

Monorestituição Digital de Aerofotos Aplicada no Mapeamento Florestal de Talhões

Edson A. Mitishita ¹
 Flávio F. Kirchner ²
 Marcos Benedito Schimalski ¹
 Sérgio José Trevizan ³

Universidade Federal de Paraná

¹ Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

² Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

³ Curso de Engenharia Cartográfica

¹ ✉ mitishit@geoc.ufpr.br

² ✉ kirchner@floresta.ufpr.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Monorestituição
	3 Materiais
	4 Orientações Fotogramétricas
	4.1 Orientação Interior
	4.2 Pontos de apoio
	4.3 Orientação exterior
	5 Informação Altimétrica
	6 Digitalização
	7 Retificação Planimétrica
	8 Verificações
	9 Conclusões
	10 Referencias Bibliográfica

Resumo : O desenvolvimento de técnicas e procedimentos de mapeamento a partir de imagens digitais tem permitido maiores facilidades na obtenção de informações espaciais para várias aplicações de engenharia. O conhecimento dos limites que definem os talhões num sistema de projeção cartográfico e suas respectivas áreas efetivas de plantio são imprescindíveis para o gerenciamento das informações florestais nos dias atuais. O tempo e custos despendidos nos mapeamentos baseados em técnicas topográficas e de aerofotogrametria convencional têm encorajado as empresas florestais a procurar novas técnicas de mapeamento. Os Cursos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná vêm trabalhando no desenvolvimento da monorestituição digital para fins de mapeamento florestal. O presente trabalho tem por objetivo de apresentar os procedimentos práticos e operacionais e resultados obtidos na aplicação da monorestituição digital no mapeamento de talhões, a partir de aerofotos digitalizadas (scanning) na escala de 1/25000 e resolução do "pixel" o valor de 0,025 mm. Para tornar o procedimento economicamente mais viável, utilizou-se das melhores cartas existentes na região para a obtenção das informações de relevo e os pontos de apoio.

Palavras chave : Fotogrametria Digital, Monorestituição, Mapeamento Florestal

Abstract : The development of techniques and mapping procedures using digital images have been allowing better ways in obtaining spatial information for different engineering applications. The definition of the limits that define the forest stands in a cartographic projection system and its respective areas of effective planting are indispensable for the management of the forest information nowadays. Time and costs involved in conventional mapping procedures, being topographic or photogrammetric techniques, have led the forest companies to seek new mapping techniques. The Graduate Courses in Geodetic Sciences and Forest Engineering of the Federal University of Paraná are working in the development of digital differential monorestitution procedures for forest mapping purposes. The present work has as a objective to present practical and operational procedures obtained in the application of the digital monorestitution in the mapping of forest stands, by means of scanned airphotos in the scale of 1/25.000 with pixel resolution of 0,025mm. To turn out this procedure economically viable, the best existing maps were used to obtain the relief information and control points.

Keywords : Digital Photogrammetric, Differential Monorestitution, Forest Mapping

1 Introdução

Como o desenvolvimento das técnicas automáticas de gerenciamento operacional da produção florestal, as Empresas Florestais vem, cada vez mais, necessitando de informações espaciais digitais de suas áreas de reflorestamento.

Os limites que definem os talhões num sistema de projeção cartográfico e suas respectivas áreas efetivas de plantio são informações necessárias e imprescindíveis para a implantação de um sistema automático de gerenciamento da produção florestal. A estereorestituição aerofotogramétrica tem sido uma das técnicas empregadas para esta aplicação. Porém, a sua operação necessita de técnicos altamente qualificados e de equipamentos fotogramétricos de elevados custos, dificultando a sua realização nos pequenos e médios projetos de mapeamento.

Atualmente, com os avanços da informática, a monorestituição de aerofotos digitais é uma técnica fotogramétrica de obtenção de mapeamento planimétrico digital que vislumbra uma grande aplicação. Tendo como principais vantagens a facilidade operacional e menor custo de equipamentos, quando comparada com o método estereofotogramétrico, a obtenção de mapeamento planimétrico pode ser otimizada, no que se refere a menor custo e tempo na execução de um projeto.

Os trabalhos fotogramétricos baseados na visão monocular apresentam vantagens e desvantagens em relação aos realizados com a visão estereofotogramétrica. A adequação de técnicas e procedimentos fotogramétricos que visem a maximização de benefícios e minimização de custo e tempos na obtenção das informações espaciais tem sido um dos pré-requisitos para a execução dos trabalhos cartográficos nos dias atuais.

