

Análise do Potencial da Monorestituição Digital Aplicado à Imagem Multiespectral Daedalus ATM e Aerofoto Métrica Integrado ao Laser Scanning

Mestranda Vivian de Oliveira Fernandes ¹
Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita ²
Prof. Dr. Ing. Hans-Peter Bähr ³
Dr. Ing. Thomas Vögtle ⁴

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis/SC
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – ECV
Mestrado em Cadastro Técnico Multifinalitário
vivideof@hotmail.com

³ Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba/PR
Programa de Pós- Graduação em Ciências Geodésicas
mitishit@geoc.ufpr.br

^{3,4} Karlsruhe Universität – Karlsruhe/ Alemanha
Institut für Photogrammetrie ind Fernerkundung – IPF
³ baehr@ipf.uni-karlsruhe.de , ⁴ voegtle@ipf.uni-karlsruhe.de

RESUMO : Com o desenvolvimento das técnicas de mapeamento fotogramétrico de baixo custo baseado na Monorestituição Digital, a utilização de imagens digitais provenientes de sensores multiespectrais, aerofotos métricas e associação ao sistema de Laser Scanning tornaram-se alternativas para obtenção de informações da superfície terrestre em várias aplicações nas Engenharias. Com isso, os profissionais da área de Fotogrametria vem estudando novas possibilidades para melhorar os procedimentos realizados. Com esta intenção, neste trabalho é proposto o estudo da Monorestituição aplicado a Imagem Multiespectral Daedalus ATM, comparando seus resultados com a Monorestituição de uma Aerofoto Métrica, efetuando a integração do Modelo Digital do Terreno a partir do Laser Scanning, que fornece uma alta resolução altimétrica.

Palavras-chaves : Daedalus, Monorestituição, Laser Scanning.

ABSTRACT : With the development of the techniques of mapping low cost Photogrammetric based on Digital Monoplotting, the use of coming digital images of sensor multiespectral, metric aerial images and association to Laser Scanning system became alternatives for obtaining of information of the terrestrial surface in several applications in the Engineerings. With that, the professionals of the area of Photogrammetry are studying new possibilities to improve the accomplished procedures. With this intention, in this work the study of applied Monoplotting is proposed the Image Multiespectral Daedalus ATM, comparing their results with Monoplotting of a metric aerial image and with Cadastral Map, making the integration of the digital terrain model starting from the Laser Scanning, that supplies a high precision altimetric precision.

Keywords : Daedalus, Monoplotting, Laser Scanning

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das técnicas de mapeamento fotogramétrico de baixo custo baseado na Monorestituição Digital, a utilização de imagens digitais provenientes de sensores multiespectrais, aerofotos métricas e associação ao sistema de Laser Scanning tornaram-se alternativas para obtenção de informações da superfície terrestre em várias aplicações nas Engenharias.

Com isso, os profissionais da área de Fotogrametria vem estudando novas possibilidades para melhorar os procedimentos realizados. Com esta intenção, neste trabalho é proposto o estudo da Monorestituição aplicado a Imagem Multiespectral Daedalus ATM, comparando seus resultados com a Monorestituição de uma Aerofoto Métrica, efetuando a integração do Modelo Digital do Terreno a partir do Laser Scanning, que fornece uma alta resolução altimétrica.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

2.1.1 Conceitos teóricos

Foi MAKAROVIC (1973) quem idealizou o processo de monorestituição digital, utilizando as equações de colinearidade inversa e modelamento matemático da superfície para transformar as coordenadas de terreno no referencial geodésico cartesiano tridimensional local. A obtenção do mapa se dá quando estas coordenadas são transformadas para o referencial de um sistema de projeção cartográfica.

Isto é realizado por um processo iterativo, que compreende as seguintes fases:

- a) com a resseção espacial, calculam-se ângulos de rotação e posição da câmara;
- b) com as coordenadas fotogramétricas do ponto digitalizado, a equação de colinearidade inversa e o valor aproximado da altitude, calcula-se as coordenadas planimétricas aproximadas do ponto no referencial do espaço objeto adotado;
- c) com as coordenadas planimétricas aproximadas, determina-se a cota do ponto no DTM;
- d) com a equação de colinearidade inversa e a cota determinada do ponto, calcula-se novas coordenadas planimétricas do ponto no referencial adotado;
- e) com as novas coordenadas planimétricas calcula-se uma nova cota do ponto, sendo que esta última é utilizada juntamente com a equação de colinearidade inversa, a fim de obter novas coordenadas planimétricas.

Como este é um processo iterativo, as fases c e d são repetidas até que a diferença entre as coordenadas planimétricas calculadas alcance a precisão desejada.

2.1.2 Sistema Monorestituído Digital

O Sistema Monorestituído Digital (SMD), desenvolvido por MITISHITA (1997), realiza a monorestituição digital da área de interesse. Este aplicativo tem por base um sistema de computação gráfica CAD (*Computer Aided Design*), que fornece as ferramentas gráficas para a produção do arquivo gráfico na forma vetorial, visualização da imagem digital e o gerenciamento, manipulação e edição de entidades já digitalizadas; e um sistema de modelamento numérico de superfície para a determinação da coordenada altimétrica do ponto a ser retificado. Os procedimentos para efetuar a monorestituição digital no SMD, são mostradas a seguir:

- a) Orientação interior da foto;
 - obtenção dos parâmetros geométricos da câmara;
 - observação das marcas fiduciais;
 - determinação dos parâmetros de transformação e análise dos resultados;
 - transformações matemáticas e correção dos erros sistemáticos nas observações fotogramétricas.
- b) Orientação espacial aproximada da foto digital;
- c) Orientação espacial exata da foto digital;
- d) Obtenção das informações altimétricas da região a ser monorestituída;
- e) Digitalização das entidades gráficas de interesse;
- f) Transformação entre referenciais do espaço imagem, espaço objeto e do sistema de projeção;
- g) Procedimentos finais para elaboração da carta plani-altimétrica.

