

ANÁLISE DO ALINHAMENTO DA BASE DE CALIBRAÇÃO MULTIPILAR DO LAMEP/UFPE COM PROPOSIÇÃO DE MODELO DE CORREÇÃO

SÍLVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS^{1,2}

ANDREA DE SEIXAS^{1,2}

TARCISIO FERREIRA SILVA²

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

² Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
sjgarnes@gmail.com, aseixas@ufpe.br, tarcisiofs@googlemail.com

RESUMO – A partir dos vértices dos pilares da Base Multipilar utilizada para a calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED) implantada pelo Laboratório de Metrologia Espacial (LAMEP), do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, deseja-se averiguar a linearidade total da base e também interlinearidade entre os parafusos fixos utilizados para a centragem dos equipamentos de medição angular e/ou linear, como distanciômetros, teodolitos e estações totais. O objetivo deste trabalho é determinar através do método da poligonação e de dados de trabalhos anteriores, o alinhamento formado pelos pontos fixos centrados nos pilares da base multipilar de calibração de MED, bem como obter as coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL) da UFPE. Aplicar a regressão linear por meio do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e definir o coeficiente angular da reta para redução das distâncias interpilares no momento da determinação dos parâmetros de calibração dos MED. Os resultados mostraram que existem pequenos desvios na linearidade da base, mas que não chegam a afetar as medidas de distâncias até o centésimo do milímetro.

ABSTRACT- From the vertices of the pillars of multi-pillar base used for the calibration of Electronic Distance Measurement (EDM). Deployed by the Space Metrology Laboratory (SML), of the Department of Cartographic Engineering of UFPE. Wanting to determine the overall linearity of the base and also the linearity between fixed screws used for centering the angular and/or linear measuring equipments such as distance meters, theodolites, and total stations. The purpose of this work is to determine through the traverse method and the data obtained from previous work, the alignment formed by the fixed points centered on the pillars of the multi-pillar base calibration of EDM, and also to get coordinates in Local Geodetic System (LGS) of UFPE, and to apply the linear regression through the Method of Least Squares (MLS) and to define the slope of the line to reduce the inter pillar distances when determining the calibration parameters of the EDM. The results showed that there are small deviations in the linearity of the base, however this does not affect distance of measurement to the hundredth of a millimeter.

1. INTRODUÇÃO

Com a implantação da Base Multipilar da UFPE pelo Laboratório de Metrologia Espacial (LAMEP), do Departamento de Engenharia Cartográfica, no ano de 1990, vêm sendo possível realizar calibração de Medidores Eletrônicos de Distância (MED), definindo o principal das componentes de calibração de campo de um MED, que é a constante aditiva associada à constante do prisma.

Mesmo o LAMEP não fornecendo o certificado de calibração dos instrumentos, tem contribuído sobremaneira na difusão da consciência metrológica na região nordeste do país, principalmente na formação de recursos humanos. Alguns dos trabalhos desenvolvidos na Base Multipilar da UFPE foram: Brandão (1996), Santos (2005), Maranhão *et al.* (2009), Barbosa (2009), Barbosa *et al.* (2010). Na grade curricular do Curso de Engenharia Cartográfica da UFPE, existe a disciplina de Instrumentos de Medição. Nessa disciplina os acadêmicos realizam seus experimentos e põe em prática à calibração de MED. A localidade da Base próxima às salas de aula facilita tal atividade.

Tanto o LAMEP, quanto os Laboratórios de Topografia (LATOP), o Laboratório de Geodésia (LAGEO), o Laboratório de Cartografia Costeira (LACOST) e o Laboratório de Astronomia (LAASTRO), contam com o uso do

software AstGeoTop como uma importante ferramenta no ensino e no processamento de trabalhos científicos e de extensão. Dentre os trabalhos que fizeram uso desse software em suas análises, cita-se: Barbosa (2009), Souza (2012), Silva (2012), Souza (2013a), Souza (2013b), Araújo (2013), Silva (2014), Krueger & Garnés (2013). Sua abordagem atual engloba dentro outros módulos, a transformação de sistemas geodésicos e de coordenadas, incluindo o sistema Geodésico Local (SGL) e o Topográfico Local (STL), como também o de ajustamento de poligonais, bi e tridimensionais utilizando métodos clássicos e/ou dos Mínimos Quadrados (MMQ) com possibilidades de ponderações angulares e lineares diversas, além de um módulo para calibração de MED (GARNÉS, 2014). Estes últimos utilizados para a realização deste trabalho.

Os estudos realizados por Brandão (1996), Santos (2005) e Barbosa (2009), assim como os demais citados anteriormente, partem do princípio que os pilares são interalinhados não necessitando da projeção dos alinhamentos combinados por diferentes medições interpilares obtidas das combinações binárias que se podem formar com todos os vértices da base multipilar. No entanto, sabe-se que a Base não tem seus pilares perfeitamente alinhados, e então, com o aumento da acurácia nos modernos MED, percebeu-se a necessidade de melhorar a modelagem na determinação dos parâmetros de calibração, evitando assim, que correções fossem negligenciadas por falta da modelagem teórica.

Com isso, a investigação realizada neste trabalho é de verificar a falta de linearidade entre os parafusos de fixação dos instrumentos na base multipilar e propor um modelo de correção, que poderia vir a contribuir com outras bases que apresentarem o mesmo problema por caráter construtivo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A calibração de MED tem o propósito de fornecer correções para o processamento de distâncias medidas por procedimentos eletro-ópticos. Essas medidas de distâncias utilizam dois princípios diferentes. Um usando pulso, o qual se baseia na medida do tempo em que o sinal emitido por um transmissor atinge o alvo refletor e volta para o receptor (Figura 1) e outro usando medida de diferença de fase da onda portadora (Figura 2).

