias, não trazem grandes avanços no que diz respeito à atualização de mapeamentos.

Atualmente, com o acentuado avanço tecnológico na área de Fotogrametria digital, pode-se perceber as facilidades para resolver problemas como os citados por LUGNANI (1985). Neste sentido, este trabalho propõe uma metodologia alternativa, para a atualização cartográfica, que utiliza uma fotografia aérea convencional, usada na elaboração do mapeamento existente desatualizado, e uma fotografia aérea digital (obtida a partir de uma câmara digital Kodak DC-210), visando extrair apenas as feições de interesse para a atualização cartográfica (novas), agilizando este processo.

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar uma metodologia alternativa para a atualização cartográfica, com vistas à economia e produtividade. Esta metodologia deverá ser fundamentada na integração de informações de diferentes épocas, ou seja, um aerolevante desatualizado com suas respectivas fotografias aéreas e, fotografias aéreas recentes obtidas com câmara fotográfica digital.

### 2.2 Objetivos Específicos

Pesquisar procedimentos alternativos para a detecção de alterações, a partir de modelos estereoscópicos híbridos;  
Realizar experimentos, com dados reais, que comprovem a eficiência da metodologia proposta, indicando suas aplicabilidades e restrições.

## 3 Atualização cartográfica por Fotogrametria

Os interesses dos usuários de cartografia são múltiplos, pois a diversidade de trabalhos executados com o auxílio do mapeamento é grande. Juntamente com a escassez de recursos financeiros em determinados trabalhos, este fato proporciona uma busca constante por métodos alternativos de atualização de mapeamentos, que nem sempre atendem os requisitos mais básicos da cartografia, deixando a desejar em termos de precisão e eficiência.

De acordo com LUGNANI (1985), fatos como este dão origem a um vasto espectro de procedimentos, onde muitos dos quais nem são de interesse, pela precariedade do produto, peculiaridade do tratamento ou ineficiência.

A evolução da Fotogrametria nos últimos anos, tem contado com significativa contribuição da Informática, uma vez que complexos cálculos matemáticos podem ser programados, obtendo bons resultados, principalmente em termos de redução de tempo e aumento de precisão nos trabalhos fotogramétricos.

De acordo com LUGNANI (1987), o desenvolvimento de equipamentos, programas e técnicas de modelagem de erros sistemáticos proporcionou sensível elevação da precisão e confiabilidade dos resultados obtidos em Fotogrametria.

Por ter fundamental importância na metodologia proposta neste trabalho, serão abordados, não só os aspectos semânticos da imagem, de interesse à detecção de alterações, mas também os aspectos geométricos da formação de modelos estereoscópicos em Fotogrametria, além da determinação da posição de feições de interesse.

## 4 Proposta metodológica

### 4.1 Formação de modelos híbridos

A estratégia da combinação de fontes diferentes de dados, para a formação de modelos estereoscópicos, foi originalmente mencionada por LUGNANI (1985), que utilizou um modelo estereoscópico híbrido a partir de duas fotografias obtidas com a mesma câmara, fotogramétrica convencional, diferindo apenas pela data de execução dos vôos.

A formação do modelo híbrido aqui proposto constitui-se no principal objeto de estudo deste trabalho, e deverá contribuir para o desenvolvimento de uma nova metodologia de atualização cartográfica.

A premissa básica deste trabalho é a utilização de um estereopar híbrido composto por uma fotografia aérea 23 x 23 cm (que foi utilizada no mapeamento a ser atualizado), digitalizada matricialmente, via scanner e, por uma imagem aérea digital recente.

A fotografia digital tem a geometria diferente da fotografia convencional. Parte-se do princípio de que os parâmetros de orientação, utilizados na formação do modelo estereoscópico convencional, que deu origem ao mapeamento a ser atualizado, são conhecidos e podem ser adotados como injeção para a formação do novo modelo (híbrido). Para isso, faz-se necessária a utilização de um algoritmo de orientação relativa dependente, considerando as variações da distância focal entre as câmaras.