2.2 FUNDAMENTOS DE LASER SCANNING

O *Laser Scanning* é um sistema de sensoriamento remoto ativo que permite determinar a elevação da superfície do terreno e os objetos presentes nela. O resultado destes levantamentos é representado geralmente sob forma de uma grade raster, que pode ser analisada usando as técnicas de processamento digital de imagens. A identificação de objetos nas imagens, no entanto, merece uma atenção especial, pois a natureza da informação nelas contida é diferente das imagens associadas às faixas do visível e do infravermelho tradicionalmente analisadas (MIQUELES, 2003).

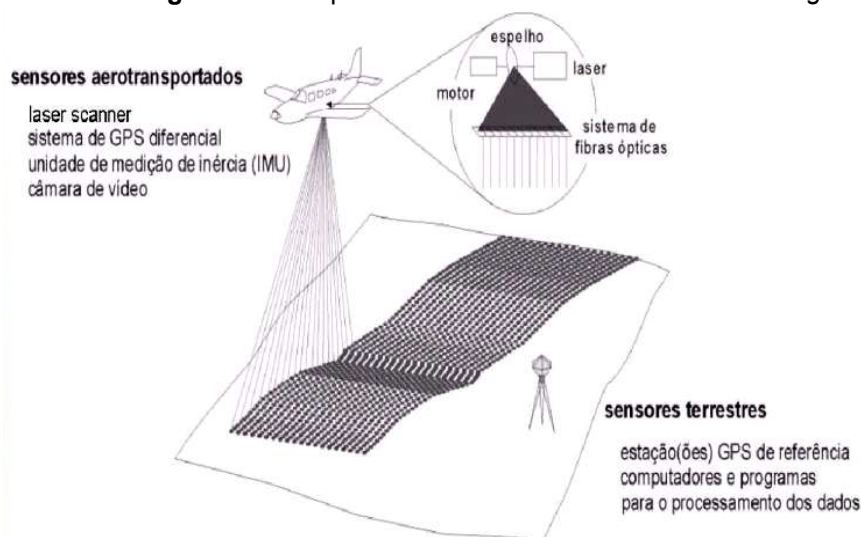
Um sistema *Laser Scanning* pode ser instalado em diferentes plataformas, sejam estas aviões (caso que é tratado neste trabalho) ou até mesmo veículos automotivos e plataformas fixas (3D Scanners). Este sistema mede a distância entre o sensor e o objeto através de feixes de luz LASER. Tais objetos irão refletir a luz incidente, permitindo ao sistema realizar o cálculo da distância. Utilizando unidades de medições auxiliares, tal como o DGPS (*differential GPS* – GPS diferencial) e o IMU (*Inertial Measurement Unit* – Unidade de Medição de Inércia), que registram a posição e a atitude do avião durante o voo. Torna-se possível determinar a posição de pontos na superfície numa fase de pós-processamento (GUTELIUS, 1998).

Embora o sinal usado seja altamente coerente no espaço, ele não atinge a superfície de maneira pontual, a se não que cobre uma área unitária desta superfície. Então, o eco captado, pode provir de diferentes pontos dentro desta área unitária. Por isto, o *Laser Scanning* pode separar e gravar diferentes reflexões. Duas destas são as mais importantes, a primeira e a última (primeiro e último pulso). A relevância da importância destas duas medições torna-se evidente quando se considera um objeto pouco denso, como por exemplo a copa de uma árvore. O primeiro pulso resulta da reflexão do feixe incidente pelos pontos mais próximos do sensor, ou seja o topo da árvore. Quando a copa não é densa, parte do feixe passa por ela e é refletido pelo solo (último pulso). Este último pulso, cuja duração é mais longa, registra as informações que o primeiro pulso não conseguiu captar, ou seja, permite detectar objetos mais baixos ou obstruídos por outros (MIQUELES, 2003).

2.2.1 Laser Scanning da TopoSys®

Trata-se de um radar a laser de pulso modulado com fibras ópticas – caso de escanerização por linhas. O princípio de funcionamento está representado na figura 10. A distância é obtida a partir da medição do tempo decorrido entre a emissão do impulso e a recepção do sinal refletido (STEILE & VÖGTLE, 2000). O sistema TopoSys é um sistema a laser trata-se de uma luz de laser classe 1, inofensiva ao olho humano, que possibilita tomadas com um alcance de 1000 metros. Com uma altura de 500 metros se tem uma largura da faixa de varredura de 125 metros. Neste caso são obtidas 127 medições por escanerização, pelo menos quatro tomadas de altura por m², com precisão melhor que 15 cm.

Figura 1: Princípio de Funcionamento do *Laser Scanning*



Fonte: Steile & Vögtle, 2000

O equipamento de Laser Scanning da TopoSys é uma parte integrante de um conjunto maior de sensores. A integração destes componentes utilizando o helicóptero como plataforma correspondente a uma configuração do traçado de voo. O conjunto de sensores acoplados ao Laser Scanning é constituído

também de um scanner de linhas RGB, que levanta sincronizadamente a área sobrevoada. Complementado com uma câmara de vídeo, que registra um vídeo-filme da área sobrevoada, com um ângulo de 45°.

Todos os sensores são ligados entre si sincronizadamente, de forma que os diferentes fluxos de dados possam ser um com outro relacionados com exatidão. A reconstrução da linha de vôo acontece com a ajuda de um GPS diferencial (DGPS) e de uma unidade de medição de inércia (IMU) eficazes.

2.3 IMAGEM DAEDALUS ATM

A imagem Daedalus provém de um sensor aerotransportado, numa plataforma como um helicóptero ou um avião. É comercialmente disponibilizado de Ann Arbor, em Michigan nos Estados Unidos, desde 1995 atende clientes em 24 países. (<http://www.nerc.ac.uk>, 2004).

A imagem Daedalus (ATM – Airborne Thematic Mapper) possui 2 m de resolução espectral, possui 6 das 7 faixas contidas no Landsat TM. O sensor possui um sensor de linha óptico mecânico, com 8 bits para quantização dos dados (KRAMER, 1996).

Através da tabela 1 pode-se verificar os canais do ATM comparada ao Landsat TM e através da tabela 2 pode-se verificar algumas características geométricas .

