

DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A LOCAÇÃO DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS - ÁREA EXPERIMENTAL: BAIRRO DA MADALENA, RECIFE – PE

GLEICE PEREIRA DA SILVA¹

ANDRÉA DE SEIXAS²

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologia e Geociências

¹Departamento de Engenharia Civil

²Departamento de Engenharia Cartográfica

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária. CEP: 50740-530 - Recife – Pernambuco

¹gleice750@ig.com.br; ²aseixas@ufpe.br

RESUMO – O ritmo acelerado da Construção Civil em diversas cidades brasileiras, envolvendo construção de estradas, moradias, edifícios governamentais, escolas, dentre outras é bastante perceptível nos últimos dez anos. Ressalta-se o desenvolvimento acelerado na Região Nordeste Brasileira e principalmente no Estado de Pernambuco, com a construção do estaleiro e área industrial de Porto Suape; Transposição do Rio São Francisco; Transnordestina e as Cidades da Copa de 2014, assim como a construção de edificações prediais por toda a Região Metropolitana do Recife (RMR) em um curto intervalo de tempo. O controle posicional e dimensional são etapas de grande importância durante o planejamento e execução de uma obra. Caso isso seja negligenciado, pode trazer conseqüências desastrosas, as quais poderão repercutir diretamente na construção da obra, provocando defeitos. Portanto, é necessário um controle rigoroso nos métodos topográficos/geodésicos empregados para a determinação de pontos de referência e pontos-objeto. Este trabalho tem o objetivo de apresentar a metodologia empregada para a definição de Sistema de Referência para a locação de edificações prediais com o emprego de receptores GNSS de dupla frequência e estação total. Com isto foram empregados os métodos de posicionamento GNSS relativo estático e os métodos da poligonação, interseção a vante e a ré, bilateração e irradiação dupla. As estruturas geodésicas implantadas com receptores GNSS serviram para o georreferenciamento e definição de um Sistema Topográfico Local SIRGAS2000. Apesar da NBR 14645-3/2005 recomendar o método da poligonação para a definição do Sistema de Referência para a locação, neste trabalho, também foram utilizados os demais métodos citados acima. Os mesmos foram confrontados e analisados, constatando-se o emprego destes para a definição do Sistema de Referência para a locação.

ABSTRACT – The fast pace of building in several Brazilian cities, involving construction of roads, houses, government buildings, schools, among others is quite noticeable in the last ten years. We highlight the rapid development in the Brazilian Northeast, and particularly in the state of Pernambuco, with the construction of the yard and industrial area around the Suape port; the transposition of the São Francisco River; the Transnordestine roads and the 2014 World Cup stadiums, as well as the increasing number of new buildings throughout the Recife Metropolitan Region (RMR) in a short time interval. In this scenario, the positional and dimensional control consist of very important steps during the planning and execution of a work. If this is neglected, disastrous consequences may take place, which could impact directly in the construction work, causing a variety of defects. Therefore, it is necessary to carefully control the topographic / geodetic methods employed for the determination of reference points and object points. This paper aims to present a methodology for the definition of the Reference System for the location of building constructions with the use of dual frequency GNSS receivers and total stations. With this positioning methods on static GNSS and methods of traversing, backward intersection, forward intersection, bilateration and double irradiation were employed. The geodetic GNSS receivers implanted structures served to georeferencing and to the definition of a Topographic System Local SIRGAS2000. Despite the fact that NBR 14645-3/2005 recommends the method to traverse the definition of the Reference System for the location, in this work, the other methods mentioned above were used. They were compared and analyzed; we emphasize the employment of these methods for the definition of the Reference System for the location.

1 INTRODUÇÃO

O pujante crescimento do país nos últimos dez anos provocou um aumento considerável no número de obras de construção civil, sejam elas estradas, moradias, edifícios governamentais, escolas, dentre outras. Ressalta-se o desenvolvimento acelerado na Região Nordeste Brasileira e principalmente no Estado de Pernambuco, com a construção do estaleiro e área industrial de Porto Suape; Transposição do Rio São Francisco; Transnordestina e as Cidades da Copa de 2014, assim como a construção de edificações prediais por toda a Região Metropolitana do Recife (RMR) em um curto intervalo de tempo.

