

## 1. INTRODUÇÃO

- O ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) é uma técnica matemática que gera solução única para os parâmetros incógnitos a qual minimiza a soma do quadrado dos erros, mas não leva em consideração a possível interferência de erros não aleatórios (*outliers*) nas observações.
- Sabe-se que os erros de observação, sendo estes somente de origem aleatória, são inerentes aos processos de medida, logo a detecção de erros não aleatórios nas observações se torna ferramenta importante para as ciências geodésicas, aonde tem-se grande preocupação com a precisão e acurácia dos parâmetros que estão sendo estimados, pois estes servirão de base para os demais trabalhos.
- Quando *outliers* entram no processo de ajustamento os parâmetros estimados podem sofrer interferência, comprometendo assim a qualidade dos mesmos.

## 2. OBJETIVOS

- Esta pesquisa objetiva testar e comparar os métodos convencionais e o atual estado da arte no controle de qualidade no ajustamento de observações em duas redes GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) ambas com observações correlacionadas.

## 3. MATERIAIS

- Rede A: retirada de Klein (2012) que foi processada utilizando dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) totalizando 36 observações e 12 parâmetros a serem estimados, ou seja 4 coordenadas 3D (X, Y, Z).
- Rede B: retirada de Wolf (2006) com 36 observações e 12 parâmetros, em ambas as redes tem-se 24 graus de liberdade, mas elas diferem em geometria e configuração.
- Para realização dos cálculos envolvidos foi utilizado o programa Scilab que é um software científico gratuito para computação numérica.

## 4. MÉTODOS

- Métodos formulados na razão de verossimilhança (Testes estatísticos): *data snooping* (DS), Teste Generalizado para Múltiplos Outliers simultâneos (Tq), neste caso para 2 e 3 *outliers* (Tq=2 e Tq=3) e o Teste Global do Ajustamento, mas como este último não fornece a localização da(s) observação(ões) contaminada(s) não será usado.
- Métodos de estimação robusta: Método Dinamarquês para observações correlacionadas (DMCO), Estimador robusto para observações correlacionadas baseado na redução bi fator de pesos (Huber CO) e Estimador robusto para observações correlacionadas baseado na redução de peso através dos números de sensibilidade local (RCOLS).
- Outra proposta, alternativa tanto aos testes estatísticos quanto aos métodos de estimação robusta, é o método QUAD (Detecção quase acurada de *outliers*). Como neste estudo foi efetuado um número muito grande de experimentos a conclusão para a detecção de erros ou não do método foi modificada para que pudesse ser efetuada a análise e comparação com os demais métodos. Em sua essência o método QUAD necessita de um humano para visualizar o gráfico resultante e observar se houve o fenômeno chamado "hive-off" e então selecionar as observações que foram detectadas, mas neste caso esta análise foi modificada por um artifício matemático.
- Realizou-se 5000 experimentos para cada caso em estudo: 1, 2 e 3 *outliers* simultâneos e os mesmos foram gerados aleatoriamente seguindo distribuição uniforme seus valores estão contidos nos intervalos  $[-9\sigma, -3\sigma]$  e  $[3\sigma, 9\sigma]$  onde " $\sigma$ " é o desvio-padrão da respectiva observação sorteada.

## 5. RESULTADOS

- Usando os resultados obtidos dos experimentos para ambas as redes, foram calculadas as taxas de sucesso de cada um dos 7 métodos propostos e plotado um gráfico comparativo para cada rede.

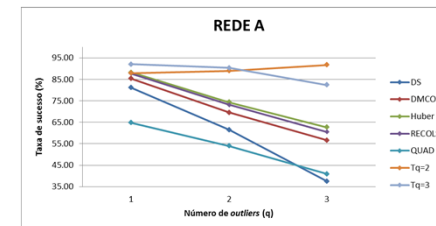


Figura 1- Gráfico das taxas de sucesso em função do número de outliers para a rede A.

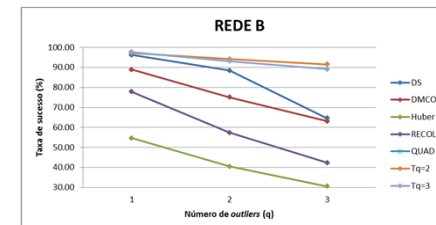


Figura 2- Gráfico das taxas de sucesso em função do número de outliers para a rede B.

## 6. CONCLUSÃO

- Analisando os gráficos percebemos que a taxa de sucesso, em geral, decai conforme aumenta-se o número de *outliers* e os testes que tiveram maior eficiência foram Tq=2 e Tq=3 (entre 82% e 98% para todos os casos testados), enquanto o QUAD teve as menores eficiências entre 65% e 4%, tendo, neste caso, a maior variação dentre todos os métodos. Comparando os métodos de estimação robusta o DMCO apresentou as melhores eficiências para as duas redes à medida que os métodos Huber CO e RECOLS tiveram melhor eficiência na rede B (onde a correlação entre as observações é menor). O DS teve maior eficiência na Rede A (entre 97% e 64%), onde as correlações são maiores, do que na Rede B (entre 82% e 37%). Ressalta-se aqui que o desempenho do método QUAD pode ser aprimorado, pois neste trabalho foi feita uma modificação para que o método não dependesse mais da análise humana para a detecção de erros de observação, o que pode ter acarretado em uma baixa eficiência comparado com o método que foi originalmente proposto.

## REFERÊNCIAS

- Klein, I., 2012. Controle de qualidade no ajustamento de observações geodésicas. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Baarda, W., 1968. A testing procedure for use in geodetic networks. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series.
- Guo, J. F., Ou, J. K. and Wang, H., 2007. Quasi-accurate detection of outliers for correlated observations. Journal of Surveying Engineering.
- Guo, J., Ou, J. and Wang, H., 2010. Robust estimation for correlated observations: two local sensitivity-based downweighting strategies. Journal of Geodesy.
- Huber, P.J., 1964. Robust estimation of a location parameter. Annals of Mathematical Statistics.
- Ghilani, C. D. and Wolf, P. R., 2006. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, 4rd edn. John Wiley & Sons, New York.
- Yang, Y., Song, L. and Xu, T., 2002. Robust estimator for correlated observations based on bifactor equivalent weights. Journal of Geodesy.