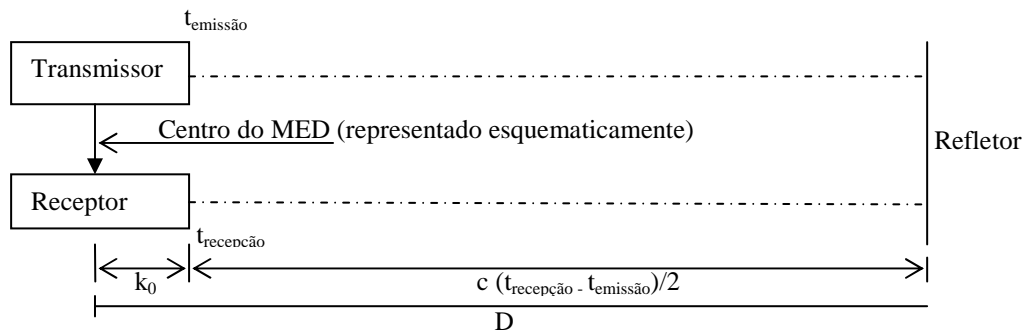
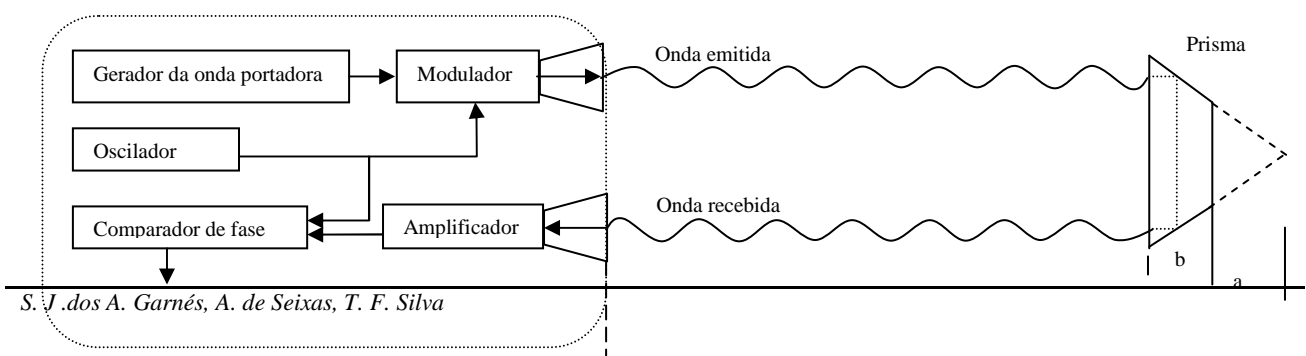


Figura 1 – Medida de distância eletrônica pelo princípio do pulso.
Fonte: Adaptada de Kahmen e Faig (1988)

No princípio de pulso a distância entre o instrumento MED e o refletor ou o prisma é dada pela equação:

$$D = k_0 + c \frac{\Delta t}{2}, \tag{1}$$

onde: k_0 é a constante aditiva para corrigir a distância ao centro do MED; c é a velocidade da luz ao longo do percurso para um índice de refração médio; Δt corresponde ao tempo do percurso de ida e de volta do pulso. Este princípio de medição de distância eletrônica requer osciladores muito precisos, uma vez que para obterem uma distância com erro de 5mm é necessário um oscilador com estabilidade de $3 \cdot 10^{-11}$ segundos (KAHMEN; FAIG, 1988). Equipamentos com esse princípio de medição de distância, por causa da melhoria dos osciladores e diminuição dos custos durante essas últimas décadas, já são comuns no mercado.



S. J. dos A. Garnés, A. de Seixas, T. F. Silva



Figura 2 – Medida de distância eletrônica pelo princípio da comparação da fase
Fonte: Adaptada de Paciléio Netto (1990); Kahmen & Faig (1988); Rueger (1990)

A equação da distância D usando a fase da portadora é dada por (MARTIN, 1983):

$$D = n \frac{\lambda}{2} + \frac{\Phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

Onde: n é a ambiguidade da fase, correspondendo ao número inteiro de ciclos do percurso de ida e volta; λ é o comprimento da onda de frequência f ; Φ é a fase medida no comparador de fase do MED.

Na Figura 2, além da distância D , aparece um termo k_0 e um termo k_p . Esses termos devem ser adicionados à distância D para se obter a distância correta entre o centro do MED e o ponto de referência na vertical no Prisma. Autores como Rueger (1990), Paciléio Netto (1990), Loch e Cordini (1995) tratam k_0 como “constante aditiva” ou “erro de zero”. O termo k_p é a constante do prisma. Alguns autores, como por exemplo, Maia (2003) chama (k_0+k_p) “erro de zero”, “erro de índice” ou ainda “constante de adição”. Kahmen & Faig (1988) também não fazem distinção da constante do prisma e chama (k_0+k_p) como “correção zero”.

Rueger (1990) apresenta a equação que permite obter a constante absoluta do prisma (k_p):

$$k_p = - \left(\frac{n_G}{n_A} a - b \right) \quad (4)$$

Onde: a é a altura do vértice do prisma; b é a distância da face do prisma até o eixo vertical onde a medida deve ser efetuada; n_G é o índice de refração de grupo da luz no vidro; n_A é o índice de refração da luz no ar.

