Solução Computacional para Ajustamento de Redes Planimétricas: Software Ajustarrede 2D

Acad. Fernando José Câmara Caldas Lins [1]
Acad. Ivan Dornelas Falcone de Melo [2]
Acad. Ana Carolina Schuler Correia [3]
Profª. Dra. Andrea F. T. Carneiro [4]

UFPE - Depto. de Engenharia Cartográfica
Av. Acad. Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária
50740-530 Recife PE

[1] fernando@itep.br
[2] ivandornelas@uol.com.br
[3] carol_sch@bol.com.br
[4] aftc@npd.ufpe.br

Conteúdo

Resumo: *A implantação de redes planimétricas geralmente exige alta precisão e controle rigoroso dos parâmetros estatísticos. Para garantia da qualidade desses levantamentos, utiliza-se os modelos de ajustamento para encontrar os valores mais prováveis para o posicionamento das estações. Quase sempre as determinações posicionais de rede planimétricas são obtidas através de observações de ângulo e distância, o que determina a utilização de modelos matemáticos que envolvem um grande número de operações. Este artigo apresenta o Programa AJUSTARREDE 2D, desenvolvido por alunos do curso de Engenharia Cartográfica da UFPE com o objetivo de ajustar redes planimétricas.*

Palavras chave: *ajustamento, redes planimétricas, programa*

Abstract: *Generally, planimetric nets needs high precision and rigorous control of the statistical parameters. For guarantee the quality of these surveys, are used adjustment models to find the most probable values to the positioning of the stations. In almost cases, the positional determination of planimetric net is acquired through angle and distance. This fact determines the use of mathematical models that involve a great operation number. This paper presents the program AJUSTARREDE 2D developed for students of Cartographic Engineering course of UFPE to adjust planimetric nets.*

Keywords: *adjustment, planimetric nets, sofware*

1. Introdução

As redes planimétricas consistem em um conjunto de pontos intimamente ligados e materializados no terreno com configuração geométrica pré-definida (SILVA JUNIOR, 1989). Geralmente, a implantação de uma rede se presta à determinação posicional de precisão. Isso é possível devido à abundância de observações que permitem gerar sistemas com maior grau de liberdade, podendo-se, desta forma, aplicar os métodos de ajustamento para determinação dos valores mais prováveis.

Nos dias atuais, a implantação de rede planimétrica é usualmente aplicada em atividades de engenharia, onde há necessidade de alta precisão e confiabilidade nos levantamentos, por exemplo, no controle de deformações de estruturas (viadutos, portos marítimos, barreiras, etc.), suporte para construção de usinas hidroelétricas e barragens que necessitam de um dimensionamento preciso no projeto, na determinação precisa dos limites de propriedade, bem como no planejamento urbano e rural, sendo necessária inicialmente uma rede bem densa de pontos ligados a um bom sistema de referência.

Quase sempre o ajustamento de redes planimétricas envolve significativa quantidade de operações matemáticas. Para tanto, utilizam-se sistemas computacionais para viabilização dos cálculos. Esse trabalho apresenta o software desenvolvido para solução de ajustamento de redes planimétricas através da linearização das equações pela Série de Taylor, para posterior aplicação do método paramétrico.

2. Objetivo

Apresentar o *software* AJUSTARREDE 2D, desenvolvido para obter coordenadas ajustadas dos pontos de uma rede planimétrica através de medições indiretas de distâncias e ângulos.

3. Metodologia

Através de pesquisa bibliográfica, determinou-se a utilização do método paramétrico para o ajustamento das observações. Essa escolha deve-se a facilidade de transformação do modelo para um sistema computacional. Para o desenvolvimento do programa utilizou-se a linguagem de programação Pascal®, sendo montados procedimentos para a realização de cada etapa de cálculo exigido pelo método de ajustamento. Após o desenvolvimento do programa, foram realizados testes de qualidade dos resultados, observando-se sempre os valores corrigidos das coordenadas, o número de iterações e a matriz variância-covariância. Por fim criou-se uma interface amigável para o operador.

4. Método Paramétrico para Ajustamento das Observações

Entende-se por método paramétrico o caso de ajustamento de observações indiretas. No caso do ajustamento de rede planimétrica, deseja-se ajustar as coordenadas dos pontos pertencentes a rede quando se possui observações de ângulo e distância. Nesse caso o modelo matemático utilizado é o apresentado na a seguir:

$X = (A^tPA)^{-1}(A^tPL)$

$X_a = X + X$

Onde:

X é o vetor dos incrementos às incógnitas;

A é a matriz dos coeficientes das incógnitas;

A^t é a matriz transposta de A;

P é a matriz dos pesos das observações;

L é o vetor das observações reduzidas;

X é vetor dos valores aproximados das incógnitas;

X_a eacute; vetor solução do ajustamento das incógnitas.