Tabela 1: Canais espectrais do Daedalus ATM e do Landsat TM

Canais Daedalus ATM	Canais Landsat TM	Bandas Espectrais (μm)
1		0.420-0.450
2	1	0.450-0.520
3	2	0.520-0.600
4		0.605-0.630
5	3	0.630-0.690
6		0.695-0.750
7	4	0.760-0.900
8		0.910-1.050
9	5	1.550-1.750
10	7	2.080-2.350
11	6	8.500-12.50

Fonte: Kramer, 1996

Tabela 2: Características geométricas da imagem Daedalus ATM

Modo de Medida	Ângulo Normal
Resolução espacial a 1000 m de altitude	1.25 x 1.25 m
Largura da faixa a 1000 m de altitude	787 m
Número de pixels na linha por varredura	716
FOV – Campo de visada do sensor	42.96°
Ifov – Campo instantâneo de visada do sensor	1.25 m rad

Fonte: Kramer, 1996

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Alemanha, país situado no centro-norte da Europa, no sudoeste da Alemanha, na planície do Reno, no Estado de Baden Württemberg, exatamente na cidade de Karlsruhe, com 49° 00' 54" de latitude norte e 8° 24' 18" de longitude a leste de Greenwich, com altitude média de 115 metros.

A cidade de Karlsruhe possui cerca de 268.000 habitantes, com uma densidade populacional de 1,545 habitantes por Km² . Possui a área de 173.49 km². É uma cidade muito arborizada e é uma cidade de formado radial.

A área de estudo compreende a região do Centro – Innenstadt, numa área pertencente à Universidade Franciscana de Karlsruhe, área ao redor do IPF - Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

3. Study Area:

The study area covers the region of the Karlsruhe University, comprises the Institut of Photogrammetry and Remote Sensing (IPF).



Vista aérea da cidade de Karlsruhe, Alemanha



Vista aérea da Universidade de Karlsruhe, Alemanha

Figuras 2: Região de Estudo

4. MATERIAIS UTILIZADOS

Para o presente trabalho foram utilizados um conjunto de dados, primeiramente uma imagem aérea da região tomada em 2001 e posteriormente uma imagem espectral, tomada pelo sensor aerotransportado Daedalus ATM em 1997.

Nesses conjuntos de dados estão áreas imageadas em comum para as duas épocas distintas e podendo assim comparar e analisar os trabalhos realizados.

Para ambas as imagens foi utilizado imagens de laser scanning tomadas em 2002, para confecção do Modelo Digital do Terreno, para ser utilizado nas atividades de monorestituição.

5. METODOLOGIA

5.1 Utilização da Imagem Laser Scanning Original

Para utilizar a imagem de laser scanning original foi utilizado o *Software Image Toll*®, pois este programa permite abrir arquivos no formato (.dix).

Com o *Software Image Toll*, foi aberto o arquivo com o formato (.dix) e neste Software foi transformada para (.tiff) e no *Software IRAS/C*® foi transformada para (.raw).

Realizou-se uma rotina em *Matlab*® (Anexo 1), para segmentar os dados proveniente da imagem *Laser Scanning* e separar os dados referentes ao terreno e referente às edificações.

Primeiramente através do *Software Image Tool*® foram coletados pontos onde haveria certeza de que pertenciam ao solo e às edificações, analisou-os e observou-se que a coordenada referente à altitude variava de 123m a 168m e para o solo havia uma variação de 113m a 116m aproximadamente, com base nesta análise foi realizada a segmentação dos dados coletados.

Junto à rotina realizada para segmentação dos dados, foi realizada o georeferenciamento das coordenadas, uma vez era conhecida a coordenada no sistema de projeção *Gauss-Krueger* do canto superior esquerdo da imagem de 3.455.990m para latitude e de 5.431.510m para longitude, e para altitude bastou dividir por 100 os dados coletados.

Nas imagens laser geradas pelo sistema Didix a coordenada *Gauss-Krueger* está na posição central de cada pixel, assim foi realizada uma translação de 0,5m para norte e 0,5m para oeste, de forma que as coordenadas finais obtidas estivessem na posição correta.

Após realizados estes procedimentos já era possível a construção do Modelo Digital do Terreno para região estudada.

5.2 Construção do MDT (Modelo Digital do Terreno) para região estudada

A cidade de Karlsruhe é uma região bastante plana, a altitude não varia muito, está em torno de 115m.

Para interpolação dos dados foi utilizado o método de Triangulação Linear. Pares de dados são unidos por linhas retas para formação de uma rede triangular. Uma equação matemática (algoritmo) é utilizada para ajustar uma superfície através dos pontos de dados. Pontos estimados de igual valor (isovalores) entre os dados medidos e posicionados nos vértices dos triângulos são conectados para os intervalos especificados.

Para que os dados originais fossem mantidos após a interpolação, definiu-se uma grade com resolução planimétrica de 1m por 1m, com os limites coincidindo exatamente com os da filtragem inicial. Para a construção dos MDT's foi utilizado o *Software Surfer*®.

Os MDT's são realizados separadamente para que os mesmos sejam utilizados separadamente na monorestituição. Pois ao monorestituir a área escolhida, primeiramente monorestituiu-se as feições que encontravam-se no solo e posteriormente as edificações, para que estas pudessem convergir.

Como o Monorestituidor utiliza a equação de colinearidade, no qual o vetor que une o centro de projeção, o ponto na fotografia e o ponto no terreno. Ao se obter a coordenada referente à cobertura da edificação obtém-se duas soluções, uma na parte superior e outra no terreno, tornando-se necessário monorestituir separadamente as feições que estão no terreno das feições referentes às edificações.

5.3 Escolha dos Pontos de Apoio na Aerofoto

Com a análise da aerofoto, foi realizado o planejamento de pontos de apoio. Os pontos foram planejados com a escolha de detalhes fotoidentificáveis (cantos de muro, meio-fio, etc...) de modo que estes ficassem bem distribuídos em toda região a ser trabalhada.

5.3.1 Obtenção dos Pontos de Apoio

Os pontos de apoio foram obtidos através de registros contidos no *Stadtvermessungsamt*, órgão responsável pelo cadastro municipal.

5.4 Utilização Sistema Monorestituidor para Aerofoto

Realizado o MDT, com a obtenção dos pontos de apoio e com os dados referentes aos parâmetros da câmara, iniciou-se a utilização do Software Monorestituidor.