Tratando separadamente k_0 e k_p , os fabricantes procuram fazer com que k_0 seja nulo. Além disso, nos prismas atualmente comercializados para trabalhos de pequenas distâncias, i.e, chegando até 3000m (dependendo do modelo e fabricante), vêm especificada a constante nominal do prisma. Alguns têm opção de encaixe de ambos os lados em suportes apropriados; em que num dos lados, geralmente vale 0mm e no outro lado do suporte vale 30mm ou 35mm. Esses valores devem ser inseridos na configuração da estação total como -30mm e -35mm, respectivamente (NORTH, 2010); (TRIMBLE, 2014); (TOPCON, 2014).

Sabe-se que o valor nominal da constante do prisma é apenas uma referência para correção, pois não corrige totalmente o parâmetro que representa. Então, ao passo que se vai aumentando a exigência das medidas, os erros residuais começam a aparecer. Assim, fica muito difícil separar o erro residual da constante do prisma ($\Delta k_p = k_{p\text{verdadeiro}} - k_{p\text{nominal}}$) com o próprio erro da medida inicial da fase no MED (k_0). A soma desses dois erros associados às excentricidades da base do goniômetro (da estação) e ainda a excentricidade da base do prisma ou mesmo do encaixe do prisma, quando não determinados a priori, será o “erro de zero” ou “constante aditiva” a ser determinado nas bases de calibração.

Outros dois erros comuns que surgem em MED são (MOESER *et al.*, 2000): Erro cíclico de fase; e Erro devido ao fator de escala. Ainda, segundo Moeser *et al.* (2000) e Faggion e De Freitas (2000) para a calibração de MED são necessários: Uma base de calibração; uma base para comparação de comprimentos; um frequencímetro, um fotodetector e um osciloscópio para verificação em laboratório da frequência nominal.

Foge ao escopo desse trabalho a descrição da determinação de tais erros, podendo ser encontrados em Doubeck (1974), Gripp Junior (1986), Paciléio Netto (1990), Cordini (1991), Brandão (1996), Barbosa (2009), entre outros.

No Brasil, têm-se conhecimento de três bases de calibração de MED, todas institucionalizadas nas Universidades: a primeira realizada em 1974 lateralmente a rodovia 277 ligando Curitiba a Paranaguá, possuindo 1.999,86m (DOUBECK, 1974) depois foi transferida para a fazenda Canguiri da UFPR tendo 789,91m (GRIPP JUNIOR, 1986); (FAGGION e DE FREITAS, 2000); outra na Universidade de São Paulo (USP), construída na final da década de 1980, medindo 2.112,14m (PACILÉIO NETTO, 1990) e outra na UFPE, construída no ano de 1990 com comprimento de 167,49m (BRANDÃO, 1996) e depois ampliada para 244,15m em 2007 (BARBOSA, 2009).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A base de calibração de MED da UFPE situa-se no Centro de Tecnologia e Geociências (CTG), está alinhada a uns 2,0m com a face leste do prédio, no canteiro entre a fachada e o pavimento de estacionamento dos professores e funcionários. Conta com sete pilares alinhados e um comprimento aproximado de 167,5 m. Os pilares têm fundação em concreto aproveitando à estrutura do prédio do CTG, e a construção dos pilares são em argamassa e tijolos, suas seções são retangulares e as alturas são variadas conforme mostra o Quadro 01 (BRANDÃO, 1996). No ano de 2007, foi construído um oitavo pilar de concreto no padrão IBGE de densificação de redes geodésicas. Com esse novo pilar o comprimento da Base passou a ser de aproximadamente 244,1m (BARBOSA, 2009).

A Figura 3 ilustra os pilares e suas distribuições geométricas no CTG.