Sendo assim necessita-se montar, a Matriz A que é formada pelas derivadas parciais das incógnitas X e Y nos pontos de aproximação. Considerando as equações utilizadas no ajustamento, a Matriz P mostra a precisão das observações e suas correlações e o Vetor L que corresponde as observações reduzidas.

5. Desenvolvimento do Programa

5.1 Entrada de Dados

A entrada de dados do programa AJUSTARREDE 2D é feita por arquivo de texto. São necessários dois arquivos: o primeiro com as informações das coordenadas iniciais de cada estação (número da estação, coordenada X, coordenada Y e condição de estação fixa ou não), o segundo arquivo é constituído pelas observações (número da estação, número do ponto visado, observação de distância ou de ângulo e a variância de cada observação).

5.2 Montagem das Matrizes e dos Vetores

A Matriz A é preenchida pelos coeficientes a_i e bi de cada observação, onde i é numero da observação, sendo assim cada observação preenche quatro colunas da matriz A, duas colunas referentes a estação e as outra duas para o ponto visado. As colunas da matriz são duas a duas referentes a cada estação da rede e as linhas se referem a cada observação, sendo primeiro as observações de distância e em seguida as observações de ângulo. Observa-se ainda que as colunas referentes aos pontos fixos da rede devem ser retiradas da matriz A já que as coordenadas dos mesmos não serão ajustadas.

Coeficientes para Observações de Distância:

$$a_i = -\frac{(Xpv - Xest)}{S}$$

$$b_i = -\frac{(Ypv - Yest)}{S}$$

onde:

ai, bi são os coeficientes de distância da observação “i”;

Xpv, Ypv são as coordenadas do ponto visado;

Xest, Yest são as coordenadas da estação;

S é a distância entre o ponto visado e a estação.

Coeficientes para Observações de Angulo:

$$a_i = \frac{(Ypv - Yest)*r}{S}$$

$$b_i = - \frac{(Xpv - Xest)*r}{S}$$

Onde:

ai, bi são os coeficientes de distância da observação "i"

Xpv, Ypv são as coordenadas do ponto visado;

Xest, Yest são as coordenadas da estação;

S é a distância entre o ponto visado e a estação;

r é a constante multiplicativa para compatibilizar as unidades.

É importante salientar que tanto o arquivo de coordenadas iniciais quanto o arquivo das observações deve seguir ordem crescente das estações, os valores das observações angulares dever ser escritas em graus decimais.

A Matriz P é uma matriz quadrada construída a partir do arquivo das observações, onde os valores da diagonal principal correspondem ao inverso do quadrado da variância de cada observação, essa matriz é multiplicada pelo sigma zero a priori que geralmente é uma constante.

O Vetor L corresponde as observações reduzidas, isso é, corresponde a diferença entre os valores observados em campo e as observações calculadas através de funções matemáticas utilizando-se os valores aproximados das incógnitas.

$$L = L_b - L_o$$

Onde:

L é o vetor das observações reduzidas;

Lb é o vetor dos valores de campo;

Lo é o vetor de observações calculadas através de função matemática.

5.3 Incógnita de Orientação

As incógnitas são necessárias já que as observações de ângulo indicam apenas a direção da observação e o ajustamento precisa ser realizado a partir dos azimutes de cada observação, sendo assim torna-se necessário calcular o valor das incógnitas para cada estação.

$$Zi = \frac{\Sigma(AZi - Di)}{n}$$

Onde:

Zi é a incógnita de orientação para cada estação;

AZi é o azimute de cada direção observada;

Di é a direção angular;

n é número de observações.