Primeiramente cadastrou-se a câmara, com os dados do certificado de calibração – distância focal, ponto principal, marcas fiduciais. Posteriormente cadastrou-se o projeto onde foi definido a escala média das aerofotos, altitude média da região, escala do mapa a ser produzido, foram definidas as precisões, o modelo matemático de interpolação altimétrica, a distância espacial média entre pontos (varredura), o sistema geodésico – que neste caso foi definido como Local, pois a versão trabalhada do Monorestituidor até o momento da realização deste trabalho não havia versão para o sistema geodésico utilizado na Alemanha, que é o sistema de projeção Gauss-Krueger, referenciados ao elipsóide de Bessel 1841, com datum na cidade de Potsdam na Alemanha, mas uma nova versão esta sendo implementada.

Após cadastrada a câmara e o projeto, cadastrou-se os pontos de apoio. Os pontos de apoio foram lidos através do Software Microstation®, com a ativação do módulo MDL “pontos”, identificando-os conforme foi feita a seqüência das leituras.

Além dos pontos de apoio, também foram lidas as marcas fiduciais, através da ativação do módulo MDL “fiducial”.

5.4.1 Orientações da Aerofoto a ser Monorestituída

5.4.1.1 Orientação Interior da Aerofoto

Por orientação interior entende-se a reconstrução do feixe perspectivo, ou seja, o referenciamento da imagem em relação à câmara. Uma vez que as imagens obtidas encontram-se isoladas uma das outras e salvas como arquivos digitais, sem nenhuma informação métrica, isto é, utilizando apenas o sistema de coordenadas em pixels, próprio das imagens digitais; faz-se necessário reconstituir o sistema interno câmara-imagem correspondente ao momento em que as fotografias foram obtidas. Somente assim, poderão ser efetuadas medidas com precisão sobre as imagens fotográficas.

O sistema câmara-fotografia é composto, basicamente, de uma perpendicular ao centro da fotografia, e mede um comprimento igual à distância focal calibrada.

Conceitualmente, a orientação interior consiste em colocar as imagens por imagem em posição semelhante à que exerciam dentro da câmara, no momento em que foram obtidas.

No Sistema Monorestituído a orientação interior é realizada tendo como base o arquivo das leituras das coordenadas fiduciais da aerofoto.

Após a orientação interior, o Sistema Monorestituído forneceu os seguintes resíduos (Tabela 4), os quais os erros médios apresentados estão de acordo com o erro tolerável, que está em torno de 0,3 a 0,5 do "pixel", o que gira em torno de 0,025 mm.

Tabela 3: Resíduos da Orientação Interior Analítica

Marca	Vx (mm)	Vy (mm)	RV xyz (mm)
1	0.003	0.007	0.008
2	0.001	0.000	0.001
3	-0.002	0.003	0.003
4	-0.001	-0.007	0.007
5	-0.001	-0.008	0.008
6	0.000	0.001	0.001
7	0.000	0.002	0.002
8	-0.001	0.003	0.003
<i>Resíduos médios</i>	X= 0.002 mm	Y= 0.006 mm	

5.4.1.2 Orientação Espacial Aproximada e Exata

Com a orientação espacial aproximada e exata pôde-se determinar os parâmetros da transformação projetiva plana (8 parâmetros), para fins de obtenção de valores aproximados de coordenadas planas e verificação de possíveis erros grosseiros nas observações de pontos de apoio. Por se tratar de uma transformação matemática aproximada, tem-se melhores resultados em relevos menos acidentados.

Com a orientação espacial exata pode-se determinar os parâmetros de orientação exterior da aerofoto (parâmetros de posição da câmara e orientação).

No Sistema Monorestituído a orientação espacial aproximada e exata é realizada tendo como base o arquivo das leituras das coordenadas dos pontos de apoio da aerofoto.

Após estas orientações, o Sistema Monorestituído forneceu os seguintes resíduos (Tabela 5 e 6), os quais os erros médios apresentados estão de acordo com o erro tolerável.

Tabela 4: Resíduos da Orientação Espacial Aproximada

Marca	Vx (m)	Vy (m)	RV xyz (m)
1	0.028	0.045	0.054
2	0.021	-0.192	0.194
3	-0.156	0.102	0.186
4	Eliminado		
5	-0.000	0.123	0.123
6	0.068	0.006	0.068
7	-0.070	-0.096	0.119
8	0.109	0.013	0.110
<i>Resíduos médios</i>	X= 0.089 m	Y= 0.111 m	

Tabela 5: Resíduos da Orientação Espacial Exata

Marca	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	RV xyz (m)
1	-0.031	-0.048	0.006	0.058
2	0.102	-0.057	-0.050	0.128
3	0.081	0.041	0.063	0.110
4	-0.038	0.054	-0.032	0.074
5	Eliminado			
6	-0.015	-0.005	0.008	0.018
7	-0.053	-0.018	0.030	0.064
8	-0.045	0.034	-0.025	0.062
<i>Resíduos médios</i>	X = 0.064	Y = 0.044	Z= 0.039	

5.4.1.3 Varredura Externa

Neste módulo do Sistema Monorestituído Digital é permitido que o usuário realize a transformação de um arquivo de varredura externa para o referencial geodésico local, conforme as especificações do projeto.

Esta varredura externa foi realizada com os arquivos de dados obtidos após a segmentação dos dados provenientes do *Laser Scanning*, o qual foi adequadamente interpolado para que o mesmo fosse utilizado neste módulo.

5.4.1.3 Definição da Área

Este submódulo de definição da área do SMD (Sistema Monorestituído Digital) é habilitado após a ativação do arquivo varredura.dat. Permitindo ao usuário que selecione pontos que caracterizam a área de Monorestituição.

Foram definidas as coordenadas do canto superior direito e do canto inferior esquerdo da área teste a ser trabalhada.

5.4.1.4 Digitalização, processamento e edição

Após realizar-se todos os procedimentos citados acima torna-se possível realizar a execução da Monorestituição da área teste na aerofoto.