É importante ressaltar que a locação e o controle posicional e dimensional são etapas de grande importância durante a execução da obra. Quando o controle posicional e dimensional é negligenciado, pode trazer conseqüências desastrosas, as quais poderão repercutir diretamente na construção da obra, provocando defeitos. Caso os mesmos sejam descobertos a tempo, poderão ser contornados com um custo adicional reduzido, caso contrário, tem-se que recomeçar a obra do início, comprometendo assim, seriamente, o custo da obra.

Os Métodos com base nos Sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System, em português Sistema Global de Navegação por Satélite) e os Métodos Terrestres de Medição, tais como: Poligonação, Interseção a Vante e a Ré, Irradiação, Bilateração, são neste cenário métodos técnicos para a execução e acompanhamento das obras. Estes favorecem a locação e o controle geométrico de estruturas da Construção Civil, pois garantem uma exatidão compatível com as tolerâncias expressas nas normas ou compatíveis com a precisão do equipamento empregado. O emprego dessas tecnologias melhora, portanto, o desempenho geométrico da obra, garantindo uma confiabilidade posicional dos elementos estruturais da obra.

Para este trabalho foi escolhida uma área de estudo que fica localizada na Região Metropolitana do Recife, no Bairro da Madalena, que foi denominada de Área de Estudo 1 - Madalena. Nesta área, foram implantadas estruturas geodésicas para o controle de locações realizadas em uma Obra de Construção Civil (edificação predial).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma metodologia para a definição e análise de pontos de referência (estruturas geodésicas), localizadas no entorno de uma quadra urbana e densificadas na área de execução da obra. No intuito de serem utilizados para a locação de eixos de pilares de uma edificação.

2 MÉTODOS PARA A DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A LOCAÇÃO

A definição de um Sistema de Referência é muito importante para a locação, pois através deste os pontos a serem locados serão demarcados no terreno de acordo com sua posição definida no Sistema de Referência. Ressalta-se neste trabalho o conhecimento sobre o método da poligonação, métodos de interseção a ré e vante, método da irradiação dupla e método da bilateração, todos com centragem forçada, e o método de posicionamento por satélite: relativo estático, para a densificação e o georreferenciamento das estruturas geodésicas.

Quando se dispõem de observações redundantes é possível efetuar o ajustamento das observações. Segundo Gemael (1994) quando se trata de observações é necessário abrir mão da verdadeira grandeza de uma medida e considerar o valor de mais confiança, pois todas as medidas possuem erros. Os modelos empregados no ajustamento das observações para se obter este valor de mais confiança são os modelos: paramétricos, correlatos e combinados.

2.1 Métodos de posicionamento GNSS relativo estático

No Posicionamento Relativo Estático são necessários dois ou mais receptores de rastreamento para determinação do ponto. Neste método os receptores são empregados simultaneamente, com satélites visíveis em um intervalo de tempo, que pode variar de no mínimo vinte minutos até algumas horas. Nesse método, as observáveis utilizadas são as duplas diferenças (DD) da onda portadora, embora possa ser utilizado a DD da pseudodistância, ou ambas. Coloca-se, um receptor, como base na estação de referência, com coordenadas conhecidas, e instala-se o outro receptor, nas estações em que se deseja determinar suas coordenadas (MONICO, 2008). Quando o tempo de rastreamento não excede vinte minutos denomina-se o método de Posicionamento Relativo Estático Rápido.

2.2 Métodos realizados com estação total

As observáveis fornecidas pela estação total são medidas lineares e angulares, e através destas são possíveis determinar as coordenadas de pontos desejados. As medidas lineares são distâncias horizontais, inclinadas e verticais, normalmente utilizadas com a unidade de medida em metro e as medidas angulares são ângulos horizontais e/ou azimutais e ângulos verticais, normalmente utilizados com a unidade de medida o grau sexagesimal.