De acordo com LUGNANI (1987), tomando-se um ponto **P** comum nas duas fotos, e utilizando-se o modelo matemático da equação de colinearidade, pode-se escrever duas equações ( $x_c, y_c$ ) para este ponto na foto convencional, como mostram as equações (1).

Equações (1):

$$x_c = c * \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y_c = c * \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

Onde:

$x_c$  e  $y_c$  são as fotocoordenadas (coordenadas de **P** no espaço imagem e no sistema fotogramétrico da fotografia convencional);  
 $c$  é a constante da câmara fotogramétrica convencional (distância focal calibrada);  
 $m_{ij}$  são os elementos da matriz de rotação, em função dos ângulos de orientação da câmara convencional ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ );  
 $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  são as coordenadas do centro perspectivo da câmara convencional;  
 $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  são as coordenadas do ponto **P** no espaço objeto e no sistema referencial estabelecido.

De acordo com AMORIM et al (1998), supondo-se que a fotografia convencional já foi orientada, quando da formação do modelo estereoscópico com as duas fotos convencionais, os elementos da matriz de rotação e as coordenadas do centro perspectivo dessa imagem são conhecidos. A imagem digital permite, entretanto, escrever mais duas equações ( $x_D$ ,  $y_D$ ) para o mesmo ponto, como segue:

Equações (2):

$$x_D = c_D * \frac{m'_{11}(X - X'_0) + m'_{12}(Y - Y'_0) + m'_{13}(Z - Z'_0)}{m'_{31}(X - X'_0) + m'_{32}(Y - Y'_0) + m'_{33}(Z - Z'_0)}$$

$$y_D = c_D * \frac{m'_{21}(X - X'_0) + m'_{22}(Y - Y'_0) + m'_{23}(Z - Z'_0)}{m'_{31}(X - X'_0) + m'_{32}(Y - Y'_0) + m'_{33}(Z - Z'_0)}$$

Onde:

$x_D$  e  $y_D$  são as fotocoordenadas (coordenadas de **P** no espaço imagem e no sistema fotogramétrico da foto digital);  
 $c_{>D}$  é a constante da câmara digital (distância focal calibrada);  
 $m'_{ij}$  são os elementos da matriz de rotação, em função dos ângulos de orientação da câmara digital ( $\omega'$ ,  $\phi'$ ,  $\kappa'$ );  
 $X'_{<0}$ ,  $Y'_0$ ,  $Z'_0$  são as coordenadas do centro perspectivo da câmara digital;  
 $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  são as coordenadas do ponto **P** no espaço objeto e no sistema referencial estabelecido.

Como já se conhece a posição real da câmara convencional, determinada na orientação absoluta original, resta determinar  $X'_0$ ,  $Y'_0$ ,  $Z'_0$ ,  $\kappa'$ ,  $\phi'$ ,  $\omega'$ .

Considerando que podem ser escritas 4 equações para cada ponto, tendo-se 6 pontos desconhecidos no espaço objeto, tem-se 24 equações e 18 incógnitas ( $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$ , ...,  $X_6$ ,  $Y_6$ ,  $Z_6$ ) mais as 6 anteriores ( $X'_0$ ,  $Y'_0$ ,  $Z'_0$ ,  $\kappa'$ ,  $\phi'$ ,  $\omega'$ ) totalizando 24 incógnitas.

Este procedimento resolve teoricamente o problema da orientação relativa dependente, faltando ainda conhecer um ponto de apoio ou uma distância para determinar a escala do modelo, executando assim as orientações relativa e absoluta simultaneamente.

## 4.2 Detecção de alterações

A metodologia proposta por LUGNANI (1985), trata da detecção de alterações através de modelos estereoscópicos, utilizando-se naquele momento, restituídores analógicos ou analíticos, e este foi um dos fatores que motivaram a execução destes experimentos. Pouco explorado, este é um dos procedimentos que foram objetos de estudo deste trabalho, objetivando agilizar os processos de atualização cartográfica.