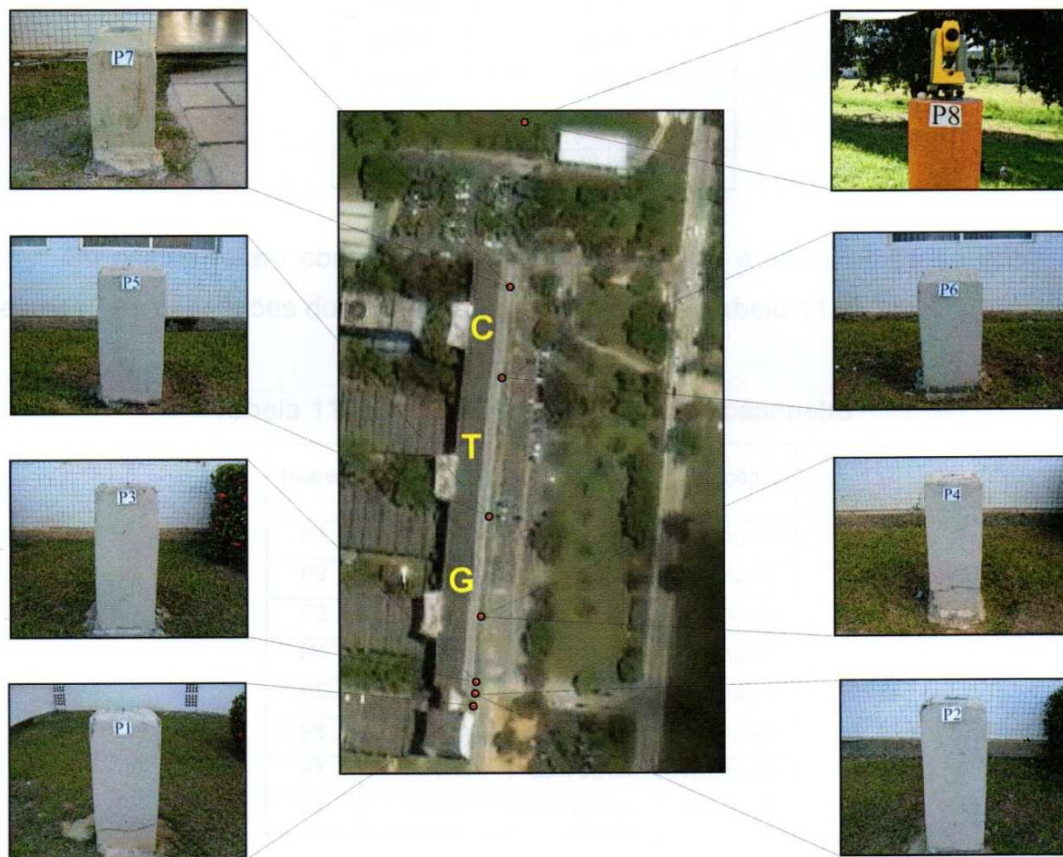


Figura 3 – Distribuição dos pilares e localização da base multipilar no CTG da UFPE.

Fonte: Barbosa; Garnés & Silva (2010)

Quadro 01 – Dimensões e alturas dos pilares da base MED do LAMEP/UFPE

PILAR	Altura acima do terreno	Seção retangular	Distâncias aproximadas
P1	1,02 m	35x40 cm	P1-P2 8,2m
P2	1,02 m	35x40 cm	P2-P3 4,4m
P3	0,96 m	35x40 cm	P3-P4 33,1m
P4	1,05 m	35x40 cm	P4-P5 49,8m
P5	0,88 m	35x40 cm	P5-P6 39,4m
P6	0,74 m	35x35 cm	P6-P7 32,2m
P7	0,77 m	35x35 cm	P7-P8 76,6m
P8	1,50 m	30cm – seção cilíndrica	

Fonte: Brandão (1996); Barbosa (2009)

Os experimentos realizados nesse trabalho ficaram concentrados nos sete primeiros pilares. Num primeiro momento foram analisados os dados apresentados por Brandão (1996), no qual estabeleceu as coordenadas dos pilares por ajustamento de rede envolvendo medições de ângulos e distâncias, com ajustamento e análise de redes auxiliados pelo *software* NETZ2D versão 1990 desenvolvido na Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Das coordenadas ajustadas procederam-se os cálculos dos azimutes, rumos, ângulos e distâncias.

No experimento atual foi medida uma poligonal topográfica passando pelos pilares. Usaram-se duas séries de medidas angulares pelo método das direções. Os equipamentos utilizados foram: uma Estação Total Topcon GPT3200 N/NW nº do patrimônio 122/2012 UFPE, precisão angular 5" e linear (5mm + 5ppm); um prisma circular nº do patrimônio 7416/2013 UFPE; duas bases nivelantes com adaptadores base – prisma com centragem óptica. A poligonal foi ajustada pelo MMQ para verificar a qualidade do posicionamento obtido. Nesta fase os processamentos foram realizados no software AstGeoTop.

A Base Multipilar também foi georreferenciada ao Sistema Geodésico Local (SGL) da UFPE conforme origem definida por Mendonça *et al.* (2010), cujas coordenadas em SIRGAS2000 são: latitude geodésica 8°03'03,46970"S; longitude geodésica 34°57'05,45910"W; e altitude elipsoidal 4,217m. As coordenadas geodésicas dos pilares P1 e P2 foram obtidas por transporte de coordenadas - poligonação a partir do EPS07 e EPS04 da rede geodésica do *campus* Joaquim Amazonas da UFPE. A rede geodésica do *campus*/UFPE foi rastreada por GNSS e processada por Vila Flor (2010). As coordenadas geodésicas utilizadas nesse trabalho para esses dois pilares foram: P1: -8°03'16,11577"S; 34°57'15,48912"W; 4,239m; P2: -8°03'15,84708"S; 34°57'15,46082"W; 4,348m. Tais coordenadas não se tratam de coordenadas definitivas ainda, mas já servem ao propósito de georreferenciar e definir a orientação da Base Multipilar.

Fez-se uma rotação e translação de eixos no Sistema Topográfico "Arbitrário" definido por Brandão (1996) e pôde-se checar as coordenadas e também os ângulos horários entre os pilares P1P2P3, P2P3P4, P3P4P5, P4P5P6, P5P6P7, na comparação com a poligonação atual.

Com as coordenadas (x,y), no SGL, dos sete pilares, fez-se um ajustamento por MMQ e definiu-se o coeficiente angular da reta (a) e o coeficiente linear (b).

