

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO ALTIMÉTRICA DE DADOS OBTIDOS POR PERFILAMENTO LASER AEROTRANSPORTADO EM ÁREAS DE MINERAÇÃO E RODOVIAS

Ronaldo Aparecido de Oliveira, MSc.
ENGEFOTO – Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Supervisão dos Processos de Geomática
Rua Frei Francisco Mont’Alverne, 750 – Jardim Santa Bárbara
Curitiba – PR CEP 81540-410
Fone: 41 3071-4200
ronaldo@engefoto.com

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos na avaliação altimétrica de duas áreas levantadas por perfilamento laser aerotransportado. A área 1, localizada no Estado de Minas Gerais, compreende um empreendimento de extração de minérios com aproximadamente 122 km² e a área 2, localizada no Estado do Paraná, é uma rodovia concessionada com aproximadamente 100 km lineares. Na área 1, foi utilizado o sensor ALTM 2050 da Optech com uma altura de voo de 1 km e ângulo de abertura de 40°. Na outra área, foi utilizado o sensor ALTM Gemini também da Optech, com altura de voo de 850 m e ângulo de abertura de 40°. Para validar estas áreas foram levantados 43 pontos no total, sendo 33 na área 1 e 10 na área 2, todos por rastreamento GPS pelo método estático. Também foi levantado em campo um conjunto de referências de níveis para a determinação do mapa geoidal local de modo que todas as cotas dos pontos fossem avaliadas na superfície do terreno (altitudes ortométricas e não geométricas). O processamento da trajetória GPS do sensor laser foi realizado de dois modos diferentes: no caso 1 utilizando efemérides precisas (PPP) e no caso 2, utilizando bases GPS instaladas em campo dentro da área de interesse. Os resultados obtidos foram considerados acima das expectativas, pois no caso 1, a média das discrepâncias ficou em torno de 18,8 cm com desvio-padrão de 10 cm, enquanto no caso 2, a média ficou em torno de 4,1 cm com desvio-padrão de 3,2 cm. Os resultados serviram para confirmar o grande potencial do uso dos sensores laser aerotransportado na determinação precisa da superfície do terreno, aliado ainda à agilidade na obtenção, processamento e geração dos produtos decorrentes quando comparado aos processos convencionais de obtenção de modelos digitais do terreno.

Palavras chaves: exatidão altimétrica, perfilamento laser aerotransportado, controle de qualidade

ABSTRACT

This paper presented the results obtained in the evaluated of two areas surveyed by aerial laser scanner. The area #1, located on Minas Gerais State, used to ore extraction with about 122 km² and the area #2, located in Paraná State, is a road with about 100 km linear. In the area #1 was used ALTM 2050 laser scanner by Optech with flight height of the 1000 m e FOV of the 40°. Another area was used ALTM Gemini laser scanner by Optech too with flight height of the 850 m and FOV of the 40°. For check of quality these areas was surveyed 43 control points (33 inside area #1 and 10 in area #2), all by static GPS method. Also was surveyed in field a set of ground reference to determine local geoidal map to compute orthometric height of laser points. The processing of GPS trajectory of the laser scanner was did two different modes: case #1 using Precise Point Positioning (PPP) and case #2 using GPS base on ground, both inside respectively areas. The results were above of the expectations, because in the case #1 the mean of discrepancies was about 18.8 cm (standard deviation = 10.0 cm) and case #2 the mean equal 4.1 cm (standard deviation = 3.2 cm). These results confirm the great potential of use aerial laser scanner to determine ground surface with high precision e faster processing and generation of products when compared with conventional process.

Keywords: altimetric accuracy, altimetric Lidar system, quality control

1 INTRODUÇÃO

A utilização de sensores laser aerotransportado para a obtenção de informações altimétricas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos e a tendência é que esta tecnologia seja utilizada cada vez mais. Mas algumas vezes surgem questionamentos por parte dos usuários sobre a precisão desta altimetria e também, se esta não seria mais precisa se fosse obtida por outro método de levantamento.

Visando avaliar o nível de precisão altimétrica que se pode obter com levantamentos por laser aerotransportado foram realizados dois testes, um em área de extração de minérios e a outra em rodovia. A definição dos parâmetros de cada área foi determinada levando em consideração a forma da área, a morfologia do terreno e as características da cobertura.