Para a visualização estereoscópica faz-se necessária a utilização de algumas técnicas de separação das imagens, de tal forma que cada imagem seja vista por um dos olhos. Dentre as conhecidas técnicas de obtenção de visão estereoscópica, pode-se citar as técnicas de Estereoscópio de Espelhos, Cintilamento ou Luz Intermitente e Anaglifo.

De acordo com AMORIM et al (1999), após a realização de experimentos com estas três técnicas, observou-se que a diferença geométrica entre as fotografias, convencional e digital, prejudica significativamente a visualização estereoscópica. Além disso, o método por cintilamento, que mais se assemelha ao método proposto por LUGNANI (1985), não proporcionou bons resultados por causa da alta frequência do monitor do computador.

A partir dos resultados obtidos por AMORIM et al (1999), onde um modelo estereoscópico foi formado por anaglifo, pôde-se observar que a diferença geométrica, entre as imagens, prejudicou os resultados da visualização estereoscópica, mas em contrapartida nota-se que as feições novas podem ser identificadas.

Acredita-se que a diferença geométrica, que prejudica a visualização do modelo estereoscópico, possa ser minimizada executando-se, anteriormente à formação do modelo estereoscópico por anaglifo, os seguintes procedimentos:

Supondo-se o conhecimento prévio dos parâmetros de orientação exterior da fotografia aérea convencional, basta executar a orientação interior seguida do procedimento de retificação e reamostragem epipolar da mesma;  
 Executar a orientação relativa dependente da fotografia digital (nova), além da retificação e reamostragem epipolar.

Para satisfazer estas condições, identificar as feições que devem ser restituídas e finalmente testar a eficiência da metodologia proposta, foi desenvolvido um programa (SAM), na linguagem C++ em ambiente Borland C++ Builder.

## 5 Experimentos

### 5.1 Detecção de alterações a partir de um modelo estereoscópico anaglifo

O programa SAM foi desenvolvido com o objetivo de atualizar documentos cartográficos existentes. Sendo assim, partiu-se do princípio de que várias informações são conhecidas, tais como, os parâmetros de orientação exterior da fotografia convencional. Carregando-se as fotografias aéreas, convencional e digital, são executados os seguintes passos:

Fotografia convencional:

- Orientação interior
- Recorte da área de interesse (compatível com a fotografia digital)
- Retificação e reamostragem epipolar
- Disponibilização em tela.

Fotografia digital:

- Orientação interior
- Orientação relativa dependente
- Retificação e reamostragem epipolar
- Disponibilização em tela.



Fig.1 : Fotografias, convencional e digital, retificadas.

Com as duas fotografias retificadas, na tela, como mostra a Figura 254f1, pode-se montar o modelo anaglifo. Isto é feito escolhendo-se a opção "modelo anaglifo" do menu "Ferramentas" e indicando, com o cursor, um ponto na fotografia convencional, bem como o seu homólogo da fotografia digital. Assim, com o referido modelo disponibilizado em tela pode-se identificar as feições novas, como mostra a Figura 254f2.



Fig.2 : Modelo anaglifo para a detecção de alterações.

Como discutido anteriormente, a visualização tridimensional é possível neste caso, mas não é o fato mais importante, pois o grande objetivo é a simples identificação da nova feição, como pode ser observada na Figura 254f2. Nesta figura, a feição nova aparece destacada em vermelho, uma vez que suas componentes correspondentes em verde e azul não são encontradas na fotografia convencional.

Com a feição identificada pode-se escolher a opção "extrair feições", no menu de ferramentas do sistema, abrindo a janela de

extração de feições com as opções de "Terminar Feição", "Nova Feição" e "Finalizar Vetorização", como mostra a Figura 254f3.