$$y = a x + b \tag{1}$$

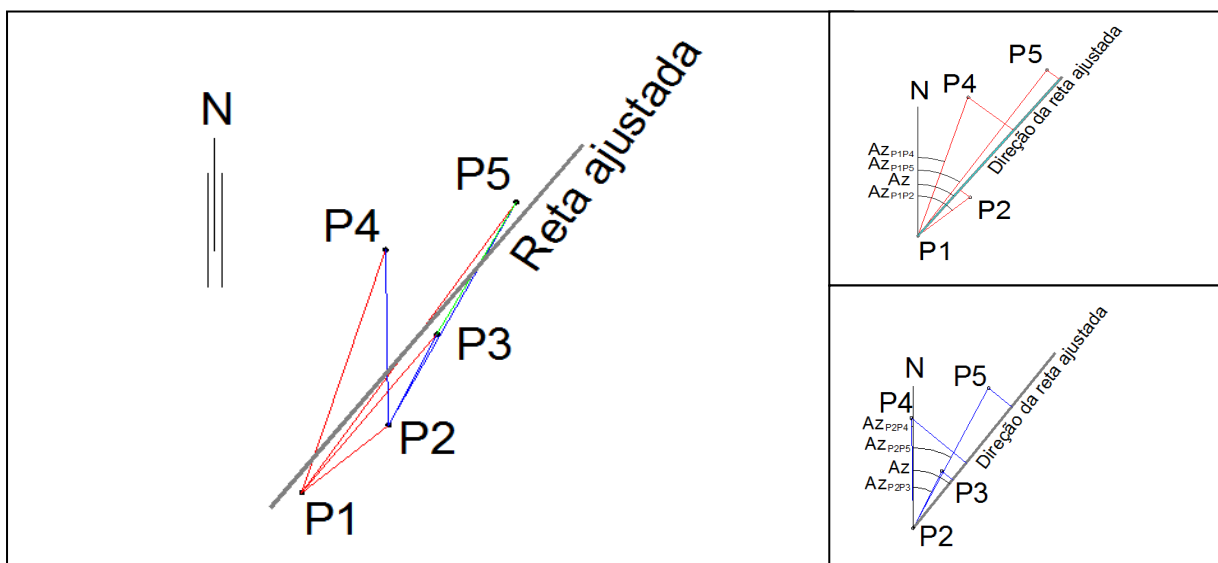
As estimativas dos coeficientes da equação da reta (1), por MMQ são obtidas em termos de somatórias resolvendo-se as equações normais de mínimos quadrados $(A^T A)x = A^T L_b$ (GEMAEL, 1994), cuja solução na forma literal são:

$$\hat{a} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad \hat{b} = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i + \sum x_i^2 \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{3}$$

O azimute (Az) da reta ajustada se relaciona com o coeficiente angular estimado da reta, pela seguinte equação:

$$tg(Az) = \frac{1}{\hat{a}} \tag{4}$$

De posse das coordenadas ajustadas e georreferenciadas de todos os pilares, calcularam-se os azimutes de todos os alinhamentos irradiados a partir desse ponto, conforme ilustra a Figura 4. Na figura 4 é evidenciado o exagero na falta de alinhamento para benefício da clareza. Todas as distâncias medidas devem ser projetadas numa reta que se inicia no ponto origem das irradiações e que tem azimute igual à reta ajustada pela Equação (4). Dessa forma, garantem-se que as distâncias ficarão projetadas todas em retas paralelas.



S. J. dos A. Garnés, A. de Seixas, T. F. Silva

Figura 4 – Reta de ajuste e direção para a projeção das distâncias no alinhamento entre os pilares.

As distâncias horizontais a serem utilizadas no cálculo da calibração devem ser as projetadas na reta, cuja direção coincide com a direção ajustada. Como tal reta advém da minimização dos resíduos por MMQ, as distâncias projetadas serão no computo total da combinação das distâncias entre os pilares as de menores diferenças do que aquelas que se poderia obter se fosse escolhido um alinhamento qualquer usando dois pilares como referência. A equação que permite reduzir as distâncias no alinhamento ajustado é:

$$\bar{d}_{ij} = \cos(Az - Az_{ij})d_{ij} = \cos(\alpha_{ij})d_{ij}, \tag{5}$$

Onde: \bar{d} é a distância projetada na direção da reta ajustada; Az_{ij} representa o azimute entre o pilar i e o pilar j ; Az é o azimute da reta ajustada obtido pelas Equações (3) e (4); d_{ij} é a distância horizontal medida entre o pilar i e o pilar j ; e α_{ij} é o ângulo formado entre o alinhamento do pilar i e j com a reta ajustada tendo origem no pilar i .

O conjunto de distâncias projetadas formará o sistema de equações de observação para realizar o ajustamento, que determinará a constante aditiva (k_0) do conjunto MED e prisma.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 ilustra os resultados obtidos por Brandão (1996) da rede de melhor *design* e do ajustamento realizado com o *software* NETZ2D. Uma rede de melhor *design* é aquela que apresenta uma melhor configuração de seus vértices e respectivas elipses de erro. A Tabela 1 apresenta os ângulos no sentido horário entre os pilares, azimutes, rumos e distâncias em relação ao STL Arbitrário.

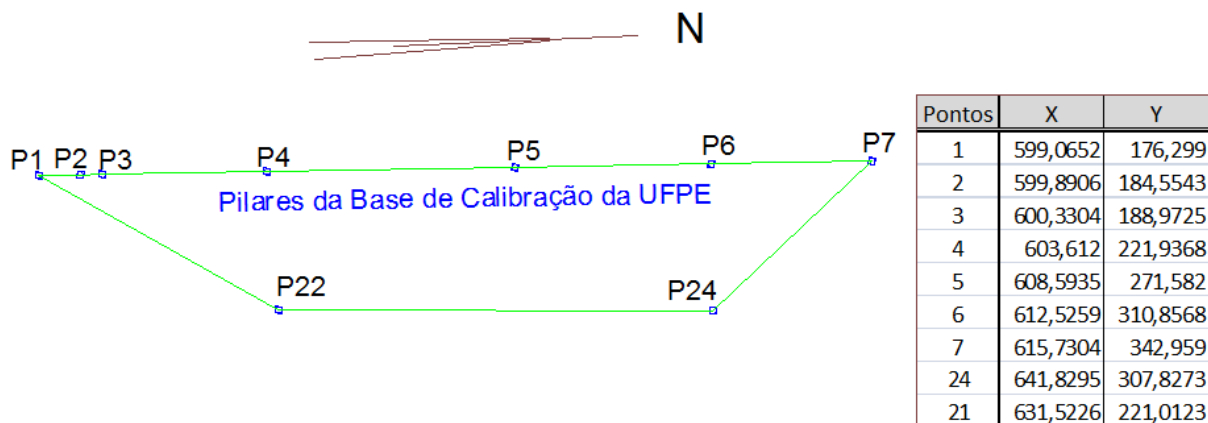


Figura 5- Poligonal da rede planimétrica de ótimo *design* definida por Brandão (1996).