Nesse trabalho, apresentamos os resultados obtidos da aplicação da monorestituição digital para a realização de mapeamento de talhões de reflorestamento, tendo como base o aproveitamento de informações cartográficas existentes na área florestal, visando, principalmente a aplicação da metodologia na atualização do mapeamento florestal existente.

2 Monorestituição

A monorestituição pode ser definida como um procedimento fotogramétrico que possibilita a obtenção de mapeamento planimétrico digital a partir da digitalização monoscópica de entidades numa aerofoto.

Estando esta técnica no domínio puramente analítico, verifica-se de uma maneira geral, que se trata da aplicação de um conjunto de transformações de coordenadas entre os espaços da imagem e da superfície do modelo de referência e superfície de projeção.

A fundamentação matemática da transformação principal está baseada na proposta apresentada por **Makarovic, 1973**, que consiste em transformar as coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) , de pontos observados na aerofoto, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L) , utilizando-se das equações de colinearidade inversa e de modelamento matemático de superfícies (D.T.M. – “digital terrain model”), conforme mostrado na equação (01).

$$\begin{aligned} X_L &= X_0 + (Z_L - Z_0) \frac{m_{11} x_p + m_{21} y_p + m_{31} c}{m_{13} x_p + m_{23} y_p + m_{33} c} \\ Y_L &= Y_0 + (Z_L - Z_0) \frac{m_{12} x_p + m_{22} y_p + m_{32} c}{m_{13} x_p + m_{23} y_p + m_{33} c} \end{aligned} \quad (1)$$

Para a realização desta transformação, denominada de “retificação planimétrica”, tem-se a necessidade de parâmetros de orientação exterior e interior da aerofoto e de um Sistema de Modelamento Digital de Superfícies (D.T.M.), que possibilita a interpolação da coordenada altimétrica (Z_L) em função das coordenadas planimétricas do ponto. Os valores finais das coordenadas planimétricas são determinados, dentro de uma dada precisão, por um processo iterativo. Maiores detalhes podem ser encontrados em (MITISHITA, 1997).

Para o desenvolvimento da técnica de monorestituição foi desenvolvido na UFPR, curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, o sistema fotogramétrico digital, denominado de Monorestituído Digital. Neste sistema, têm-se os procedimentos básicos da fotogrametria analítica associados com a utilização de aerofotos digitais e sistema de computação gráfica CAD (computer aided design), visando à execução de procedimentos fotogramétricos, num simples microcomputador PC e observações monoscópicas de aerofotos digitais.

A realização de um trabalho fotogramétrico, pode ser subdividida em dois subsistemas distintos. O primeiro, utilizando-se dos programas CAD – MicroStation Pc, Descartes e rotinas desenvolvidas em MDL, realizam-se as observações fotogramétricas nas aerofotos digitais, tais como: leitura de marcas fiduciais, leitura de pontos fotogramétricos para aerotriangulação, leitura de pontos de apoio para as orientações de fotos ou modelos, perfilagem de pontos, digitalização de entidades cartográficas, etc. O Segundo, o Sistema MonoRestituído Digital propriamente dito, desenvolvido com as ferramentas de programação DELPHI, trata as informações obtidas no primeiro subsistema, processando os dados e matematicamente obtém-se os trabalhos fotogramétricos apresentados no item 4.0. Maiores detalhes podem ser encontrados em (MITISHITA, 1999).

3 Materiais

Para a realização desta pesquisa foi utilizada uma aerofoto na escala de 1/25.000, tomada com uma câmara aerofotogramétrica ZEISS RMK A 15/23, com quatro marcas fiduciais e cone grande angular com distância focal calibrada de 152,586 mm.

A região trabalhada está situada no município de Jaguariaíva, Paraná, área de reflorestamento da Empresa Florestal Pisa S.A.

A imagem analógica foi transformada para digital no “scanner” fotogramétrico (RM-1 Rastermaster Photoscanner Wehrli) da Empresa Engefoto S.A., com dimensão do “pixel” de 0,025 mm.

As informações altimétricas e coordenadas planialtimétricas dos pontos de apoio foram obtidas de mapeamento digital planialtimétrico na escala de 1/10.000, existente na região de propriedade da Empresa Pisa S.A. Este conjunto de materiais foi cedido pela Empresa Pisa S.A. para o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para a realização de pesquisas florestais.