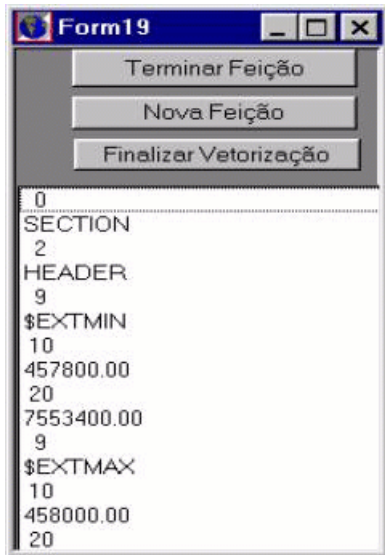


Fig.3 : Janela de extração de feições.

Coletadas as feições de interesse o arquivo deve ser finalizado e gravado, através da opção "Salvar Vetorização", dentro do menu "Arquivo". Com isso obtém-se o arquivo em formato DXF, que poderá ser importado em qualquer sistema de CAD.

## 5.2 Testes de precisão

Além do resultado visual, ou seja, a disponibilização das janelas com as imagens, recortadas, retificadas, geo-referenciadas e inclusive com a possibilidade de gravação em arquivo, é necessário que se tenha a confiabilidade métrica das coordenadas dos pontos que definem as feições restituídas, pois as mesmas deverão fazer parte de um mapeamento produzido segundo as normas de cartografia e aerolevantamento, em função da classe e da escala de restituição. Com o objetivo de testar a eficiência da metodologia proposta, alguns experimentos foram executados.

Como parâmetros de comparação e verificação dos resultados obtidos, estabeleceu-se uma rede geodésica com 31 pontos, como mostra a Tabela 1, executada com um GPS Trimble (4600). O método utilizado para levantamento foi o cinemático, partindo-se de um ponto conhecido (EP02) com coordenadas E= 457991.925 m, N=7553596.818 m e h= 441.127 m, referenciado ao SAD – 69.

TABELA 1 : Coordenadas dos pontos de apoio e verificação

Ponto	E (m)	$\sigma E$ (m)	N (m)	$\sigma N$ (m)	h (m)	$\sigma h$ (m)
EP02	457991.925	0.000	7553596.818	0.000	441.127	0.000
01	457957.046	0.004	7553615.625	0.044	440.249	0.019
02	457958.882	0.009	7553614.720	0.008	440.249	0.022
03	457949.635	0.011	7553596.644	0.010	440.918	0.026
04	457947.741	0.012	7553597.556	0.011	440.909	0.029
05	457892.995	0.011	7553483.142	0.011	443.494	0.029
06	457877.500	0.012	7553490.531	0.011	443.097	0.031
07	457866.865	0.017	7553539.324	0.016	440.323	0.046
08	457817.168	0.019	7553545.984	0.021	440.327	0.049
09	457974.768	0.018	7553653.988	0.018	440.728	0.036
10	457972.774	0.019	7553654.923	0.019	440.716	0.036
11	457888.884	0.011	7553852.333	0.012	432.924	0.043
12	457919.472	0.005	7553851.613	0.005	433.838	0.020
13	457920.154	0.005	7553906.440	0.005	431.918	0.021
14	458031.167	0.021	7553895.390	0.024	429.887	0.099
15	458051.765	0.003	7553959.588	0.004	424.133	0.016
16	458062.521	0.020	7553970.061	0.023	424.104	0.094
17	458045.971	0.021	7553987.709	0.025	424.149	0.100

18	458035.132	0.023	7553977.358	0.029	424.347	0.112
19	458058.004	0.001	7554029.210	0.001	421.341	0.006
20	458069.098	0.003	7553999.420	0.004	421.461	0.015
21	458087.166	0.015	7553995.760	0.019	419.936	0.071
22	458098.032	0.008	7553965.955	0.011	419.950	0.039
23	458220.077	0.018	7554054.531	0.019	406.690	0.057
24	458227.089	0.016	7554071.301	0.018	406.714	0.048
25	458314.738	0.018	7553967.469	0.021	406.778	0.052
26	458291.880	0.013	7553935.967	0.015	406.738	0.036
27	458420.515	0.001	7553791.550	0.001	403.719	0.002
28	458409.241	0.001	7553839.325	0.001	402.853	0.004
29	458143.343	0.001	7554261.400	0.001	401.841	0.003
30	458188.076	0.001	7554196.308	0.001	401.759	0.003
31	457447.353	0.001	7553893.703	0.001	415.968	0.002

Obs.:  $\sigma E$ ,  $\sigma N$  e  $\sigma h$  = desvio padrão, fornecidos pelo relatório do processamento.

