

Análise da propagação de covariância na zona de sobreposição lateral de faixas de aerolevanteamento com o ALS

Plinio Temba¹
Jürgen Philips²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
31270-901 – Belo Horizonte - MG, Brasil
temba30@yahoo.com.br

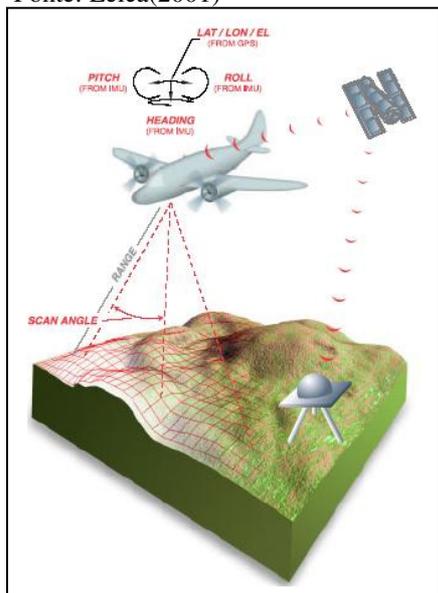
² Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
88040-900 – Florianópolis - SC, Brasil
jphilips@gmx.de

Abstract. Laser scanning is dependent on georeferencing by satellite positioning and inertial navigation to give orientation of each laser shot. An adjustment strategy is proposed for doing that simultaneously fitting laser scanner strips in 3D. This paper presents the mathematical model used, that performs the covariance propagation for associate homologous points in the point-clouds created by Lidar (LIght Detection And Ranging).

Palavras-chave: Laserscanner strip adjustment, airborne laserscanning, DTM, covariance propagation, ajustamento de faixas do laser scanner; MDT, propagação de covariância.

São absolutamente inestimáveis as contribuições que a tecnologia, que se notabilizou por Laser Scanner Aerotransportado (ALS), trouxeram para as atividades dedicadas ao mapeamento. Em pouco mais de uma década a tecnologia do ALS revolucionou o entendimento, até então, de técnicas apuradas e tradicionalmente praticadas para o

Figura.1 – Laser Scanner Aerotransportado
Fonte: Leica(2001)



levantamento da superfície física, seja edificada, cultivada ou nua. O Brasil desde de 2001 conta com o ALS, ilustração na **figura 1**, em diversos campos de atuação; são projetos destinados à análise de riscos, projetos de drenagem, planejamento de diques, planejamento para a instalação de torres e equipamentos voltados à telefonia móvel e para a transmissão de energia elétrica para citar alguns exemplos. Não obstante, às contribuições assistidas até então, a atividade de destaque trata da coleta de dados de elevação e o conseqüente processo de geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

O artigo quer relatar os procedimentos e formulação matemática necessários e suficientes para evidenciar a propagação de covariância na zona de sobreposição lateral residente no bloco de faixas decorrentes do aerolevanteamento realizado com o ALS. Por extensão será avaliado o comportamento da transformação de corpo rígido no espaço para o ajustamento do bloco de

faixas.

O Laser Scanner Aerotransportado - ALS (sigla para o termo em inglês *Airborne Laser Scanner*) é uma das tecnologias que surgiu nos últimos dez anos voltada para o mapeamento. Usado para medir uma distância e a reflectância de objetos na superfície da terra é um equipamento, composto por três conjuntos de dispositivos eletrônicos:

a. o receptor *GPS* (Global Positioning System); usado para o rastreamento de satélites artificiais;

b. a *unidade de medição inercial* - IMU (*Inertial Measurement Unit*) destinada a estimar a atitude do sensor, qual seja, a orientação no momento da emissão do feixe luminoso e;

c. o *emissor de laser* gera um feixe de pontos luminosos.

A tecnologia ALS embora conte com um sensor extremamente eficiente para a modelagem da superfície física e para a superfície de elevação se comparado com sensores aeronavegados em plataformas orbitais e em plataformas aéreas traz nas observações fragilidades na zona de sobreposição lateral entre as faixas contíguas de um aerolevante. Kraus(2002), Burman (2002), Kager (1999), Kager et alii(2002) assinalam pelo termo que se notabilizou como *discrepância vertical*. A pesquisa propõe investigar as discrepâncias verticais com o uso de um artifício matemático de simples compreensão sustentando por Kager (2004), Kager (2005) e Kager (2006), intitulado *princípio das faixas homólogas*. É concebido, em função da limitação física e operacional de associar pontos homólogos nas faixas de sobreposição lateral na nuvem pontos criada pelo ALS, a adoção da entidade geométrica formada por infinitas retas e infinitos pontos - a superfície plana, i.é, um *plano homólogo (tie plane)* que seja comum a duas faixas contíguas de varredura s. Em última análise, realiza função assemelhada aos pontos de ligação de faixas (*ties points*) tradicionalmente adotados nas atividades de aerotriangulação. O plano-homólogo é um recorte quadrado com 10m de lado e tangente a superfície física. Para traçar um plano, são necessários três pontos não-alinhados e, para tornar possível o ajustamento será incorporado ao cálculo ao menos um quarto componente.

