

# UM MÉTODO BASEADO EM LINHAS RETAS PARA GEORREFERENCIAMENTO INDIRETO DA NUVEM DE PONTOS LASER SCANNING TERRESTRE

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS<sup>1</sup>  
ALUIR PORFÍRIO DAL POZ<sup>2</sup>

Universidade Federal do Paraná

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba - PR

[danielsantos@ufpr.br](mailto:danielsantos@ufpr.br)

Universidade Estadual Paulista

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente - SP

[aluir@fct.unesp.br](mailto:aluir@fct.unesp.br)

O problema de registro de nuvem de pontos é fundamental em diversas áreas do conhecimento, como por exemplo, na Fotogrametria, Visão Computacional e Robótica. Desde a década de 90, várias abordagens têm sido propostas para registrar nuvens de pontos 3D e, embora, o método ICP (*Iterative Closest Point*) seja utilizado na maioria dos problemas de Visão Computacional e Fotogrametria demanda alto custo computacional e boas aproximações entre nuvens de pontos. Usualmente, o georreferenciamento de dados oriundos do perfilamento *laser scanning* terrestre (TLS) também é determinado com emprego de alvos, cujas coordenadas 3D são previamente conhecidas. Tal metodologia empílica implica em implantação de alvos sobre a superfície e o esforço operacional torna o procedimento moroso e, em muitas situações, inviável para o complemento do projeto. Outra técnica de registro da nuvem de pontos oriunda do TLS é conhecida como georreferenciamento direto. Neste caso, os parâmetros de orientação são obtidos diretamente usando, por exemplo, a integração de dados derivados de GNSS e INS, que permitem, respectivamente, a medida da posição e da atitude do sensor no momento da varredura da superfície. No entanto, equipamentos de alta precisão são de alto custo e a integração dos sensores requer um procedimento de calibração morosa e extremamente exaustiva. Neste trabalho é proposto uma estratégia de georreferenciamento indireto da nuvem de pontos TLS usando linhas retas. O modelo matemático desenvolvido tem por fundamento básico a relação funcional entre linhas representando superfícies planas adjacentes nos espaços TLS e objeto. Sejam  $l$  e  $L$ , respectivamente, a linha reta no espaço TLS e sua correspondente linha reta no espaço objeto. A relação funcional entre  $l$  e  $L$  baseia-se na coplanaridade entre três vetores ( $\mathbf{d}$ ,  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{V}$ ). O vetor  $\mathbf{V}$  é definido pela origem do sistema TLS ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) e um ponto ( $P$ ) qualquer de  $L$ , enquanto o vetor  $\mathbf{v}$  é expresso pelos cossenos diretores de  $L$ . A intersecção entre duas superfícies planas adjacentes ( $\pi$  e  $\pi'$ ) extraídas na nuvem de pontos TLS determina  $l$ , que transformado para o sistema referencial arbitrário através dos ângulos de euler ( $\omega, \phi, \kappa$ ), resulta no vetor  $\mathbf{d}$ . O produto misto entre os vetores supracitados dá origem a uma única equação. O método de georreferenciamento proposto segue três etapas principais: 1) Linhas de controle são medidas no espaço objeto através de levantamento topográfico; 2) Superfícies planas são automaticamente detectadas e linhas retas correspondentes são extraídas na nuvem de pontos TLS através da intersecção de planos adjacentes. A extração dos planos adjacentes na nuvem de pontos TLS pode ser realizada pelo método RANSAC (*Random Sample Consensus*) e seus coeficientes devem ser estimados, juntamente com as respectivas matrizes de variância-covariância, pelo modelo combinado do MMQ (Método dos Mínimos Quadrados); 3) Pares de linhas retas são manualmente correlacionadas e o modelo proposto é empregado para estimar os parâmetros de orientação do sensor. Para cada linha reta extraída tem-se uma única equação, cujas observações são os coeficientes das superfícies planas adjacentes que contém a linha reta  $l$  no espaço TLS. As incógnitas na equação são os parâmetros de rotação e posição do sensor, os quais, dado o carácter implícito da mesma, devem ser estimados pelo método combinado de ajustamento de observações. Um mínimo de 7 linhas retas bem distribuídas deve ser usado na solução do problema. Tendo em vista a realização de uma avaliação empírica confiável da metodologia proposta, várias configurações favoráveis e desfavoráveis deverão ser selecionadas. Este trabalho apresenta os resultados dessa avaliação com dados simulados e reais, bem como o modelo fotogramétrico de orientação proposto.