Com o auxílio do *Software Microstation®* foi realizada a digitalização das feições e através do *Software IRAS/C®* é realizada a visualização da imagem, a imagem deve estar no mesmo referencial de máquina que utilizada para fazer as orientações. As feições são digitalizadas de acordo com os níveis que forem necessários e posteriormente salvas em arquivos com extensão (.dgn).

Primeiramente optou-se em digitalizar as edificações e posteriormente as feições situadas no terreno como ruas, canteiros, jardins, etc..., salvando-os em arquivos separados, para posteriormente poderem ser retificadas separadamente pelo SMD.

O processamento é realizado utilizando-se o comando Processamento de Foto, dentro do SMD.

Na edição realiza-se a junção do arquivo referente às edificações e do arquivo referente às feições que estão situadas no terreno. Para esta etapa utilizou-se o *Software Microstation®*. Pequenos erros de processamento foram corrigidos, eliminando-se pontos sobressalientes. Não alterando edificações ou ruas, pois poderia comprometer a qualidade dos resultados.

Foi realizado a monorestituição de uma área teste de pequena extensão, pois o objetivo não era gerar uma carta-planimétrica. O objetivo maior era realizar um teste com a metodologia proposta.

A seguir na figura 17, pode-se observar o resultado na monorestituição com a Aerofoto Métrica.

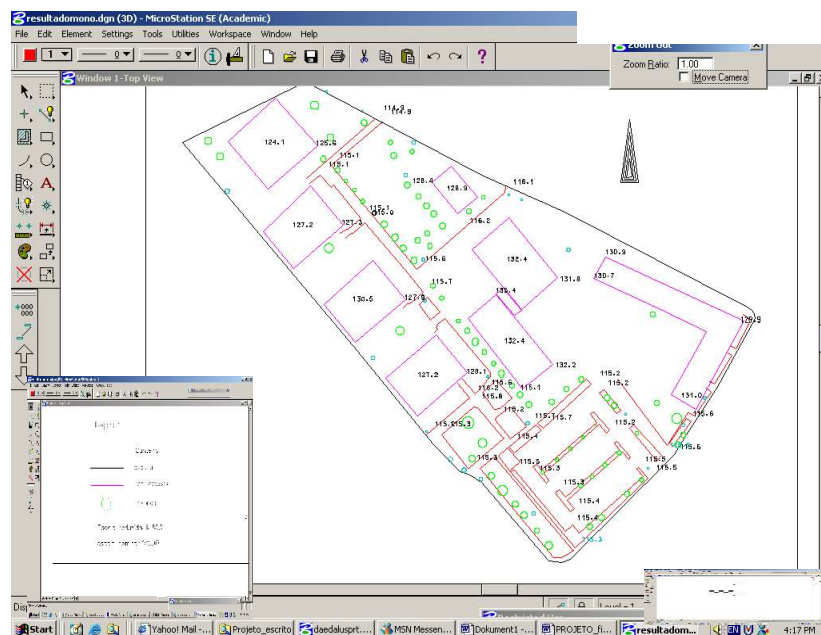


Figura 3: Resultado da Monorestituição com a Aerofoto Métrica

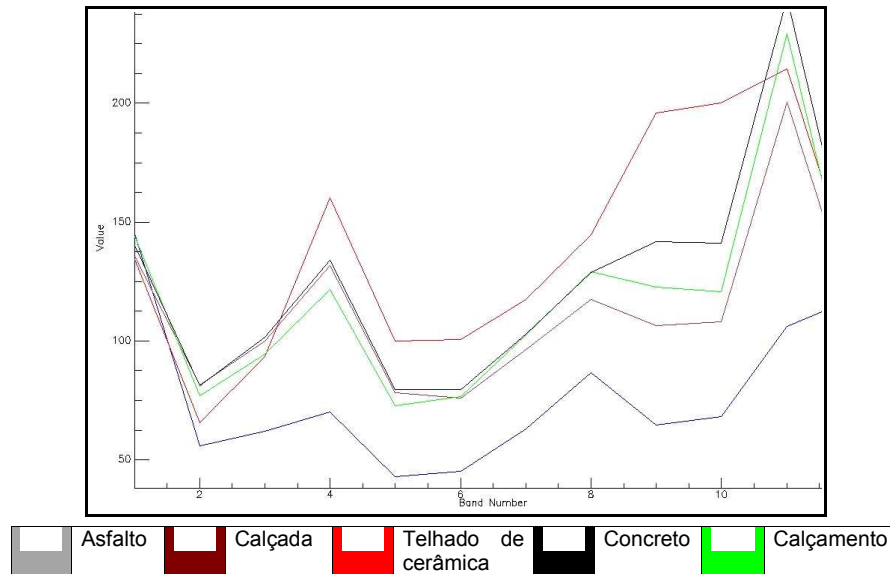
5.5 Escolha e Obtenção dos Pontos de Apoio na Imagem Daedalus ATM

Antes de iniciar a escolha de pontos de apoio na Imagem Daedalus ATM, foram necessárias análises da imagem para verificar quais as combinações de bandas mais adequadas, e onde havia uma maior separabilidade entre as classes das feições a serem restituídas.

Para tal foi utilizado o *Software Envi®*, onde foram coletadas amostras de treinamento para que se pudesse analisar a curva espectral exposta pelas bandas da imagem.

Foram coletadas amostras para diferentes tipos de materiais como: asfalto, calçada, telha de cerâmica, concreto, lajota.

O gráfico (Figura 18) as respostas espectrais das amostras de treinamento.



Após a análise do gráfico chegou-se a conclusão de que as bandas 4, 9 e 11 possuem uma melhor separabilidade. A banda 4 torna-se adequada para separar o telhado de cerâmica do asfalto.

O concreto apresentou pouca variância, pois as amostras são mais homogêneas e estão em superfícies planas enquanto o telhado cujo material é composto por cerâmica apresentou uma maior variância, pois ocorre normalmente em superfícies inclinadas, sujeita à sombra.

Após estas análises resolveu-se utilizar a composição das bandas 4, 9 e 11 para coletar os pontos de apoio e para monorestituição, pois estas proporcionavam o melhor resultado para as feições localizadas no terreno.