Tabela 1 – Planilha topográfica dos pontos da rede definida por Brandão (1996)

Est.	Vante	Ângulo	Azimute	Rumo	distância	X(m)	Y(m)
P1	P2	329°44`01,6"	5°42`34,9"	5°42`35"NE	8,296	599,0652	176,2990
P2	P3	179°58`29,9"	5°41`04,8"	5°41`05"NE	4,440	599,8906	184,5543
P3	P4	180°00`01,5"	5°41`06,3"	5°41`06"NE	33,127	600,3304	188,9725
P4	P5	180°02`41,7"	5°43`48,0"	5°43`48"NE	49,895	603,6120	221,9368
P5	P6	179°59`15,7"	5°43`03,7"	5°43`04"NE	39,471	608,5935	271,5820
P6	P7	179°58`58,0"	5°42`01,7"	5°42`02"NE	32,262	612,5259	310,8568
P7	P24	317°41`28,0"	143°23`29,7"	36°36`30"SE	43,765	615,7304	342,9590
P24	P22	223°22`44,5"	186°46`14,2"	6°46`14"SW	87,425	641,8295	307,8273
P22	P1	209°12`19,1"	215°58`33,3"	35°58`33"SW	55,252	631,5226	221,0123

Os elementos da poligonal após a rotação e translação da poligonal são mostrados na Tabela 2. As variações que ocorrem nos ângulos são devidas aos arredondamentos na quarta casa decimal das coordenadas. A Tabela 2 apresenta os ângulos no sentido horário entre os pilares, distâncias, azimutes e as coordenadas no SGL do *campus* da UFPE.

Tabela 2 – Planilha topográfica da rede definida por Brandão (1996), coordenadas no SGL do *campus* da UFPE

Est.	Vante	Ângulo	distância	Azimute	X(m)	Y(m)
------	-------	--------	-----------	---------	------	------

P1	P2	329°44'02,1"	8,296	5°59'32,3"	149692,8901	249611,4971
P2	P3	179°58'29,9"	4,440	5°58'02,2"	149693,7562	249619,7478
P3	P4	180°00'01,5"	33,127	5°58'03,7"	149694,2177	249624,1637
P4	P5	180°02'41,7"	49,896	6°00'45,4"	149697,6619	249657,1111
P5	P6	179°59'15,7"	39,471	6°00'01,1"	149702,8883	249706,7325
P6	P7	179°58'58,0"	32,262	5°58'59,1"	149707,0144	249745,9872
P7	P24	317°41'27,9"	43,765	143°40'27,0"	149710,3772	249778,0734
P24	P22	223°22'44,2"	87,425	187°03'11,3"	149736,3026	249742,8136
P22	P1	209°12'19,0"	55,252	216°15'30,2"	149725,5677	249656,0500

A solução das Equações (3) e (4), pode ser obtida mediante um simples código de programação no MatLab apresentada a seguir usando a decomposição QR (Quadro 02). Sobre a decomposição QR, como aplicá-la em MMQ e suas vantagens pode ser encontrado em Garnés (1996).

Quadro 02 – Código em MatLab para encontrar o coeficiente angular da Reta

```
% Cálculo do coeficiente angular da reta por MMQ
% Autores: Garnés; Seixas; Silva - V SIMGEO, Recife-PE,2014
clear; clc; format long g
% Coordenadas Brandao (1996) rotacionadas ao SGL
x=[149692.8901 149693.7562 149694.2177 149697.6619 149702.8883 149707.0144 149710.3772]
y=[249611.4971 249619.7478 249624.1637 249657.1111 249706.7325 249745.9872 249778.0734]
for i=1:size(x); A(i,1)=x(i); A(i,2)=1; end
p=A\y; a=p(1) % coeficiente angular da reta
Az=(180/pi)*atan(1/a) % azimuth da reta ajustada
```

Aplicando o código acima o resultado para a reta de ajuste por MMQ tem como coeficiente angular: $a = 9,52274300169285$, correspondendo ao azimuth de: $Az = 5,99475938335823^\circ$ ou $Az = 5^\circ59'41,13''$.

Na Tabela 3 segue a planilha do levantamento realizado atualmente por poligonização.

Tabela 3 – Planilha topográfica do levantamento atual, coordenadas no SGL do *campus* da UFPE

Estação	Vante	Ângulo	Azimute	Rumo	distância	X	Y
P1	P2	359°59'53,7"	5°59'31,5"	5°59'32"NE	8,300	149692,8901	249611,4971
P2	P3	179°59'48,2"	5°59'19,7"	5°59'20"NE	4,439	149693,7565	249619,7513
P3	P4	179°59'16,0"	5°58'35,7"	5°58'36"NE	33,127	149694,2196	249624,1657
P4	P5	180°03'23,3"	6°01'59,0"	6°01'59"NE	49,890	149697,6688	249657,1122
P5	P6	179°56'28,3"	5°58'27,3"	5°58'27"NE	39,481	149702,9123	249706,7255
P6	P7	180°00'06,4"	5°58'33,7"	5°58'34"NE	32,258	149707,0215	249745,9916
P7	P1	0°01'04,1"	185°59'37,8"	5°59'38"SW	167,493	149710,3800	249778,0747

Aplicando o código do Quadro 02, o resultado para o coeficiente angular da reta é: $a = 9,51854381621156$, correspondendo ao azimuth de: $Az = 5,99738475063492^\circ$ ou $Az = 5^\circ59'50,59''$.