Os pontos foram escolhidos de forma a dar uma certa rigidez geométrica à fotografia digital, quando utilizados como apoio, além de serem distribuídos de acordo com as características naturais encontradas nesta área, pois não foram utilizados pontos pré – sinalizados, como apoio ou mesmo para verificação.

Um fato relevante que deve ser observado foi que, nesta etapa, optou-se por escolher a maioria dos pontos diretamente no solo, evitando-se problemas com o posicionamento por GPS, assim como os desvios provocados pela projeção fotográfica nas construções, o que pode dificultar a pontaria do operador na hora de coletar as informações necessárias.

Neste experimento, embora apenas 1 ponto seja suficiente, foram utilizados os pontos 5, 13, 14, 26 e 31, como apoio para a orientação da fotografia digital retificada, da qual foram extraídas as coordenadas dos pontos aqui analisados.

A Tabela 2 mostra as coordenadas extraídas e as discrepâncias calculadas em relação às coordenadas dos pontos, obtidas por GPS (Tabela 1), bem como uma análise estatística de detecção de tendências e de precisão, considerando uma carta de Classe "A" em escala 1:5000 (escala do mapeamento a ser atualizado).

**Tabela 2** : Análise estatística

Ponto	E	N	dE	dN
1	457957,290	7553615,840	-0,244	-0,215
2	457961,140	7553613,580	-2,258	1,140
3	457951,390	7553594,750	-1,755	1,894
4	457947,560	7553596,260	0,181	1,296
6	457878,930	7553489,450	-1,430	1,081
7	457867,960	7553538,360	-1,095	0,964
8	457816,750	7553543,700	0,418	2,284
9	457976,320	7553652,760	-1,552	1,228
10	457974,540	7553654,270	-1,766	0,653
11	457887,640	7553852,010	1,244	0,323
12	457918,220	7553851,990	1,252	-0,377
15	458052,420	7553958,280	-0,655	1,308
16	458062,240	7553969,580	0,281	0,481
17	458047,540	7553987,700	-1,569	0,009
18	458036,190	7553976,400	-1,058	0,958
19	458058,590	7554028,900	-0,586	0,310
20	458068,050	7553998,990	1,048	0,430

21	458086,430	7553994,440	0,736	1,320
22	458098,190	7553965,020	-0,158	0,935
23	458220,150	7554052,780	-0,073	1,751
24	458226,070	7554069,330	1,019	1,971
25	458314,840	7553964,730	-0,102	2,739
Desv. Pad.			1,080	0,797
Média			-0,369	1,022
t(0,025;21)			2,080	2,080
t (E,N)			-1,604	6,014
QUIQUAD(21;0,9)		34,380	34,380	
QUIQUAD(E,N)		21,792	11,874	

Pode-se notar, pelos resultados da Tabela 2, que  $t(E,N) > t(0,025;21)$  na direção "N", o que mostra uma tendência neste caso, ou seja, estes resultados estão sendo afetados por um erro sistemático, mas por outro lado  $QUIQUAD(E,N) < QUIQUAD(21;0,9)$  mostrando que os pontos planimétricos testados estão dentro do intervalo de confiança de 90%.

Vale ressaltar que, na amostra analisada, os pontos de altitudes menores não foram considerados pelo fato das coordenadas planimétricas dos pontos de interesse terem sido coletadas diretamente sobre a fotografia digital retificada, sendo que, este procedimento faz com que as referidas coordenadas fiquem afetadas pelo desvio devido ao relevo.

