

## 1 INTRODUÇÃO

- A Geodésia utiliza observações para estimar parâmetros incógnitos que representam alguma realidade física que se deseja estudar.
- O ajustamento de observações tem por objetivo proporcionar uma solução única para problemas onde o número de observações é redundante e o sistema de equações inconsistente, bem como a estimativa da precisão da solução adotada.
- As observações podem estar contaminadas por erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros e, do ponto de vista estatístico, observações com erros grosseiros não podem ser consideradas como pertencentes a amostra, não podendo ser usadas com as outras observações.
- Dessa forma, é importante ter técnicas para detecção e identificação de erros grosseiros nas observações (Teunissen, 2000).
- Observações redundantes no ajustamento melhoram a acurácia dos resultados e possibilitam a aplicação de controle de qualidade.
- A confiabilidade é um fator considerado no controle de qualidade e descreve a capacidade das observações em detectar erros nos modelos e/ou nas observações, com certo nível de probabilidade.

## 2 OBJETIVO

- Aplicar a teoria do controle de qualidade em uma rede GPS (Global Positioning System), a partir da análise de confiabilidade, e realizar experimentos na mesma rede inserindo-se erro proposital nas observações, afim de se verificar a eficiência dos testes estatísticos para a detecção e identificação das observações com erros grosseiros.

## 3 DADOS

- A rede geodésica utilizada nesse estudo é uma rede tridimensional GPS, composta por dados reais, obtida de Guilani e Wolf (2006), conforme ilustra a figura:

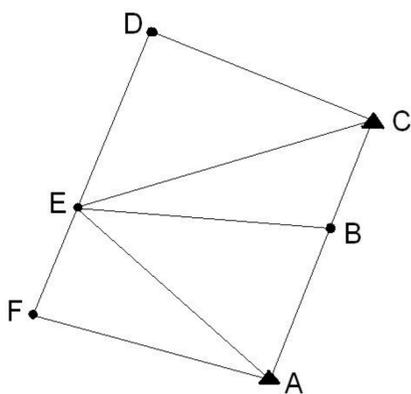


Figura 1. Rede GPS

- A rede é constituída de seis vértices e, de nove linhas-base, sendo os vértices A e C pontos de controle (com coordenadas injuncionadas de maneira absoluta, materializando o referencial).
- O número de observações é  $9 \times 3 = 27$  (componentes de cada uma das linhas-base) e o número de incógnitas é  $4 \times 3 = 12$  (coordenadas dos vértices desconhecidos da rede).
- O comprimento das linhas-base é aproximadamente de 1 km e a precisão de cada componente das linhas-bases está entre 2 mm e 9 mm. Os valores detalhados podem ser obtidos em Ghilani e Wolf (2006, p. 341).

## 4 ANÁLISE

- O ajustamento da rede foi realizado utilizando o método paramétrico, e posteriormente foi aplicado o Teste Global do Ajustamento e o Teste Data Snooping (Baarda, 1968).
- O ajustamento foi aceito no Teste Global com nível de significância  $\alpha = 0,06$ , e nenhuma observação foi identificada pelo Teste Data Snooping (com nível de significância  $\alpha_0 = 0,001$ ) como contendo erro grosseiro.
- O nível de significância do Teste Global é estipulado em função do nível de significância arbitrado no Teste Data Snooping, para garantir o mesmo Poder do Teste para ambos (Teunissen, 2000).
- Para se ter uma estimativa da eficiência do Teste Data Snooping na rede que foi ajustada, foi realizado a análise de Confiabilidade Interna da rede, ou seja, foram estimados os valores de Menor Erro Detectável (MDB) de cada observação, considerando um nível de significância de 0,001 (0,1 %) e Poder do Teste de 0,80 (80%). Os valores obtidos de MDB são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1. Valores de MDB obtidos para cada observação (linha-base)

Linha-base	$\Delta X_{AB}$	$\Delta Y_{AB}$	$\Delta Z_{AB}$	$\Delta X_{BC}$	$\Delta Y_{BC}$	$\Delta Z_{BC}$	$\Delta X_{CD}$	$\Delta Y_{CD}$	$\Delta Z_{CD}$	$\Delta X_{DE}$	$\Delta Y_{DE}$	$\Delta Z_{DE}$	$\Delta X_{EF}$	$\Delta Y_{EF}$	$\Delta Z_{EF}$
MDB (m)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04

Linha-base	$\Delta X_{EA}$	$\Delta Y_{EA}$	$\Delta Z_{EA}$	$\Delta X_{EB}$	$\Delta Y_{EB}$	$\Delta Z_{EB}$	$\Delta X_{EC}$	$\Delta Y_{EC}$	$\Delta Z_{EC}$	$\Delta X_{FA}$	$\Delta Y_{FA}$	$\Delta Z_{FA}$
MDB	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04

- Os valores de MDB das observações ficaram entre 2 e 4 cm, estando em torno de 4 a 6 vezes maior do que o valor de desvio padrão das observações.
- Com base nos valores de MDB das observações, foram realizados quatro experimentos se inserção de erros proposital nas observações da rede.

## 5 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

- No primeiro experimento foi inserido um erro de 2 cm na observação  $\Delta X_{EF}$ , que é menor do que o valor de MDB desta observação (4 cm). E, de fato, realizando novamente o ajustamento e aplicando o teste Data Snooping a observação não foi identificada, mostrando que o MDB está bem adequado.
- No segundo experimento foi inserido um erro de - 5 cm na observação  $\Delta X_{EF}$ , ou seja, maior do que o seu MDB (4 cm). Após a realização do ajustamento, a observação foi identificada pelo Teste data Snooping, o que seria esperado com base no valor de MDB.
- No terceiro experimento um erro de 50 cm foi inserido na observação  $\Delta Z_{EF}$  e também na  $\Delta Z_{AF}$ . Nesta situação, depois de realizado o ajustamento, o teste Data Snooping não identificou nenhuma observação suspeita, o que acarretou um erro na coordenada Z do vértice F da rede.
- Este é um exemplo de como o teste Data Snooping pode cair em “armadilha”, mesmo o erro inserido sendo muito maior do que o MDB das respectivas observações.
- No quarto experimento também foi inserido um erro de 50 cm, só que agora nas observações  $\Delta Z_{EC}$  e  $\Delta Z_{EB}$ . Neste cenário, de fato, o Data Snooping identificou as observações corretamente.
- O que difere o experimento 4 do 3 é que para o vértice E se tem mais linhas-base envolvidas do que para o vértice F, ou seja, maior redundância.

## REFERÊNCIAS

- BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. Publications on Geodesy, New Series, v. 2, n. 5, Delft: Netherlands Geodetic Commission, 1968.
- GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 611p.
- KLEIN, I. Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações Geodésicas. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, UFRGS. 2012.
- TEUNISSEN, P.J.G.. Testing Theory: an introduction. 2.ed. Delft: Ed. VSSD, 2006. 147p.