Do cálculo do azimuth de todas as combinações das linhas usadas para determinar a constante aditiva, montou-se a Tabela 4 com os dados obtidos por Brandão (1996) e para a poligonal levantada. As distâncias apresentadas foram calculadas a partir das coordenadas apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Para obter o ângulo α foi utilizado o módulo de cálculo de transformação de coordenadas retangulares para polares por irradiação do *software* AstGeoTop, cujos azimuths são mostrados na Figura 6.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que usando a projeção da falta de alinhamento dos pilares na reta ajustada para todas as distâncias, a maior discrepância ficou na ordem do centésimo do milímetro do pilar P4 para o P5. Esta falta de alinhamento não é, por exemplo, a causa da diferença de 1cm que está ocorrendo na distância entre os pilares P5-P6 quando comparados ambos os dados usados. No entanto, era uma das possibilidades que poderia comprometer os resultados da calibração. Essa diferença indica que outras investigações devem ser conduzidas.

Na Base Multipilar da UFPE, o erro da falta de alinhamento não é significativo para o estágio atual da precisão dos MED (ver, por exemplo: InfoGNSS (2008)), os mais precisos estão na casa do décimo do milímetro) de forma a comprometer a calibração e mesmo que fosse a modelagem proposta resolveria esse problema. Tal modelagem pode ser automatizada nos softwares de processamento e vir a ser útil para essa Base quando a precisão dos MED tiver atingindo o centésimo do milímetro.



Figura 6 – Transformação de coordenadas retangulares para polares no modo irradiação.
Fonte: AstGeoTop(2014). Versão do módulo: copyright 2011.

Tabela 4 – Valores dos ângulos para a reta de ajuste e distâncias projetadas.

Alinhamento	Usando dados de Brandão (1996) Az = 5°59'41,13"			Usando dados da poligonização atual Az=5°59'50,59"		
	Ang. α p/ reta	Distância(m)	\bar{d} (m)	Ang. α p/ reta	Distância(m)	\bar{d} (m)
P1 –P2	0°00'07,93"	8,296	8,295999	0°00'19,09"	8,300	8,299999
P1 –P3	0°00'40,93"	12,736	12,735999	0°00'23,19"	12,738	12,737999
P1 –P4	0°01'21,43"	45,863	45,862996	0°01'00,09"	45,865	45,864998
P1 –P5	0°00'05,63"	95,759	95,758999	0°00'37,91"	95,754	95,753998
P1 –P6	-0°00'01,87"	135,230	135,230000	-0°00'02,51"	135,235	135,235000
P1 –P7	0°00'06,53"	167,492	167,491999	0°00'12,79"	167,493	167,4929999
P2 –P3	0°01'42,63"	4,440	4,439999	0°00'30,89"	4,439	4,438999
P2 –P4	0°01'37,63"	37,567	37,566995	0°01'09,69"	37,565	37,564997
P2 –P5	0°00'05,43"	87,463	87,462999	-0°00'43,31"	87,455	87,454998
P2 –P6	-0°00'02,57"	126,934	126,934000	-0°00'03,91"	126,935	126,935000
P2 –P7	0°00'06,53"	159,196	159,195999	0°00'12,49"	159,194	159,193999
P3 –P4	0°01'37,03"	33,127	33,126996	0°01'14,89"	33,127	33,126997
P3 –P5	0°00'00,23"	83,023	83,023000	-0°00'47,21"	83,016	83,015997
P3 –P6	-0°00'06,37"	122,494	122,493999	-0°00'05,21"	122,497	122,497000
P3 –P7	-0°00'03,73"	154,756	154,756000	0°00'11,89"	154,755	154,754999
P4 –P5	-0°01'03,97"	49,896	49,895997	-0°02'08,41"	49,890	49,889990
P4 –P6	0°00'44,67"	89,367	89,366997	-0°00'34,91"	89,370	89,369998
P4 –P7	-0°00'21,67"	121,629	121,289993	-0°00'05,21"	121,629	121,629000
P5 –P6	-0°00'19,91"	39,471	39,470999	0°01'23,29"	39,481	39,480996
P5 –P7	0°00'07,83"	71,733	71,732999	0°01'20,39"	71,739	71,738994
P6 –P7	0°00'42,13"	32,262	32,261999	0°01'16,89"	32,258	32,257997

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve o objetivo de verificar a falta de linearidade entre os parafusos de fixação dos instrumentos na base multipilar do LAMEP/DECart/UFPE e propor um modelo de correção. Para isso foram utilizados os dados apresentados em (BRANDÃO, 1996) e os dados obtidos durante este trabalho a partir do levantamento de uma poligonal fechada sobre os pilares da base multipilar.

Pela análise minuciosa a respeito do alinhamento entre os pilares da Base da UFPE, chegou-se ao resultado de que a não linearidade encontrada só passaria a afetar as distâncias usando o modelo de projeção proposto, quando estas distâncias estiverem sendo obtidas no centésimo do milímetro, o que ainda não é o caso para os atuais MED. No entanto, o modelo proposto constitui-se numa proposta às correções de bases multipilares, que por motivos construtivos a linearidade não ocorrer.