A seguir, na Figura 19, é mostrada a combinação de bandas utilizadas para leitura dos pontos de apoio na imagem.

As coordenadas dos pontos de apoio para imagem foram coletadas da mesma forma que para as aerofotos.

5.5.1 Utilização Sistema Monorestituídor para a Imagem

O SMD possui um módulo que permite ajustar a transformação projetiva plana, visando a retificação de entidades vetoriais que foram digitalizadas a partir de imagens de sensores remotos e habilitar o módulo retificação.

Para realizar a monorestituição da imagem há algumas diferenciações no procedimento com a aerofoto.

Primeiramente deve-se cadastrar o projeto, o sensor e os pontos de apoio.

Foram cadastrados 24 pontos de apoio, para que houvesse uma abundância de equações, uma vez que foi utilizada a transformação DLT no processamento. Esta transformação possui 11 parâmetros. A utilização desta transformação foi devido ao fato de não exigir os parâmetros de orientação interior e exterior do sensor. E o processo de monorestituição de imagens não passam por estas etapas.

A leitura dos pontos de apoio através do *Software IRAS/C®* foi realizada da mesma forma que para aerofoto.

No SMD, no módulo Imagem, foi selecionada a transformação, que no caso foi a DLT – Direct Linear Transform.

Após a seleção da transformação, no submódulo parâmetros, foi selecionado o arquivo dos pontos de apoio lidos na imagem através do *Software IRAS/C®*. E logo após foram mostrados os resíduos referentes a estes pontos de apoio lidos na imagem (Tabela 6). Três pontos foram excluídos, pois apresentaram resíduos maiores que os toleráveis.

Com o arquivo referente ao DTM, colocado na área do Monorestituídor, através do submódulo DTM foi gerado o arquivo DTMIMA.dat. Selecionando a retificação ativa iniciou-se o processamento do arquivo

(.dgn) que foi digitalizado sobre a imagem.

Após o processamento da imagem, foi realizado o mesmo procedimento que com a aerofoto contido no item 5.4.1.5.

Tabela 6: Resíduos da Transformação DLT

Marca	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)	RV xyz (m)
1	-1.045	-0.888	-1.589	2.098
2	0.736	-0.552	-1.843	2.060
3	-0.469	-0.956	-2.116	2.369
4	-0.737	0.936	2.808	3.051
5	-2.074	0.446	2.399	3.203
6	-2.074	0.446	2.399	3.203
7	1.624	0.110	-0.725	1.781
8	1.061	0.818	1.403	1.940
9	-0.574	0.683	2.072	2.256
10	1.278	-0.623	-2.355	2.751
11	-0.040	-1.424	-3.558	3.833
12	-0.413	0.179	1.460	1.591
13	-2.925	-0.828	-0.281	3.053
14	0.066	1.216	3.017	3.254
15	2.482	1.162	1.393	3.074
16	-0.822	-0.727	-1.321	1.717
17	2.157	0.010	-1.306	2.522
18	-4.982	-1.317	0.240	5.159
19	1.266	0.185	-0.316	1.318
20	1.266	0.185	-0.316	1.318
21	3.411	1.272	1.096	3.802
<i>Erros médios</i>	X= 1.982m	Y= 0.891m	Z=1.931m	

A seguir na figura 20, pode-se observar o resultado na monorestituição com a Imagem Daedalus.

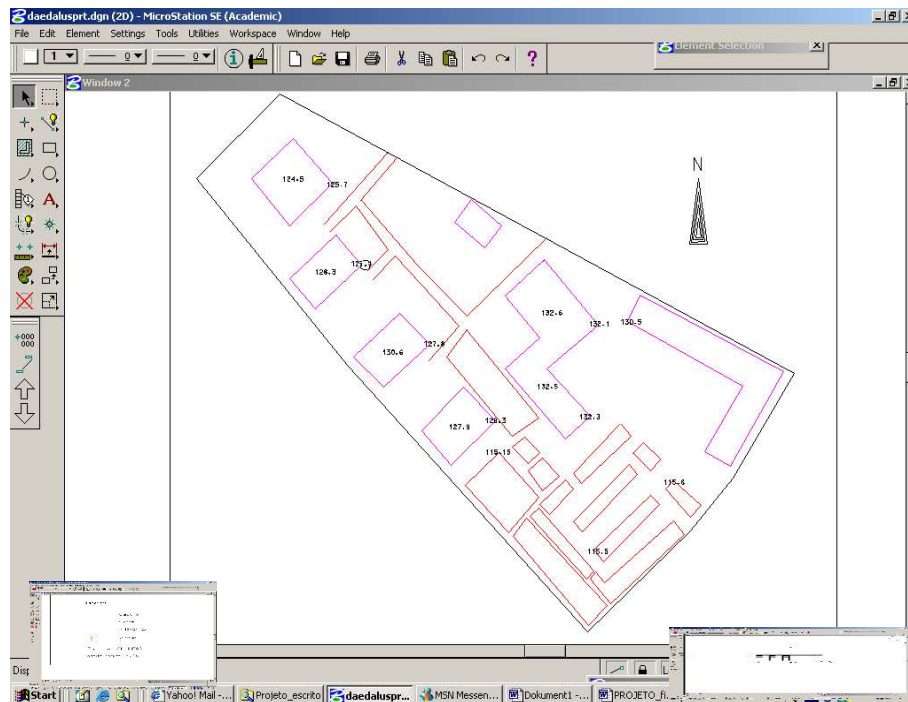


Figura 5: Resultado da Monorestituição com a Imagem Daedalus

6. RESULTADOS E ANÁLISE

6.1 Análise dos resultados da monorestituição

6.1.1 Resultados obtidos da comparação da monorestituição da aerofoto métrica com a imagem Daedalus

Os resultados obtidos com a técnica de monorestituição da aerofoto e da imagem Daedalus foram comparados, através da coleta de quinze pontos de verificação.

Extraíu-se coordenadas planialtimétricas de detalhes pontuais e de vértices de edificações, canteiros,... nos arquivos monorestituídos, provenientes da aerofoto e da imagem Daedalus, e assim possibilitando a análise das discrepâncias existentes entre as mesmas. Admitiu-se os resultados obtidos com a monorestituição das aerofotos, como base para comparação, pois a escala da monorestituição da aerofoto é maior.