Os Métodos Terrestres de Medição executados com estação total estão divididos em: Irradiação, Bilateração, Interseção a Vante, Interseção a Ré (medições combinadas de ângulo e distância, medição de distâncias, medição de ângulos), poligonação, trilateração, triangulação e Nivelamento Trigonométrico (KAHMEN; FAIG, 1988).

Neste trabalho foram empregados os métodos da poligonação com centragem forçada, interseção a vante, irradiação dupla, bilateração e interseção a ré por meio de medições combinadas de direções e distâncias e interseção a ré por meio de medições angulares (KAHMEM & FAIG, 1988), (ERBA et. al, 2005), (JORDAN, 1944) e (ESPARTEL, 1978).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A seguir serão abordados os materiais empregados, a metodologia, a descrição das medições realizadas, assim como os resultados e análises dos experimentos realizados.

3.1 MATERIAS EMPREGADOS

- Ortofotocartas 2007 - Prefeitura da Cidade do Recife. Projeção UTM – Fuso 25. Sistema de Referência: SIRGAS2000.
- “Shapefile” dos limites de Bairros da Madalena e Recife, logradouro. Prefeitura da Cidade do Recife. Projeção UTM – Fuso 25. Sistema de Referência: SIRGAS2000.
- 1 par de receptores *GNSS HIPER LITE+*: dupla frequência (L1 e L2), Rádio com alcance de até 2km em RTK, Precisão horizontal de 3mm + 0,5 ppm e vertical de 5mm + 0,5 ppm para levantamentos estáticos e rápido-estáticos e horizontal de 10mm + 1 ppm e vertical de 15mm + 1 ppm para levantamentos cinemáticos e RTK (TOPCON, 2003);
- 1 par de receptores *GNSS HIPER V*: dupla frequência (L1 e L2), precisão horizontal de 3mm+ 0,5ppm em levantamentos L1/L2 estático e estático-rápido e de 10mm + 1ppm em levantamentos cinemáticos e RTK;
- 1 Estação Total (*Trimble 3305 DR*), precisão angular (5") e linear (5mm + 5ppm). De acordo com a NBR 13.133/1994 (cf. 2.2.1.1), a precisão angular e linear deste instrumento é classificada como precisão média;
- Apoio logístico para o levantamento de campo, tais como: prismas, guarda-sol, base nivelante, trena, tripés, dentre outros;
- *Softwares*: *AutoCad2013* (versão estudantil), *ArcGis 10*, *TOPCOM TOOLS v.8.2* (com Hardlock do LAGEO/DECART), *Excel 2010*, *AstGeoTop 2013*.

3.2 METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DAS ESTRUTURAS GEODÉSICAS

O fluxograma (Figura 1) ilustra as etapas executadas. Na primeira etapa foi definido a localização onde ficaram as estruturas geodésicas da Área de Estudo 1. Nesta área foram definidos os pontos de referência através dos métodos de levantamento com estação total e posicionalmente relativo estático (GNSS). Os métodos da poligonização e posicionamento GNSS relativo estático serviram para a definição de um Sistema Topográfico Local em SIRGAS2000. Os dados adquiridos foram ajustados, processados e comparados. Na Área interna à obra foram determinados os pontos de referência por diferentes métodos (poligonização fechada, interseção a ré e vante, bilateração, e irradiação dupla).