4 Orientações Fotogramétricas

Os principais resultados obtidos nas determinações dos parâmetros necessários as orientações fotogramétricas empregadas no processo da Monorestituição Digital são apresentados a seguir.

4.1 Orientação Interior

Consiste basicamente no ajustamento do modelo matemático a ser empregado na transformação de coordenadas observadas no referencial gráfico (UOR – Unit Of Resolution) para o referencial fiducial.

Tendo-se as coordenadas das quatro marcas fiduciais nos referenciais gráfico e fiducial e utilizando a transformação afim geral no plano, realizou-se a determinação dos parâmetros por ajustamento MMQ (ver, MITISHITA, 1997). Os resultados obtidos são apresentados na tabela 01.

Tabela 01 – Resultados obtidos no ajustamento da transformação

Ajustamento MMQ – Determinação dos Parâmetros				
Ref. de Máquina			Ref. Fiducial	
Marca	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
01	0,005	0,018	0,001	0,002
02	0,005	0,018	0,001	0,002
03	-0,005	-0,018	-0,001	-0,002
04	-0,005	-0,018	-0,001	-0,002
a = -0,9999 ± 0,00018			b = -0,0048 ± 0,00018	
c = 231,6658 ± 0,0142			d = 0,0045 ± 0,00018	
e = -1,0003 ± 0,00018			f = 114,5376 ± 0,014	

4.2 Pontos de apoio

Nesse trabalho utilizou-se como pontos de apoio, alguns detalhes foto identificáveis nas aerofotos que permitissem facilidades e precisões na realização das observações fotogramétricas e também que fossem possíveis a sua identificação e a obtenção precisa de suas coordenadas cartográficas (E,N,H) no mapeamento digital existente na área.

Essa etapa de trabalho foi considerada a mais trabalhosa e que apresentou grandes dificuldades, pois o mapeamento planialtimétrico não representava precisamente todas as entidades planimétricas visíveis nas aerofotos. As estradas restituídas e alguns limites de talhões foram representados no mapeamento existente, através de uma linha passante pelo eixo central da entidade. Dessa forma, em algumas regiões da aerofoto, teve-se grandes dificuldades para a definição de um detalhe planimétrico pontual como ponto de apoio. A figura 01 mostra a distribuição dos pontos de apoio identificados na aerofoto. Os detalhes foto identificados foram, geralmente os cantos de talhões e cruzamento de estradas e caminhos perfeitamente visíveis.

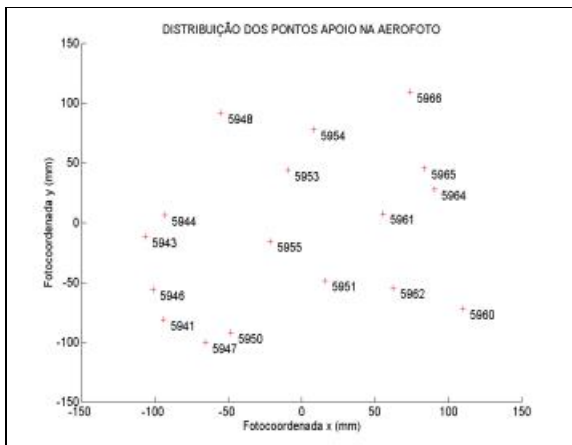


Fig. 1 : Distribuição de pontos de apoio na aerofoto trabalhada

4.3 Orientação exterior

Consiste na determinação dos parâmetros de orientação exterior ($\chi, \varphi, \omega, X_0, Y_0, Z_0$) da aerofoto a ser monorestituída. Tendo-se as coordenadas dos pontos de apoio no referencial fotogramétrico e no geodésico cartesiano local e utilizando o modelo matemático básico, as equações de colinearidade na forma direta, os parâmetros matemáticos são determinados por meio de um ajustamento MMQ (ver, MITISHITA, 1997). Na tabela 02 são apresentados os resultados obtidos no ajustamento.

O erro médio obtido em planimetria está acima de valor aceitável, considerando-se os valores toleráveis iguais a 1,25 m em planimetria e 0,75 m em altimetria (obtidos em função da escala média da aerofoto e valores admissíveis erros nas observações iguais a 0,050 mm e 0,030 mm). Este valor de erro acima do limite tolerável esta ligado com a dificuldade de obter as coordenadas dos pontos de

apoio no referencial geodésico, devido a falhas de representação no mapeamento digital existente na região.