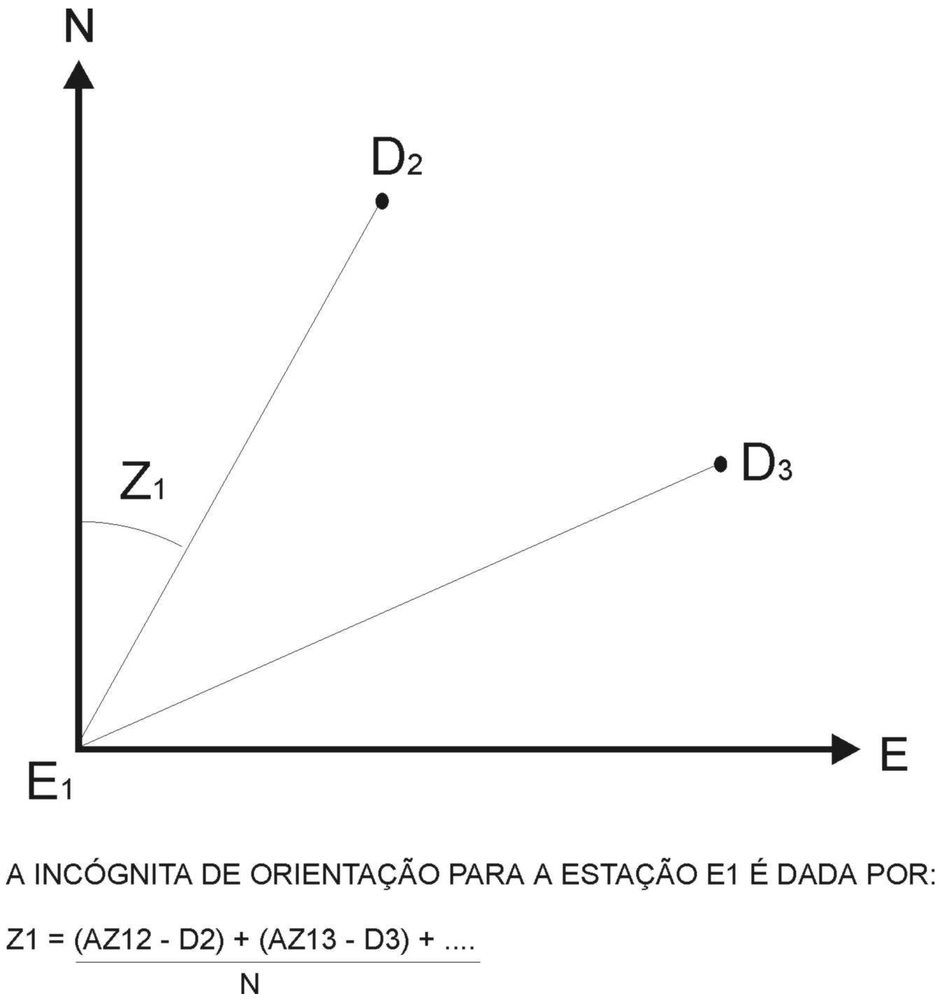

Figura 1 : Exemplo de Cálculo da Incógnita de Orientação)

5.4 Processo Iterativo

O método de ajustamento utilizado no programa apresenta após sua aplicação os valores de correção às coordenadas iniciais (X), o processo deve ser repetido até o momento em que essas correções atinjam um valor pré-determinado, o critério de convergência. É importante salientar que o critério de convergência do modelo está intimamente ligado a precisão necessária para o ajustamento, sendo assim pode-se definir previamente o valor adequado ao ajustamento.

5.5 Análise dos Resultados do Ajustamento

Uma primeira analise que pode ser realizada é o número de iterações realizada pelo programa até atingir os valores do critério de convergência. Outra avaliação que pode ser realizada é a avaliação da matriz variância-covariância, essa análise é mais comum através do estudo das elipses de erros pontuais. Nesse caso as elipses de erros mostra a região de incerteza posicional de cada ponto da rede. Os parâmetros necessários para determinação das elipses de erro são: (a) semi-eixo maior, (b) semi-eixo menor e (θ) ângulo de rotação da elipse.

$$\frac{1}{2}\left(\sigma^2{}_X + \sigma^2{}_Y + \sqrt{\left(\sigma^2{}_X - \sigma^2{}_Y\right) + 4\sigma^2{}_{XY}}\right)$$

$$b^2 = \frac{1}{2}\left(\sigma^2{}_X + \sigma^2{}_Y - \sqrt{\left(\sigma^2{}_X - \sigma^2{}_Y\right) + 4\sigma^2{}_{XY}}\right)$$

$$Tg(2\theta)\frac{2\sigma_{XY}}{\sigma^2{}_Y - \sigma^2{}_X}$$

6. Considerações Finais

O programa AJUSTARRESDE 2D, apesar de se encontrar ainda em fase de desenvolvimento, apresentou resultados satisfatórios em todos os teste realizados. Sua apresentação é uma etapa importante de seu desenvolvimento, pois a utilização em situações reais ou simuladas por outros operadores pode a um curto prazo incentivar melhorias significativas em seu código fonte. É importante salientar que ainda há algumas limitações de uso do programa, em sua maioria referentes ao dimensionamento dos arquivos, porém já está em desenvolvimento uma versão mais nova do programa que devera suprir as limitações da versão atual e proporcionar o ajustamento de redes em três dimensões.

7. Bibliografia

GEMAEL, Camil. *Introdução ao ajustamento de observações:* aplicações geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994.

FARRER, Harry et al. *Programação estruturada de computadores*:pascal estruturado. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

SILVA JÚNIOR, Alcides Ferreira da. *Ajustamento de rede planimétrica:* metodologia e desenvolvimento de “soltware”. Recife, Relatório de Estagio de Graduação – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnolpgia/Departamento de Engenharia Cartográfica, 1989.

SPIEGEL, Murray R. *Estatística*. 6. ed. Traduzido por Pedro Cosentino. São Paulo: McGRAW-HILL do Brasil, 1974. (Coleção Schaum).

O'BRIEN, Stephen, Turbo Pascal 6: completo e total. São Paulo: McGRAW-HILL do Brasil, 1992.