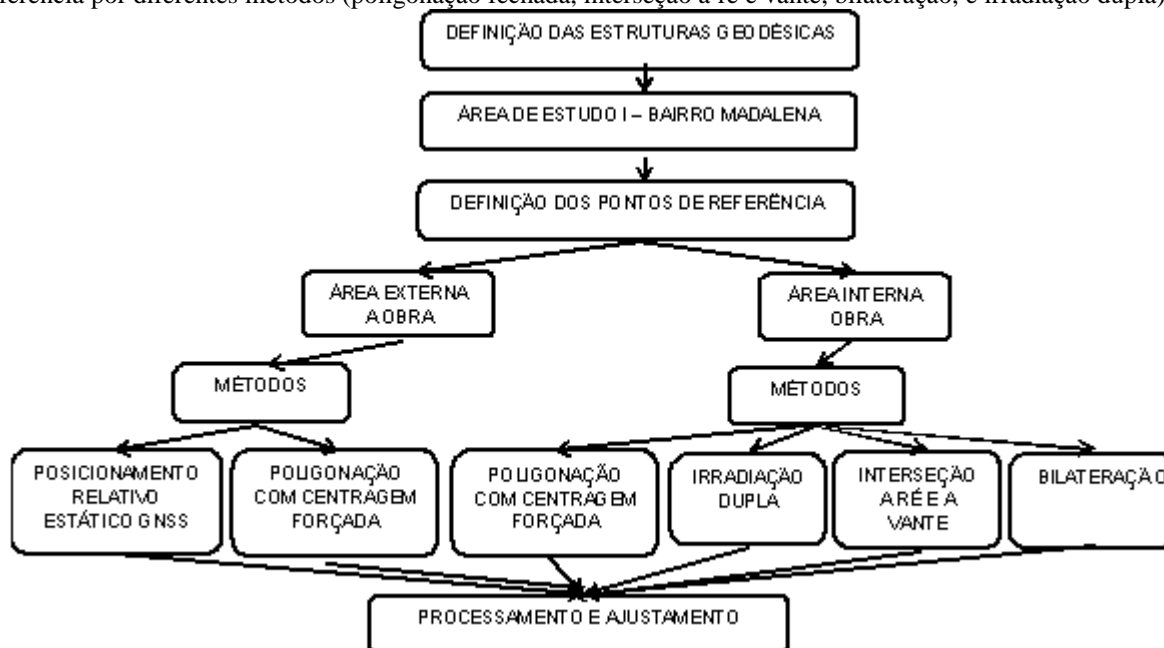


Figura 1 – Fluxograma das etapas executadas para a definição das estruturas geodésicas.

3.2.1. Medição e Processamento dos pontos de referência com GNSS

Nesta etapa foi realizado o georreferenciamento da Área de Estudo 1. Os dados foram coletados com os receptores GNSS L1/L2 nos vértices EM2 e EM3, que estão materializadas na área externa à obra.

a) Medições

A campanha GNSS para o georreferenciamento do campo de pontos de referência foi realizada no dia 12 de novembro de 2013. Na medição foram utilizados três (3) receptores geodésicos L1/L2, com rastreamento de aproximadamente 01h30min para cada ponto. A taxa de gravação dos dados foi de 1 segundo, com máscara de elevação

de 15°. Os receptores foram instalados com tripés e bases nivelantes, e em seguida foram medidas as alturas das respectivas antenas. A campanha visou rastrear simultaneamente as estações RECF, V12, EM2 e EM3, sendo os dados da estação RBMC-RECF disponibilizados pelo IBGE. As estações RBMC-RECF e V12 foram usadas como estações de referência. A estação V12 é um vértice de apoio básico da Prefeitura do Recife. A Figura 2 ilustra a configuração geométrica em uma vista área dos vértices EM2 e EM3 utilizadas para o georreferenciamento da área do Bairro da Madalena e as estações RBMC-RECF e V12. A Figura 3 ilustra o edifício em construção e o receptor GNSS instalado no vértice EM2 próximo ao edifício em construção.



Figura 2 - Vista área dos vértices RBMC-RECF, V12, EM2 e EM3. Fonte: Imagem Google Earth (2014).



Figura 3 – Edifício em construção e ocupação GNSS do vértice EM2. Foto: Novembro 2013.

b) Processamento

O processamento e ajustamento dos dados coletados pelos receptores GNSS nos vértices de referência EM2 e EM3 foram realizados com o *software TOPCON TOOLS V.8.2* (demo) com o nível de confiança 95%, e usando como referência o V12 e RBMC-RECF (Tabela 1).

Tabela 1- Coordenadas Geodésicas dos vértices RBMC- RECF e V12. Fonte: *Topcon Tools V.8.2*.

Estações	Coordenadas Geodésicas	
	φ	λ
RECF	8°03'03,46970''S	34°57'05,45910''W
V12	8°06'30,16493''S	34°53'17,32463''W

Após o processamento e ajustamentos o software forneceu as seguintes informações sobre as coordenadas dos vértices EM2 e EM3 (Tabela 2).