Ao se trabalhar com um modelo estereoscópico híbrido, tem-se a vantagem de detectar as alterações, como foi mostrado na seção 5.1. Por outro lado, um ponto de interesse, pertencente a uma feição a ser extraída, que aparece na fotografia digital, não consta da fotografia convencional e este fato implica na impossibilidade de se utilizar a equação de colinearidade, na sua forma convencional, para a determinação das coordenadas do referido ponto no espaço objeto. Pois, as coordenadas desse ponto não podem ser determinadas no espaço imagem da fotografia convencional.

Quando se conhece a posição de um ponto ( $x_i$  e  $y_i$ ) na imagem) em apenas uma fotografia aérea e sua posição altimétrica aproximada  $Z_i$ , no espaço objeto, além dos parâmetros de orientação exterior da referida fotografia, pode-se determinar as coordenadas planimétricas deste ponto ( $X_i, Y_{>i}$ ), através do conhecido procedimento de monorestituição.

O modelo de monorestituição apresentado por MAKAROVIC (1973) apud LUGNANI (1985), propõe a utilização da coordenada  $Z_i$  extraída de um DTM (modelo digital de terreno) construído através das curvas de nível do mapeamento a ser atualizado, reproduzindo as coordenadas  $X_i$  e  $Y_i$ , através da projeção inversa da colinearidade, pela equação(3).

Equações (3):

$$X = \frac{m_{11} \cdot x_i + m_{12} \cdot y_i - m_{13} \cdot f}{m_{31} \cdot x_i + m_{32} \cdot y_i - m_{33} \cdot f} \cdot (Z_i - Z_{cp}) + X_{cp}$$

$$Y = \frac{m_{21} \cdot x_i + m_{22} \cdot y_i - m_{23} \cdot f}{m_{31} \cdot x_i + m_{32} \cdot y_i - m_{33} \cdot f} \cdot (Z_i - Z_{cp}) + Y_{cp}$$

Onde:

$x_c$  e  $y_i$  são as fotocoordenadas;

$f$  é a constante da câmara (distância focal calibrada);

$m_{ij}$  são os elementos da matriz de rotação, em função dos ângulos de orientação da câmara digital ( $\omega, \varphi, \kappa$ ):

$X_{cp}, Y_{cp}, Z_{cp}$  são as coordenadas do centro perspectivo da câmara, no referencial do espaço objeto;

$X, Y$  são as coordenadas do ponto  $P$ , no espaço objeto e no sistema de referência estabelecido (cartesiano tridimensional e dextrógiro);

$Z_i$  é a coordenada altimétrica aproximada do ponto  $P$  no espaço objeto.

Neste trabalho, utilizam-se fotografias retificadas, anulando os ângulos de orientação da câmara. Com isso, a matriz de rotação fica igual à matriz identidade, podendo-se escrever a equação (3) da seguinte forma:

Equações (4):

$$X = \frac{x_i}{-f} \cdot (Z_i - Z_{cp}) + X_{cp}$$

$$Y = \frac{y_i}{-f} \cdot (Z_i - Z_{cp}) + Y_{cp}$$

Nota-se que o termo  $Z_i$  é obtido por interpolação, e segundo LUGNANI (1985), isso é feito iterativamente, ou seja, estima-se uma coordenada  $Z_i$  inicial ( $Z_0$ ), e calculam-se as coordenadas  $X$  e  $Y$  iniciais, gerando  $X_0$  e  $Y_0$ .

Com as coordenadas  $X_0$  e  $Y_0$ , pode-se estimar uma nova coordenada altimétrica  $Z_1$ , e partir dela calcular  $X_1$  e  $Y_1$ . Nota-se que o processo deve se repetir até que as discrepâncias  $dX$  e  $dY$  se encontrem dentro de limites de tolerância aceitáveis, sendo que, as referidas discrepâncias são dadas pelas equações (5).