A primeira área, como já afirmado, é de extração de minérios, localizada no Estado de Minas Gerais e os parâmetros utilizados no levantamento foram:

Laser: ALTM 2050 (Optech)
 Altura média: **1.200 m**
 Ângulo de abertura (FOV): 40°
 Frequência repetição: 50 kHz
 Área total: 122 km²
 Densidade média: 1,5 pontos/m²

A segunda área, composta por um conjunto de rodovias no Estado do Paraná, teve a seguinte configuração de levantamento:

Laser: ALTM Gemini (Optech)
 Altura média: **850 m**
 Ângulo de abertura (FOV): 40°
 Frequência repetição: 50 kHz
 Área total: 30 km² (100 km x 0,3 km)
 Densidade média: 1,7 pontos/m²

A diferença de altura entre os dois levantamentos se explica devido à precisão requerida. No primeiro caso, precisão melhor que 50 cm e no segundo caso, melhor que 10 cm para o nível de 1σ .

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento dos estudos pode ser resumido nas seguintes etapas:

- Processamento dos dados laser e obtenção da nuvem pontos referentes ao Modelo Digital de Terreno (MDT).
- Levantamento de pontos de verificação em campo através do rastreamento GPS.
- Comparação da altimetria dos pontos levantados em campo com as cotas obtidas por interpolação no MDT.
- Análise estatística dos resultados.

O processamento dos dados laser foi realizado utilizando o software específico fornecido pelo fabricante do equipamento, chamado REALM. A classificação foi realizada utilizando o software TerraScan da TerraSolid. Para a obtenção de um MDT confiável foi utilizado um processo iterativo através das alterações dos parâmetros de classificação, bem como a utilização de imagens hipsométricas, de intensidade e ortofotos, sendo que estas últimas quando disponíveis na área.

No levantamento de campo dos pontos de verificação foram utilizados rastreados de dupla frequência e o mesmo referencial do levantamento laser. A transformação da altitude geométrica em ortométrica foi através de mapa geoidal. Na área #1 foram levantados 33 pontos e na área #2, 10 pontos.

Para comparar as cotas dos pontos levantados em campo com suas cotas no MDT, inicialmente estes pontos foram projetados no MDT e suas cotas calculadas por interpolação linear.

A análise dos resultados foi basicamente o cálculo das discrepâncias e verificação da dispersão dos valores com relação à média.

3 RESULTADOS

As tabelas 1 e 2 seguintes apresentam as discrepâncias verificadas em cada ponto, sendo que na tabela 1 têm-se os valores dos pontos referentes à área #1 e na tabela 2 da área #2.

TABELA 1 – Pontos de verificação levantados na área #1

| Ponto | Altim. GPS (m) | Altim. MDT (m) | Difer. (m) |
|-------|----------------|----------------|------------|
| PC-01 | 1186.530 | 1186.992 | -0.462 |
| PC-02 | 1235.235 | 1235.161 | 0.074 |
| PC-03 | 1235.795 | 1236.084 | -0.288 |
| PC-04 | 1249.386 | 1251.147 | -1.761 |
| PC-05 | 1128.224 | 1127.885 | 0.339 |
| PC-06 | 1138.873 | 1138.813 | 0.060 |

| | | | |
|-------|----------|----------|--------|
| PC-07 | 1005.960 | 1005.853 | 0.107 |
| PC-08 | 1032.196 | 1032.303 | -0.107 |
| PC-09 | 1225.631 | 1225.557 | 0.074 |
| PC-10 | 1009.139 | 1008.900 | 0.239 |
| PC-11 | 956.916 | 956.790 | 0.126 |
| PC-12 | 1105.053 | 1104.857 | 0.196 |
| PC-13 | 1105.365 | 1105.158 | 0.207 |
| PC-14 | 1086.909 | 1086.698 | 0.211 |
| PC-15 | 1126.698 | 1126.543 | 0.156 |
| PC-16 | 1124.400 | 1124.345 | 0.055 |
| PC-17 | 1065.663 | 1065.467 | 0.196 |
| PC-18 | 1097.339 | 1096.974 | 0.365 |
| PC-19 | 947.854 | 947.574 | 0.280 |
| PC-20 | 993.602 | 993.531 | 0.071 |
| PC-21 | 956.133 | 955.892 | 0.241 |
| PC-22 | 1115.244 | 1114.919 | 0.325 |
| PC-23 | 1231.566 | 1223.409 | 8.157 |
| PC-24 | 1153.727 | 1153.658 | 0.069 |
| PC-25 | 1153.953 | 1153.798 | 0.155 |
| PC-26 | 1246.264 | 1246.116 | 0.148 |
| PC-27 | 787.497 | 787.356 | 0.141 |
| PC-28 | 787.947 | 787.830 | 0.117 |
| PC-29 | 866.893 | 866.655 | 0.238 |
| PC-30 | 1027.372 | 1027.238 | 0.134 |
| PC-31 | 930.405 | 930.166 | 0.239 |
| PC-32 | 841.290 | 841.465 | -0.175 |
| PC-33 | 838.605 | 838.384 | 0.221 |