Visando verificar a viabilidade técnica e operacional da monorestituição da Imagem Multiespectral Daedalus ATM, apresenta-se nas tabela 7, os resultados obtidos na comparação planialtimétrica da monorestituição com a Imagem Daedalus e com a Aerofoto.

Tabela 7: Resultados obtidos com a comparação planimétrica da monorestituição com a Imagem Daedalus e com a Aerofoto Métrica

X (m)	Y (m)	Z (m)	
5,940	-10,190	-1,900	Soma
0,396	-0,879	0,053	Média Global
4,018	2,827	0,231	Variância
2,004	1,681	0,061	Desvio Padrão
3,63	3,29	0,40	Máxima diferença
-3,41	-3,39	-0,70	Mínima diferença

Calculando-se a média global, levando-se em conta todos os pontos dos conjuntos de entidades monorestituídas, tem-se valores de $x=0,396m$, $y=-0,679m$ e $-0,095m$ para as discrepâncias planialtimétricas. Sendo que o valor da discrepância da componente z só significa que tanto a aerofoto e a imagem resgataram o mesmo valor do DTM gerado pelo Laser Scanning.

O desvio padrão encontrado nas componentes planimétricas foi de 2,004m em x e 1,681m em y.

A máxima diferença encontrada foi de 3,63m em x e de 3,29m em y. Já a mínima diferença foi de $-3,41m$ em x e $-3,39m$ em y.

Sendo um procedimento de mapeamento de baixo custo, e considerando a resolução espacial da imagem, as precisões alcançadas na monorestituição das entidades planimétricas testadas, encontram-se dentro de valores tolerados.

Considerando que um recobrimento fotogramétrico com câmara métrica na escala 1:4000, tendo em vista uma ampliação de 4 vezes, é possível obter uma exatidão planimétrica de aproximadamente 0,20 m, para a monorestituição realizada com a aerofoto métrica. Considerando as diferenças médias entre os dois procedimentos de monorestituição, encontradas neste trabalho valores de 2 m, pode-se concluir que a exatidão planimétrica esperada na monorestituição com a imagem Daedalus aproxime-se de 2m, que é a resolução da imagem, isto resulta numa escala de 1:10.000 para a realização da carta gerada com a imagem Daedalus.

6.1.2 Resultados obtidos da comparação da monorestituição da aerofoto métrica com a carta cadastral

Os resultados obtidos com a técnica de monorestituição da aerofoto métrica e da carta cadastral de onde foram retiradas as coordenadas dos pontos de apoio foram comparadas, através da coleta de quinze pontos de verificação. Resultados os quais estão expostos na tabela 8.

Tabela 8: Resultados obtidos com a comparação planialtimétrica da monorestituição com a Aerofoto Métrica e a Carta Cadastral

X (m)	Y (m)	Z (m)	
2,050	2,970	0,800	Soma
0,137	0,198	0,053	Média Global
0,123	0,341	0,021	Variância
0,351	0,584	0,145	Desvio Padrão
0,56	1,88	0,50	Máxima diferença
-0,83	-0,62	-0,10	Mínima diferença

Calculando-se a média global, levando-se em conta todos os pontos, tem-se valores de $x=0,137$, $y=0,198m$ e $0,053m$ para as discrepâncias planialtimétricas.

O desvio padrão encontrado nas componentes planimétricas foi de 35,1 cm em x e 58,4 cm em y. A máxima diferença encontrada foi de 0,56m em x e de 1,88 em y. Já a mínima diferença foi de -0,83m em x e -0,62m em y.

Considerando a resolução espacial da aerofoto, as precisões alcançadas na monorestituição das entidades planimétricas testadas, encontram-se dentro da precisão estabelecida.

6.1.3 Resultados obtidos da comparação da monorestituição da imagem Daedalus com a carta cadastral

Os resultados obtidos com a técnica de monorestituição da imagem Daedalus e da carta cadastral, de onde foram retiradas as coordenadas dos pontos de apoio foram comparadas, através da coleta de quinze pontos de verificação. Resultados os quais estão expostos na tabela 9.

Tabela 9: Resultados obtidos com a comparação planialtimétrica da monorestituição com a imagem Daedalus e a Carta Cadastral

X (m)	Y (m)	Z (m)	
-3.890	16.160	2.700	Soma
-0.259	1.077	0.180	Média Global
4.005	3.010	0.075	Variância
2.001	1.735	0.274	Desvio Padrão
3.43	4.37	1.00	Máxima diferença
-3.51	-1.91	-0.10	Mínima diferença

Calculando-se a média global, levando-se em conta todos os pontos, tem-se valores de $x=-0,259$, $y=1,077$ m e $z=0,180$ m para as discrepâncias planialtimétricas.

O desvio padrão encontrado nas componentes planimétricas foi de 2,001 em x e 1,735 em y.

A máxima diferença encontrada foi de 3,43 em x e de 4,37 em y. Já a mínima diferença foi de -3,51m em x e -1,91m em y.

Considerando a resolução espacial da imagem sendo de 2m, as precisões alcançadas na monorestituição das entidades planimétricas testadas, encontram-se dentro da precisão estabelecida.

7. CONCLUSÃO

Verificou-se neste trabalho a viabilidade prática e operacional do uso da monorestituição tanto com a Aerofoto Métrica quanto com a Imagem Multiespectral Daedalus ATM.

Os melhores resultados são encontrados quando utiliza-se a Aerofoto Métrica nos trabalhos de monorestituição, podendo produzir mapas com escala a partir de 1:1000.

Nas aplicações com a Imagem Daedalus recomenda-se o mapeamento para uma escala a partir 1:10.000, onde a exatidão da informação espacial for suficiente.

Uma de suas maiores vantagens é o baixo custo dos equipamentos para realização do procedimento de monorestituição, pois são necessários somente um computador com boa capacidade de processamento e disponibilidade de memória para trabalhar com imagens digitais, um Software CAD e o Sistema Monorestituído Digital.

Outra vantagem é que não há necessidade de se ter um operador treinado para visão estereoscópica, já que todos procedimentos são monoscópicos.