Tabela 2 – Coordenadas das estações EM2 e EM3 (Ajustadas) determinadas por RECF e V12. Fonte: *TopCon Tools V.8.2*.

Processamento	Base	Estações	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas Geodésicas					
			φ	λ	N (m)	σ_E (m)	E (m)	σ_N (m)	H (m)	σ_H (m)
1	RECF	EM2	8°03'07,40514''S	34°54'38,05416''W	9109455,293	0,002	289445,721	0,002	-2,179	0,003
		EM3	8°03'07,32536''S	34°54'40,93626''W	9109457,331	0,002	289357,450	0,002	-1,948	0,003

O Sistema Topográfico Local (Sistema Geodésico Local) para a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) do Bairro da Madalena teve como origem o vértice EM3: 8°03'07,32536''S e 34°54'40,93626''W. A transformação das coordenadas geodésicas (SIRGAS2000) no STL foi realizada utilizando o *software Excel2010*. Para calcular os parâmetros de transformação entre as coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) (SIRGAS2000) e as coordenadas no STL foram empregados os vértices EM2 e EM3 (Tabela 4) identificados e materializados nos dois sistemas de referência, utilizando-se as considerações descritas em Gárnes et. al (2005) e Dall'forno et. al (2010).

As coordenadas geodésicas (SIRGAS2000) dos vértices EM2 e EM3 e respectivas coordenadas X e Y do Sistema Topográfico Local (STL) estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – As coordenadas Geodésicas e Cartesianas no STL (SIRGAS2000).

Estação	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas Cartesianas	
	φ	λ	X (m)	Y (m)
EM2	8°03'07,40514''S	34°54'38,05416''W	150088,2477	249997,5490
EM3	8°03'07,32536''S	34°54'40,93626''W	150000,0000	250000,0000

Ressalta-se que neste experimento as coordenadas geodésicas dos vértices EM2 e EM3 serviram para definir a origem e a orientação do STL da área experimental.

3.2.2 Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos pontos de Referência implantados com a Estação Total

- **Método da Poligonização fechada**

O método da poligonização fechada foi realizado na área externa e interna à obra.

A figura 4 ilustra um esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra cadastral e as poligonais internas implantadas na obra.