TABELA 2 – Pontos de verificação levantados na área #2

| Ponto | Altim. GPS (m) | Altim. MDT (m) | Difer. (m) |
|-------|----------------|----------------|------------|
| PC-01 | 1002.214 | 1002.202 | -0.012 |
| PC-02 | 872.074 | 872.047 | -0.027 |
| PC-03 | 829.152 | 829.111 | -0.041 |
| PC-04 | 821.900 | 821.875 | -0.025 |
| PC-05 | 818.554 | 818.644 | 0.091 |
| PC-06 | 818.515 | 818.501 | -0.014 |
| PC-07 | 810.754 | 810.755 | 0.001 |
| PC-08 | 803.232 | 803.144 | -0.088 |
| PC-09 | 796.374 | 796.332 | -0.042 |
| PC-10 | 795.826 | 795.893 | 0.066 |

Analisando as diferenças mostradas na tabela 1, observa-se que há dois pontos que apresentaram discrepâncias acentuadas. Inicialmente imaginou-se que pudesse ter ocorrido algum tipo de problema durante a classificação, onde se poderia ter classificado uma árvore, por exemplo, como terreno.

Após a análise da fotografia tomada do ponto durante o levantamento, observou-se que havia um

movimento de terra recente e após consulta ao cliente foi confirmada esta teoria. Isto se deveu ao fato que o intervalo temporal entre os dois levantamentos foi em torno de 4 meses. A figura 1 mostra as fotografias dos dois pontos que apresentaram diferenças acentuadas. Observe que a é possível identificar facilmente que houve uma grande movimentação de terra no local.



Fig. 1 – Fotografias dos pontos PC-04 e PC-23

Na área #2, por se tratar de estruturas consolidadas (rodovias asfaltadas), este tipo de problema não ocorreu. É importante frisar que assim como na área #1, todos os pontos foram levantados no solo plano (condição mínima para aceitação do ponto de verificação) e não sobre estrutura (mureta, palanque, etc), evitando assim, possíveis erros de redução à superfície.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na área #1, devido ao problema temporal nos pontos PC-04 e PC-23, a análise estatística desconsiderou estes dois pontos.

A tabela 3 apresenta a média e o desvio-padrão calculados a partir dos dados da tabela 1. Foram realizados dois cálculos, considerando as diferenças em seus valores reais (coluna “valores reais”) e em valores absolutos ou em módulo (coluna “valores absolutos”). Na tabela 4 são mostrados os valores máximo e mínimo, bem como a amplitude.

Fazendo os mesmos cálculos para a área #2, tem-se os valores mostrados nas tabelas 5 e 6. Só lembrando que todos os pontos desta área foram considerados já que não houve nenhum fato relevante que indicasse problema em algum ponto.

TABELA 3 – Média e desvio-padrão das discrepâncias na área #1

| Medida | Valores reais | Valores absolutos |
|---------------|---------------|-------------------|
| Média | 0.121 m | 0.188 m |
| Desvio-padrão | 0.177 m | 0.100 m |

TABELA 4 – Amplitude das discrepâncias na área #1

| Medida | Valores reais |
|-----------|---------------|
| Máximo | 0.365 m |
| Mínimo | -0.462 m |
| Amplitude | 0.827 m |

TABELA 5 – Média e desvio-padrão das discrepâncias na área #2

| Medida | Valores reais | Valores absolutos |
|---------------|---------------|-------------------|
| Média | -0.009 m | 0.041 m |
| Desvio-padrão | 0.052 m | 0.032 m |

TABELA 6 – Amplitude das discrepâncias na área #2

| Medida | Valores reais |
|-----------|---------------|
| Máximo | 0.091 m |
| Mínimo | -0.088 m |
| Amplitude | 0.179 m |

Observando os valores da tabela 3 e 5, nota-se que os valores das médias estão pequenos, inclusive as dispersões, representadas pelos desvios-padrão. Assim, para um nível de 1σ , é esperado que as discrepâncias estejam no intervalo de 9 a 29 cm (valores absolutos) na área #1 e entre 1 a 7 cm (valores absolutos) na área #2.

Quando consideramos os valores reais, observamos que no geral a uma pequena tendência nas discrepâncias na área #1 (em torno de 12 cm), mas nada significativa que possa comprometer a qualidade dos produtos. No caso da área #2, a média nos indica que as discrepâncias estão praticamente centradas no valor zero.