Tabela 02 – Resultados obtidos no ajustamento MMQ – Orientação exterior

Ajustamento MMQ – Resíduos nos pontos de apoio			
Nº do Ponto	Resíduo em X (m)	Resíduo em Y (m)	Resíduo em Z (m)
5960	-0,411	-0,656	0,665
5964	-0,949	0,404	-0,377
5965	0,399	1,330	-0,707
5953	-0,754	1,902	-0,213
5954	1,790	1,034	0,791
5951	-1,783	1,570	0,428
5946	1,020	-0,343	-0,501
5943	1,221	-0,717	-0,457
5944	1,320	-1,739	-0,842
5962	1,661	-1,502	-0,081
5950	-0,470	-0,856	-0,062
5948	1,287	0,477	0,977
5961	-0,522	1,125	-0,445
5947	-1,333	-1,472	0,051
5966	-1,362	-1,244	-0,188
5941	-0,710	1,044	0,982
5955	-0,405	-0,358	-0,021
Erro médio	1,570	1,604	0,743

Parâmetros de Orientação Exterior – Determinados	
$\chi = 4,5895195 \pm 0,0003388$	$X_0 = 394,977 \pm 4,7667$
$\varphi = -0,0154901 \pm 0,0009826$	$Y_0 = 940,113 \pm 4,6586$
$\omega = -0,0159894 \pm 0,0009019$	$Z_0 = 4888,787 \pm 1,5350$

5 Informação Altimétrica

As informações de relevo necessárias à retificação planimétrica de pontos observados na aerofoto, conforme mostrado no item 02, foram obtidas das curvas de nível digital existente no mapeamento existente na área. O mapeamento digital na escala de 1/10.000, possui curvas de nível com intervalo de 1,0 metro de equidistância vertical.

Desse arquivo digital foi obtido um conjunto de 31.100 pontos que fazem parte da representação vetorial das curvas de nível. Utilizando-se o programa de modelamento matemático de superfície “SURFER 7.0”, obteve-se a malha regular de pontos com intervalo de 100 metros (conjunto de 11.000 pontos), visando uma melhor distribuição de pontos altimétricos na região a ser trabalhada, pois pontos altimétricos vindos de curvas de nível apresentam uma distribuição espacial irregular, não adequada para o gerenciamento dos dados no sistema fotogramétrico MonoRestituído Digital. A figura 02 mostra a variação média do relevo existente na região trabalhada.

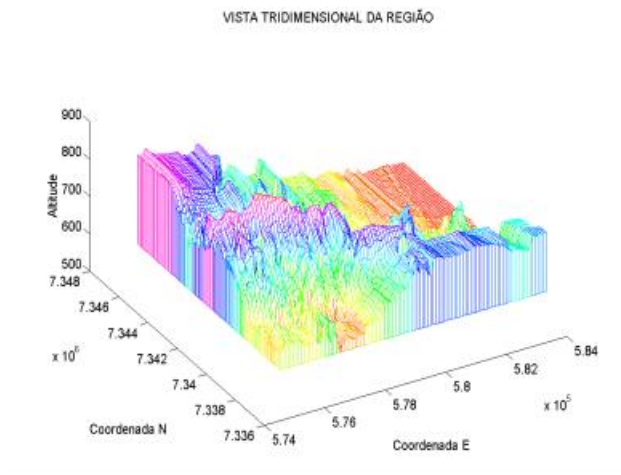


Fig. 2 : Vista tridimensional da região trabalhada

6 Digitalização

Com sistema gráfico MicroStation PC e programa Descartes, a aerofoto digital foi posta no vídeo. Empregando os comandos de criação de elementos gráficos (linestring), realizou-se a restituição monoscópica das divisas de talhões e principais estradas visíveis na aerofoto.

Algumas divisas de talhões existentes nas bordas da aerofoto, devido à projeção central, apresentaram dificuldades para a realização da digitalização, pois estavam encobertas pelas copas das árvores. A figura 03 mostra as principais entidades planimétricas digitalizadas na aerofoto.