Equações (5):

$$dX = X_{t+1} - X_t$$

$$dY = Y_{t+1} - Y_t$$

A metodologia apresentada neste trabalho poderá ser complementada com a implementação da monorestituição, onde a coordenada altimétrica aproximada inicial ( $Z_0$ ) pode ser determinada a partir da interpolação das coordenadas altimétricas de pontos, que constem das duas fotografias, nas proximidades da feição de interesse a ser extraída.

## 6 Conclusões e recomendações

As técnicas fotogramétricas foram e ainda são muito utilizadas na construção de mapeamentos, mas não se pode dizer o mesmo quando o assunto é atualização cartográfica. Sendo assim, esta foi uma das principais motivações que levaram à realização deste trabalho.

A proposta inicial deste trabalho foi a integração de várias fontes de informações para a idealização de uma proposta metodológica que possibilitasse a atualização cartográfica com confiabilidade e redução de custo. Esta redução de custo é proporcionada principalmente pela utilização de materiais existentes aproveitando o máximo de informações possíveis, e também pela implementação de rotinas de fácil utilização que levem à redução de tempo de trabalho.

Quanto à utilização da fotografia aérea convencional, do mapeamento desatualizado, pôde-se notar pela metodologia implementada que a mesma foi de fundamental importância na detecção de alterações.

Quanto à utilização da fotografia aérea digital, além de ser fundamental na detecção das alterações, nota-se que a mesma tornou-se a principal fonte de informações para extrair as feições que atualizam o mapeamento em questão.

Mostrou-se neste trabalho uma nova técnica de detecção de alterações, através da construção de um modelo estereoscópico por anaglifo, onde se faz uma fusão dos canais G e B da fotografia aérea convencional retificada com o canal R da fotografia aérea digital retificada. Este modelo por anaglifo destaca, em vermelho, as feições novas a serem restituídas, produzindo um resultado satisfatório.

Um fato relevante que deve ser citado é o problema do desvio devido ao relevo, que altera significativamente os resultados quando são considerados os pontos que possuem coordenadas altimétricas muito distantes do plano médio adotado, pois foram obtidas apenas as coordenadas planimétricas, diretamente sobre a fotografia digital retificada.

Este problema pode ser solucionado pela utilização de um modelo de monorestituição, como foi discutido na seção 5.2, determinando-se as coordenadas plani-altimétricas de um ponto, conhecendo-se as suas coordenadas de imagem em apenas uma fotografia e sua coordenada altimétrica aproximada (no espaço objeto).

## 7 Referências bibliográficas

AL-GARNI, A. *Urban photogrammetric data base for multi-purpose cadastral based information system: the Riyadh city case*. ISPRS Journal Photogrammetry & Remote Sensing. Vol. 51, February, 1996. p- 28-38.

AMORIM, A. et al *Integração Geométrica de Imagens Multitemporais Objetivando a Atualização Cartográfica*. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, 3º, 1998, Florianópolis – SC. Anais/CD.

AMORIM, A. et al *Detecção semi-automática de alterações usando estéreo – pares híbridos*. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19º, 1999, Recife - PE. Anais/CD.

GRUEN, A. *Digital photogrammetric stations revisited*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS. Commission - II. Viena, Austria. 1996. p.127-134.

LUGNANI, J. B. *Aprimoramentos para a atualização cartográfica*. Universidade Federal do Paraná -UFPR. Curitiba PR, 1985. (Tese de Livre Docência).

LUGNANI, J. B. *Introdução à Fototriangulação*. UFPR. Curitiba PR, 1987. 134p.

MAKAROVIC, B. *Digital mono-plotters*. ITC Journal, 1973. p.583-599.

MILLER, S. B. et al *Automation in digital photogrammetric systems*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS. Commission - II. Viena, Austria. 1996. p.250-255.

YOICHI, O. *Semi-Automatic digital photogrammetric system on PC*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS. Commission - II. Viena, Austria. 1996. p.288-293.