É importante frisar que o processamento da trajetória GPS/INS do levantamento da área #1 foi utilizando efemérides precisas e não uma base local na área, ao passo que na área #2 havia uma estação base. Talvez isto explique esta pequena tendência, mas não dá para se afirmar a causa.

5 CONCLUSÃO

Do exposto, pode-se concluir que a precisão de um levantamento por laser aerotransportado pode ser garantida se forem tomados os cuidados necessários. Os resultados mostraram que o nível de precisão pode ser alto, inclusive competindo com técnicas clássicas de coleta (topografia, geodésia e fotogrametria).

O levantamento laser, assim como qualquer outra técnica, necessita de controles e estes vão desde a definição dos parâmetros de configuração do sensor compatível com a precisão requerida, como da forma de processamento, classificação e geração dos produtos.

Pode-se considerar como configuração do sensor, a frequência de varredura, a frequência de repetição, o ângulo de abertura (FOV – Field of view), a sobreposição lateral e a altura de vôo, sendo este último, um fator importante na determinação da precisão altimétrica da nuvem de pontos.

Não pode deixar de ser salientado que a classificação é um ponto importantíssimo no processo de obtenção dos produtos. Se a classificação da nuvem de pontos não for realizada com critérios, a obtenção do MDT, por exemplo, será errada e a validação com pontos de verificação levantados no campo poderão não apresentar resultados satisfatórios.

Assim, a qualidade do produto oriundo deste tipo de levantamento estará diretamente relacionada com o modo como os dados foram coletados, processados e classificados e a geração dos produtos decorrentes (curvas de níveis e nuvem de pontos, por exemplo) deve ser realizada de modo que esta precisão seja mantida.

Para facilitar a análise da qualidade dos produtos, é possível a geração de imagens a partir das nuvens de pontos. Basicamente, dá para se trabalhar com duas imagens, hipsométrica e de intensidade.

Na primeira, pode-se analisar o comportamento do relevo, pois as cores são atribuídas ao pixel da imagem conforme a cota. No segundo caso, o valor do pixel está relacionado com o valor da intensidade retornada do solo, que depende da feição. Na figura 2 é mostrado um exemplo dessas imagens.

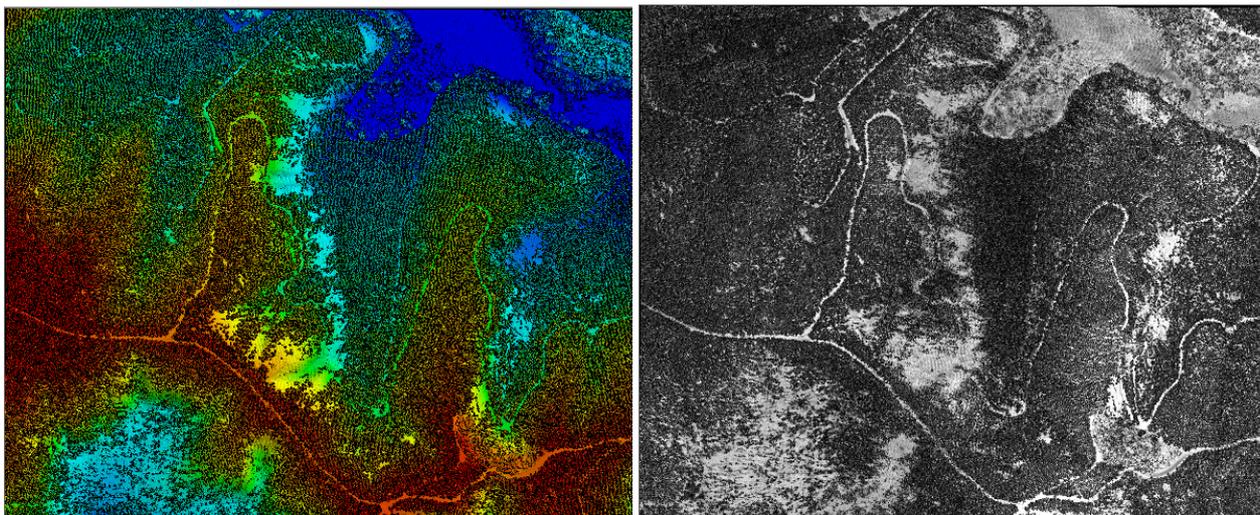


Fig. 2 – Exemplo de imagem hipsométrica e de intensidade

Como se observa, o potencial de utilização desta nova técnica para a obtenção de informações altimétricas (e planimétricas) é muito grande. Tal

potencial ainda não foi totalmente explorado ou mesmo estudado, pois a cada dia surge evolução tanto em termos de equipamentos como de softwares.