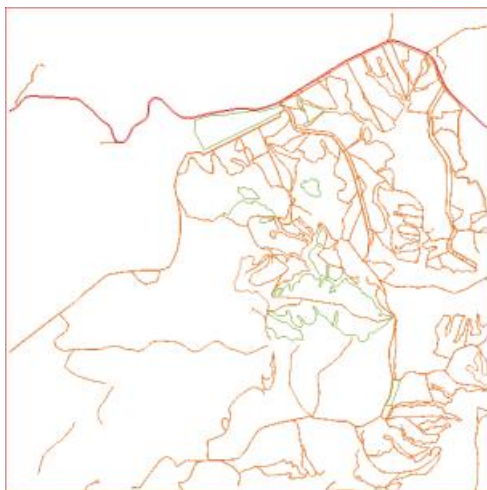


Fig. 3 : Principais entidades planimétricas digitalizadas

7 Retificação Planimétrica

Empregando-se a formulação matemática apresentada no item 02, os parâmetros matemáticos determinados no item 04 e as informações de relevo obtidas no item 05, realizou-se a transformação do arquivo gráfico, proveniente da digitalização, para o sistema de projeção adotado no projeto (UTM).

Foram retificados 22.271 pontos que perfazem um total de 11.135 elementos gráficos. A figura 04 mostra o arquivo gráfico retificado.

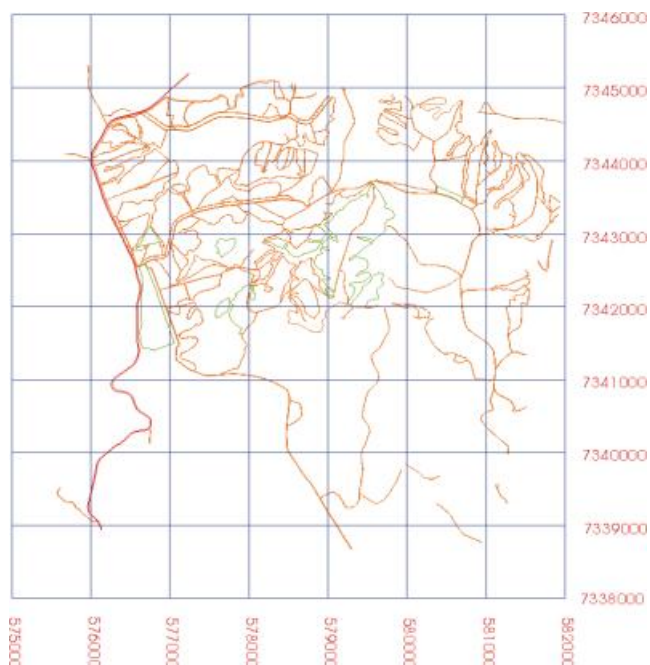


Fig. 4 : Arquivo gráfico retificado, obtido com a monorestituição

8 Verificações

Os resultados obtidos no mapeamento de talhões com o procedimento da monorestituição digital foram comparados com o mapeamento digital existente na região. Os elementos comparados foram distâncias lineares existentes entre dois pontos e áreas de talhões de elementos fechados, perfeitamente identificáveis na aerofoto e na carta digital.

Para se ter elementos de comparação, admitiu-se que os valores lineares e de área, calculados com a carta digital existente na região são exatos, portanto isentos de erros.

As tabelas 03 e 04 mostram os valores obtidos com a comparação de elementos lineares e de áreas calculados, utilizando-se a carta obtida com a monorestituição e a existente na região.

Tabela 03 – Mostra os resultados encontrados com a comparação de elementos lineares

Comparação de elementos lineares		
Monorest. (m)	Mapeamen. (m)	Diferenças (m)
318,67	316,39	2,28
145,98	141,53	4,45
806,55	803,26	3,29
478,97	474,33	4,64
212,27	211,87	0,40
342,90	341,74	1,16
208,52	203,58	4,94
255,22	251,57	3,65
488,58	484,21	4,37
376,54	373,59	2,95
108,11	107,29	0,82
721,53	720,69	0,84
398,15	393,20	4,95
342,90	342,74	0,16
223,26	224,25	0,99
	Valor médio	2,66

Tabela 04 – Mostra os resultados encontrados com a comparação de elementos de área

Comparação de elementos de área			
Mapeament. (ha)	Monorest. (ha)	Diferença (há)	Diferença (%)
7,245599	7,521816	-0,276217	3,81
3,218575	3,186244	0,032331	1,00
9,640883	9,654321	-0,013438	0,14
7,332406	7,153349	0,179057	2,44
5,120244	5,193809	-0,073565	1,44
4,324202	4,543435	-0,219233	5,07
6,947504	7,023921	-0,076417	1,10
1,928231	1,891371	0,036860	1,91
6,163991	6,305084	-0,141093	2,29
2,397803	2,358784	0,039019	1,63
1,581005	1,520501	0,060504	3,83
9,651104	9,582291	0,068813	0,71
2,341437	2,336962	0,004475	0,19
0,912416	0,908505	0,003911	0,43
2,652168	2,806914	-0,154746	5,83
	Erro Médio Abs.	0,091978	2,12