AGRADECIMENTOS

Aos alunos da disciplina Instrumentos de Medição do Curso de Engenharia Cartográfica do período 2014.1. Pois, com grande entusiasmo se empenharam no propósito da aquisição dos dados que gerou a poligonização atualmente usada, servindo de comparação com dados anteriormente disponibilizados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. I. P. de. Geodésia aplicada aos estudos de verticalização de edifício predial de grande porte. Recife, 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco.

BARBOSA, F. S. **A escala do basímetro linear aplicação: base multipilar do UFPE**. Recife, 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco.

BARBOSA, F. S.; GARNÉS, S.J.A.; SILVA, T. F. A escala da base multipilar da UFPE. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais eletrônicos**. Recife: UFPE, 2010. Disponível em : < http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/ > Acesso em: 28 jul. 2014.

CORDINI, J. **Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos**. Curitiba, 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BRANDÃO, A. C. **Possibilidades de emprego de um campo de pontos planimétrico como definidor de um comparador de distâncias colineares**. Curitiba, 1996. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geodésia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

DOUBEK, A. **Uma base de aferição**. Curitiba, 1974. 72 f. Tese de grau de mestre em Ciências. Departamento de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

FAGGION, P. L.; DE FREITAS, S. R. C. Determinação do fator de escala em estações totais e medidas utilizando observações de campo e laboratório. In.: **RBC – Revista Brasileira de Cartografia**. n.52, dezembro, 2000. p. 20-28.

InfoGNSS Geomática. Mais escrituras do que terra. N.25, 2008.

GARNÉS, S. J. A. AstGeoTop 2014. **Software**. Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Compilação jul. 2014.

GARNÉS, S. J. A. **Ajustamento paramétrico por mínimos quadrados com análise na estabilidade da solução**. Curitiba, 1996. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geodésia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL C. (1994). **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Editora da Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

GRIPP JUNIOR. J. **Calibração de distanciômetros eletrônicos com medidas de campo**. Curitiba, 1986. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: Walter de Gruyter, 1988.

KRUEGER, C. P.; GARNÉS, S. J. A. Avaliação de trajetórias cinemáticas com o emprego do posicionamento por ponto preciso. In. VII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2013. Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UFPR, 2013.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea: planimetria**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

MAIA, T. C. B. Distâncias. In: A.B. THUM; SILVA, C.A.U.; ERGA, D. A. (org); SOUZA, G.C.de; VERONEZ, M.R.;LEANDRO, R. F.; MAIA, T.C.B. **Topografia: para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia**. São Leopoldo-RS: Editora Unisinos, 2003. p.II 1 - II 35.

MARANHÃO, V. C.; SILVA, M.B. da. GARNÉS, S.J.A. Calibração das estações totais Trimble 3305 no basímetro do CTG/UFPE para medidas eletrônicas de distâncias. In. VI CBCG – Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2009. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2009.

MARTIN, F. A.: **Geodesia y cartografía matemática**. Madrid: Editorial Paraninfo, 1983.

MATHWORKS. MatLab R2010b. The Language of Technical Computing. Software. Copyright 1984-2010. MathWorks, Inc. Versão 7.11.0.584.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S.J.A.; PEREIRA, C. M.; BARROSO NETO, J. A. MELO, W. D. A. Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos UTM e topocêntrico. In: III SIMGEO – Simpósio brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais eletrônicos...** Recife: UFPE, 2010. Disponível em: < http://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/ > Acesso em: 28 jul. 2014.

MOESER, M.; MUELLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. (Org.) **Handbuch ingenieurgeodaesie: grundlagen**. 3 ed. Heidelberg: Wichmann, 2000.

NORTH. **Surveying and positioning systems**. Operating Manual. NXR Series Total Satation. North Group LTD, 2010.

PACILÉO NETTO, N. **Calibração de medidores eletrônicos de distância, construção de uma base multipilar na USP e metodologia de aferição**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São de Paulo – Engenharia Civil, 1990, 187p. Tese de Doutorado.

RUEGER, J.M. **Electronic Distance Measurement**. 3 Ed. Berlin: Springer-Verlag.,1990.

SANTOS, F.A.F. dos. **Determinação da constante aditiva das estações totais Trimble 3305 e 3303 na base multipilar da UFPE**. Trabalho final de graduação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SOUZA, W. O. Aplicação de métodos para determinação do desvio da vertical na integração de posicionamento GNSS com levantamentos topográficos. Recife, 2012. 174 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Centro de Tecnologias e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, A. N. **Avaliação das coordenadas GNSS obtidas pelo posicionamento cinemático RTK/NTRIP e PPP**. Recife, 2013a. 155 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Centro de Tecnologias e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, W. O. **Modelagem do movimento da placa tectônica sul-americana por meio de dados VLBI e GNSS**. Recife, 2013b. 174 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Centro de Tecnologias e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, G. P. da. Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil. Recife, 2014. 174 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Centro de Tecnologias e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVA, C. V. A. Estudos das discrepâncias relativas entre altitudes ortométricas e geométricas e suas implicações em trabalhos de engenharia. Recife, 2012. 130 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Centro de Tecnologias e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco.

TOPCON. **Instruction Manual: Pulse Total Station – GPT 3000 Series.** Disponível em: <<http://hayeshelp.com/manuals/tps/GPT-3000ENG.PDF>> Acesso em: 28 jul 2014.

TRIMBLE 3300 DR. **Manual Del usuario.** Disponível em: <https://www.google.com.br/?gfe_rd=cr&ei=54PWU5DtC8nEgATcq4CYAQ&gws_rd=ssl#q=manual+estacion+total+trimble+3305>. Acesso em : 28 jul 2014.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal.** Trabalho final de graduação. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.