

Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações

Seminário Técnico-Científico em Geodésia

Andreza do Santos Rodrigues de Melo

April 11, 2025

Introdução

Introdução

O controle de qualidade no ajustamento de observações é um dos pilares fundamentais da geodésia moderna. Mais do que um processo técnico, ele é um mecanismo de proteção da integridade dos dados, da robustez dos modelos e da confiabilidade dos resultados obtidos.

Em levantamentos geodésicos, erros sempre estarão presentes – sejam aleatórios, sistemáticos ou grosseiros – mas é sobre os erros grosseiros, ou outliers, que recai a atenção principal deste seminário.

Esses erros, quando não detectados, possuem o potencial de distorcer coordenadas, deformar superfícies e comprometer decisões técnicas de alto impacto. Nesse contexto, o controle de qualidade emerge como uma prática indispensável.

Histórico

Origens e Evolução I

A história do controle de qualidade em redes geodésicas remonta à década de 1960, quando Willem Baarda revolucionou o campo ao propor o conceito de *Data Snooping*. Com sua proposta, Baarda introduziu a ideia de confiabilidade estatística como métrica para avaliar a capacidade de uma rede detectar e isolar erros grosseiros.

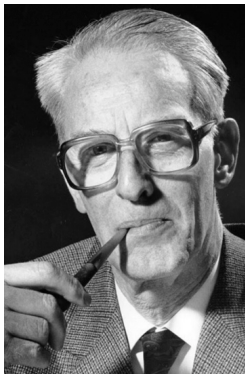


Figure: Willem Baarda

Origens e Evolução II

Autores como Pope, Förstner e Teunissen expandiram essas bases, introduzindo conceitos como confiabilidade interna, vieses minimamente detectáveis (MDBs) e testes generalizados para múltiplos outliers. Estudos como o de Teunissen & Jong (1998) exploram profundamente o uso de MDBs como ferramenta de diagnóstico.



Modelos e Ajustamento

Modelagem Matemática do Ajuste

A estrutura básica do processo de ajustamento pode assumir formas lineares ou não lineares, dependendo da natureza do modelo funcional que descreve a relação entre as observações e os parâmetros a serem estimados.

$$F(x) = 0 \Rightarrow A = \partial F(x_0)$$

No caso mais comum, quando a relação é linear ou pode ser linearizada em torno de uma aproximação inicial, utilizamos o modelo linear geral:

$$Ax + v = l$$

onde A representa a matriz de coeficientes, x o vetor de parâmetros desconhecidos, v os resíduos, e l as observações realizadas.

A solução ótima por mínimos quadrados é então obtida por:

$$\hat{x} = (A^T Q_l^{-1} A)^{-1} A^T Q_l^{-1} l$$

e os resíduos estimados são:

$$\hat{v} = A\hat{x} - l$$

Entretanto, em diversas aplicações geodésicas – como posicionamento por GNSS, interseções espaciais ou nivelamento trigonométrico – o modelo funcional original é não linear. Nestes casos, é necessário aplicar métodos iterativos, como o ajuste de Gauss-Newton, para linearizar o modelo e alcançar a convergência.

Covariância e Qualidade

A matriz de covariância dos resíduos Q_v permite analisar a qualidade do ajuste:

$$Q_v = Q_l - A(A^T Q_l^{-1} A)^{-1} A^T$$

Essa matriz é a base para os testes estatísticos aplicados no controle de qualidade e permite identificar observações incoerentes.

Testes Estatísticos

Testes de Outliers

Os testes de Baarda e Pope comparam a estatística T_i de cada observação com um limiar crítico:

$$T_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}}$$

Se $|T_i| > 2$, a observação é considerada um outlier e deve ser investigada. Estudos mostram que ajustes no peso das observações podem melhorar a detecção de outliers pequenos (Hekimoglu et al., 2011).

Visualização da Detecção de Outlier

A curva normal a seguir mostra uma observação que excede o limiar de confiabilidade estatística.

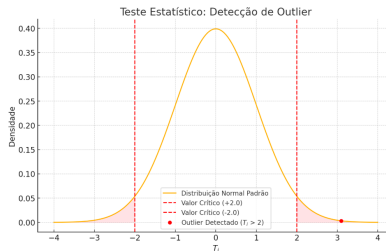


Figure: Distribuição normal e outlier detectado.

No caso, dois desvios-padrões definem o limiar do que serão nossos outliers em geral. Estes estão for demais da faixa aceitável por definição.

Matriz de Redundância

O mapa de calor mostra a matriz de redundância simulada de uma rede. Altos valores indicam forte capacidade de detecção de erros.

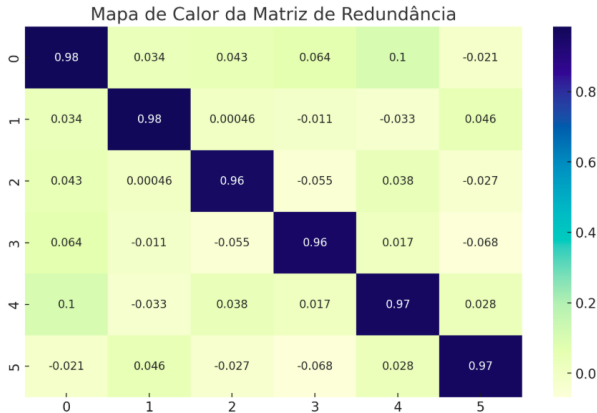


Figure: Heatmap da matriz R (Redundância)

Exemplo com Teste de Baarda

Tabela com aplicação prática do teste de Baarda para 6 observações.

Observação	Resíduo (m)	Desvio Padrão (m)	T_i	Status
O1	0.002	0.005	0.40	OK
O2	-0.005	0.005	-1.00	OK
O3	0.014	0.005	2.80	Outlier
O4	-0.001	0.005	-0.20	OK
O5	0.020	0.005	4.00	Outlier
O6	-0.015	0.005	-3.00	Outlier

Conclusão

Considerações Finais

Mais do que um procedimento técnico, o controle de qualidade no ajustamento de observações representa um compromisso com a precisão e a confiança dos dados. É ele que transforma um conjunto de medições brutas em informações sólidas e interpretáveis, fundamentais para aplicações científicas, cartográficas e de engenharia.

A capacidade de detectar e corrigir erros grosseiros é o que diferencia uma rede confiável de uma rede potencialmente comprometida. Na prática geodésica, essa competência define não apenas a qualidade dos resultados, mas também a credibilidade do profissional ou da instituição responsável. Assim, investir em controle de qualidade é investir na excelência da geodésia moderna.

Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações

Seminário Técnico-Científico em Geodésia

Andreza do Santos Rodrigues de Melo

April 11, 2025

Obrigado!

Dúvidas ou sugestões?