O Sistema Monorestituído Digital apresenta uma característica interessante no fato de possibilitar o levantamento 3D, pois após a retificação do arquivo pode-se obter coordenadas tridimensionais.

Com as precisões obtidas, viabiliza-se a utilização desta técnica para muitas aplicações em várias áreas das Engenharias, ficando restrita para obtenção de informações planimétricas, onde a exatidão da representação é necessária.

Uma das desvantagens está na utilização da Imagem Daedalus quando comprada à aerofoto, pois na imagem há uma maior dificuldade no reconhecimento e restituição das entidades planimétricas.

Já a altimetria utilizada proveniente da imagem de Laser Scanning colabora para suprir as necessidades para uma monorestituição com maior qualidade, sendo que a imagem laser possui precisão altimétrica de aproximadamente 15cm. Uma vez que a precisão e determinação dos pontos restituídos depende da geometria de como a modelagem de terreno é realizada, já que existe uma quantidade suficiente de pontos de apoio.

A região trabalhada é uma região bastante plana, de altitude média de 115m, fato que também colaborou para o sucesso nos resultados.

Entre outras dificuldade encontradas uma foi a de se digitalizar elementos “escondidos” pelas edificações e com a formação de sombras na aerofoto e na imagem Daedalus, o que colabora para piorar a qualidade do produto final, já a outra foi a presença de muitas árvores sobre as edificações, o que causou

indeterminação sobre alguns pontos retificados.

A imagem Daedalus pode ser empregada no mapeamento de áreas que não foram mapeadas numa escala igual ou maior a 1:10.000, assim como em finalidades temáticas. Como exemplo pode-se citar uma região como a Floresta Atlântica no Brasil, as quais não podem ser mapeadas por Fotogrametria, devido à presença de grande nebulosidade o ano todo. Como opção pode-se utilizar as bandas do infravermelho de um sensor multiespectral como o Daedalus. Outro exemplo é em análise ambiental, com finalidades quantitativas como o cálculo de biomassa de florestas.

8. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido durante os meses de setembro de 2003 à fevereiro de 2004 na Universidade de Karlsruhe na Alemanha, como Projeto de Final de Curso de Engenharia Cartográfica, através do convênio Unibral entre CAPES do Brasil e DAAD da Alemanha por intermédio da Prof. Dr. Claudia Pereira Kruger e do Prof. Dr. Jorge Centeno da Silva, ambos da Universidade Federal do Paraná, aos quais a autora agradece pela oportunidade oferecida.

Este trabalho contou com a orientação e apoio do Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita da UFPR e na Alemanha contou com a colaboração e apoio do Prof. Dr. Ing. Hans-Peter Bähr e pelo Dr. Thomas Vögtle.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AZIZ, Y. I., KARARA, H. M. **Direct Linear Transform from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range**. Photogrammetry, Proceedings of AUI/UI. Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois, 1971.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 1º ed. Editora UFPR. Curitiba/PR. 1998.

BÄHR, H. P., CENTENO, J., STEILE, E., VÖGTLE T. **Aerolevantamento com Laser Scanning. Resultados da Cooperação TOPOSYS e Universidade de Karlsruhe/ Alemanha**. XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre, 2001.

BEPPLER, M., MITISHITA E. A. **Monorestituição Planimétrica de Arruamentos Urbanos com Base em Imagens Digitais de Câmara de Vídeo Tomadas de Helicóptero**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba/PR, 2003.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNICAMP, Campinas – SP, 1992.

DAEDALUS ATM (Airborne Thematic Mapper). Natural Environment Research Council. <http://www.nerc.ac.uk/arsf/Pages/Instruments/ATM.htm> . Página consultada em 03/01/2004.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Numérica do Terreno**. www.dpi.inpe/gilberto.livro Acesso em 19 de outubro de 2003.

FERNANDES, J. C. **Criação de Modelos Digitais do Terreno**. Revista Instituto Geográfico e Cadastral, 1998.

GUTELIUS, B. **Engineering Applications of Airborne Scanning Lasers: Report from the Field**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998.

JUBANSKI, J. J., MITISHITA, E. A. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Apoiada por Imagens Laser Scanning, Aplicada ao Mapeamento de Elementos Cadastrais Urbanos**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba/PR, 2003.

KIEMA, J. B. K. **Multi-Source Data Fusion and Image Compression in Urban Remote Sensing**. Doctor Thesis. Karlsruhe, 2001.

KRAMER, H. J. **Observation of the Earth and its Environment**. Survey of Missions and Sensors. Third Enlarged Edition. Germany, 1996.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Unesp. Rio Claro/SP, 2000.

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

MAKAROVIC, B. **Digital Mono-plotter**. ITC Journal.

MITISHITA, E. A. **Monorestituição Digital de Fotos Associada com Sistema de Computação Gráfica CAD, para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR. Curitiba/PR, 1997.

MIQUELES, M.; CENTENO, J. A. S. **Detecção e Caracterização de Vegetação usando Dados do Laser Scanner Aerotransportado**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2003.

NIEKE, J. **Imaging Spaceborne and Airborne Sensor Systems in Beginning of the Next Century**. Anais The European Symposium on Aerospace Remote Sensing (IEE). London, 1997.

OLIVAS, M. A. de A. **Fundamentos de Fotogrametria**. UFPR. Curitiba/PR, 1999.

SARAIVA, C. S., MITISHITA E. A., MACHADO, Alvaro Lima. **Monorestituição de Imagens de Alta Resolução IKONOS 2 (GEO), Utilizando-se da Transformação DLT e Modelo Digital de Terreno**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba/PR, 2003.

SOUZA, S. R. N. de. **Uso da Monorestituição Digital, Aerofotos de Pequena Escala e Modelamento Matemático de Superfície (DTM) para Realização de Mapeamento Planimétrico**. Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba/PR, 2001

TOPOSYS® **Topographische Systemdaten GmbH**. <http://www.toposys.de/> Acesso em 23/11/2003.

VOEGTLE T., STEINLE E. **3D Modelling of Buildings Using Laser Scanning and Spectral Information**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, The Netherlands, 2000.