O plano α é definido geometricamente pelos pontos P_1 , P_2 e P_3 . Um ponto genérico $P=(x,y,z)$ pertence ao plano α se, e somente se, os vetores $(P-P_1)$, (P_2-P_1) e (P_3-P_1) forem coplanares:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1.0)$$

A resolução do determinante representado pela expressão matemática (1.0) conduz a uma equação linear a três variáveis (solução única) – a equação geral do plano. Os planos homólogos são identificados a partir da nuvem de pontos iluminados na zona de sobreposição lateral das faixas. O processo tem início com uma reta analiticamente definida pela disposição de dois pontos de apoio nas extremidades do bloco, na direção perpendicular ao vôo. Em seguida, um recorte (*patch*) de 10m de lado alinhado com a reta dará origem ao primeiro dos três planos a serem gerados. Um segundo recorte, igualmente sobre a faixa esquerda, com a mesma dimensão da primeira identificará um segundo plano, via de regra concorrente com o primeiro plano. Sobre a faixa da direita um novo recorte será estendido e dará origem ao terceiro e último dos planos. O ponto de interseção entre os três planos criados é o *tie point*.

Com o propósito de obter as medidas da superfície do terreno iluminada pelo ALS, necessárias e suficientes para interpor aos modelos matemáticos usados no processo de ajustamento e, ao mesmo tempo, verificar em outras localidades do bloco a qualidade do ajustamento foram realizados o levantamento topográfico com receptores GPS. O procedimento é realizado com dois receptores GPS de dupla frequência no qual um dos rastreadores foi posicionado em um ponto de coordenadas conhecidas e confiáveis (referência) para realizar a correção diferencial e o outro rastreador, no ponto cujas coordenadas deseja-se determinar (*rover*). A estação de referência transmite informações da fase da portadora em um formato padrão por meio de um sistema de comunicação ao receptor móvel a fim de que este determine suas coordenadas precisas, em tempo real. O objetivo do

levantamento é navegar com o receptor GPS até o *tie point* decorrente da interseção dos *patches* e registrar as coordenadas. Para o levantamento topográfico optou-se pela utilização do método RTK para a coleta dos pontos de controle.

Por outro lado, As discrepâncias percebidas na interseção das faixas de varredura do ALS parecem revelar que o comportamento dos pontos iluminados nas respectivas faixas não segue o mesmo sistema de referências. A metodologia sugerida pelo autor quer adotar um modelo matemático comum – transformação afim geral no espaço para todo o bloco de pontos, portanto, estabelecer um ajustamento simultâneo das faixas de varredura. O método de ajustamento adotado é o paramétrico. Considerando-se como observações as medidas geradas pelo ALS reduzidas à superfície de projeção adotada – UTM.

Em seguida ao ajustamento que determina os valores mais prováveis dos parâmetros dá-se prosseguimento estudo que se notabilizou, segundo Aguiar et alii (2002), Gemael (1994), pela *lei da propagação de covariância*. Sejam os vetores X e Y, cujos componentes são variáveis aleatórias, pode-se considerar que eles são relacionados por um modelo linear. De modo análogo pode-se obter a lei de propagação das covariâncias para funções não lineares. Assim, pode-se escrever segundo as expressões (2) e (3)

$$\Sigma_Y = D \Sigma_X D^T \quad (2)$$

D representa a matriz Jacobiana formada pelas derivadas parciais, ou seja:

$$D = \left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X^0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \frac{\partial y_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial y_2}{\partial x_1} & \frac{\partial y_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_2}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial y_m}{\partial x_1} & \frac{\partial y_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Referências

- Aguiar, C.R., Camargo, P. O., Galo, M. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática**, Presidente Prudente, Presidente Prudente, julho, 2002, Artigos, p.113-120.
- Burman.H. 2002 **Laser strip adjustment for data calibration and verification**. ASPRS Annual Convention, Commission VI, Working Group VI/4.
- Gemael, C. 1994 **Introdução ao ajustamento de observações**. Ed. UFPR. Curitiba
- Aguiar et alii (2002),
- Kager, H., **Simultaneous Georeferencing of Aerial Laser Scanner Strips** Disponível, em: http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/VGI%204_2003/HK_VGI_ALS-Discrepancies.pdf Acesso em 13 de mar de 2005
- Kager.H.**The Importance of Exact Geo-referencing of Airborne LIDAR Data**. Disponível em: http://www.gisdevelopment.net/magazine/years/2006/april/42_1.htm Acesso em 13^o junho 2006.
- Kager, H., Rottensteiner F., Briese C., & Kraus K.,. **Lidar Activities At The Viennese Institute Of Photogrammetry And Remote Sensing**. Disponível em: http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/fr_columbus02/rottensteiner_et_al.pdf, Acesso em 19^o junho 2005
- Kager, H. 1999..**Discrepances between overlapping laser scanner strips- Simultaneous fitting of aerial laser scanner strips**. ASPRS Annual Convention, Commission III, WG III/1. Disponível em: <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/99.pdf>. Acesso em 11^o jun. 2006
- Rottensteiner, F. Kager, H. Briese, C. Kraus, K. 2002. **Lidar activities at the viennese institute of photogrammetry and remote sensing**, Disponível em: http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/fr_columbus02/rottensteiner_et_al.pdf Acesso em 19^o jun. 2005.