Os resultados apresentados nas tabelas 03 e 04 mostram uma avaliação das precisões obtidas no mapeamento de talhões com a utilização da monorestituição e apoio de carta. O valor médio das diferenças obtidas na comparação de medidas lineares está acima do limite tolerável, considerando a precisão de um levantamento aerofotogramétrico convencional. Como já mencionado, a dificuldade de definição dos detalhes fotogramétricos (pontos de apoio) na carta digital existente, pode ser considerada como sendo a principal causa de imprecisão nesse trabalho.

As diferenças obtidas na comparação das áreas de talhões perfeitamente identificáveis no mapeamento digital existente e no proveniente da monorestituição são apresentadas na tabela 04. Os fatores que influenciaram o erro admissível da área de um talhão, sendo seus limites perfeitamente identificáveis foram: o erro padrão das coordenadas dos vértices da poligonal que definem a sua área, o tamanho do talhão, a forma do talhão e do número de vértices que definem a sua forma (Ver ANDRADE e MITISHITA, 1987).

O código Civil Brasileiro exige, em seu artigo 1136, que o erro na determinação da área de um imóvel não seja superior a 5% (cinco por cento) da extensão total real. Levando-se em conta essa premissa, verificou-se que o erro médio obtido na determinação de áreas dos talhões encontra-se dentro de precisões aceitáveis.

Na área florestal, as modernas técnicas de gerenciamento e planejamento de produção florestal, têm exigido, cada vez mais, maiores exatidões na determinação de áreas efetivas de plantio no talhão, podendo em algumas aplicações este erro médio de 5% não ser suficiente às necessidades da organização.

9 Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho nos mostram a viabilidade prática e operacional da monorestituição no mapeamento florestal de talhões.

A facilidade operacional ficou evidenciada, pois todos os procedimentos operacionais foram realizados por um aluno de graduação em Engenharia Cartográfica, sem nenhuma habilidade prática na execução de trabalhos fotogramétricos, sendo necessário os treinamentos básicos do sistema e fotogrametria elementar.

As informações cartográficas existentes na região podem perfeitamente ser utilizadas, principalmente as informações de relevo, minimizando os custos para a realização de trabalhos.

Foram encontradas dificuldades na identificação de detalhes fotogramétricos na carta digital existente da região trabalhada. A definição de apoio a partir de mapeamento existente é uma etapa de trabalho que apresenta dificuldades, pois os detalhes existentes no mapa nem sempre são coincidentes, devido principalmente a desatualização da cartografia. As exatidões obtidas com esta metodologia são inferiores, entretanto para determinadas aplicações são perfeitamente aceitáveis. Atualmente, o levantamento de pontos de apoio com a utilização de posicionamento geodésico GPS, pode ser a alternativa a ser empregada nesta etapa de trabalho, visando à obtenção de melhores resultados.

Dificuldades, também foram encontradas na identificação de alguns limites de talhões. Devido à projeção central, e pelo fato da monorestituição utilizar fotos isoladas, alguns limites ficaram encobertos pelas copas das árvores, principalmente nas bordas. Este problema pode ser contornado com a restituição de somente a área central da aerofoto ou a utilização de câmaras normais no

10 Referencias Bibliográfica

ANDRADE, José Bittencourt; MITISHITA, Edson. A. **Determinação do Erro Padrão das Coordenadas dos Vértices da Poligonal que Definem uma Área, em Função do Erro Padrão Admissível da Área.** I Seminário de Cadastro Técnico Rural e Urbano - SENCRETU. ITC 1987. Curitiba - Paraná.

MAKAROVIK, B., 1973. **Digital Mono-Ploters.** I.T.C. Journal, Vol. 1 p. 101-122.

MITISHITA, Edson. A. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na Área Florestal.** Curitiba, 1997. Tese (Doutoramento em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MITISHITA, Edson. A.; MACHADO, Álvaro, M. L. **Sistema Monorestituidor Digital.** XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, 1999. Anais do Congresso – Fotogrametria.