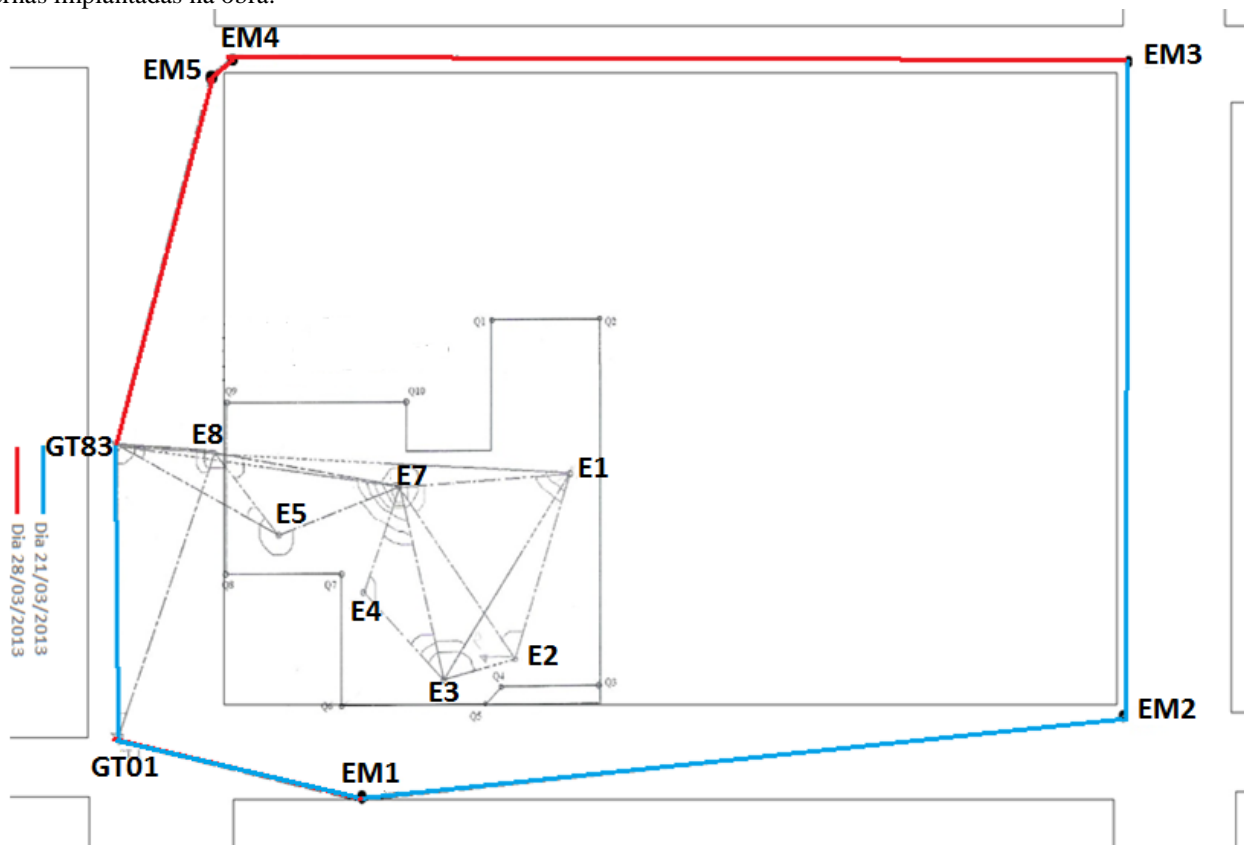


Figura 4 – Esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra cadastral.

a) Poligonal fechada e externa à obra

Os vértices que pertencem à estrutura externa à obra são EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01 (Figura 9).

Caso 1: Processamento da Poligonal Fechada pelo o método Tradicional no Sistema Topográfico Local Arbitrário (STLA)

O STLA foi definido da seguinte maneira: atribuiu-se as coordenadas $X=100,0000\text{m}$ e $Y=100,0000\text{m}$ para o vértice EM2 e fixou-se o eixo Y do sistema dextrógiro no vértice EM2 para o vértice EM1.

A Tabela 4 apresenta as coordenadas dos vértices da poligonal calculada pelo método tradicional.

O erro de fechamento angular foi de $-4''$, o erro de fechamento linear foi de $0,03020\text{m}$, com um perímetro de $420,9286\text{m}$, obteve-se uma precisão relativa de $1/13938,23042$. Sendo necessária a tolerância angular de $\pm 16,9701''$ e a linear de $\pm 0,0649\text{m}$ para a classificação da poligonal do tipo I. A poligonal implantada de acordo com os dados obtidos é classificada do tipo IP de acordo com NBR 13.133/1994.

As coordenadas da Tabela 4 foram ajustadas pelo MMQ modelo paramétrico a partir de um aplicativo elaborado no *Excel2010*. Considerando-se as coordenadas do vértice EM2 de $150088,3175\text{m}$ no eixo X e $249997,5492\text{m}$ no eixo Y, e o azimute ($Az_{EM2_{EM3}}$) de $271^{\circ}35'27,30''$, foi empregado o MMQ – Modelo Paramétrico, obtendo-se as coordenadas dos vértices EM1, EM3, EM4, EM5, GT83, E8 e GT01 (Tabela 5), e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 4 – As coordenadas no STLA (SIRGAS2000).

Vértice	COORDENADAS	
	X (m)	Y (m)
EM2	100,0000	100,0000
EM3	187,5333	88,0036
EM4	200,5139	189,4417
EM5	186,3396	204,5701
GT_83	150,6924	217,6623
E8	148,5234	208,5304
GT_1	114,4607	223,0136
EM1	100,0050	176,4408

Tabela 5 – Coordenadas no STL SIRGAS2000

Vértice	Coordenadas ajustadas no STL		Desvio-padrão	
	X (m)	Y (m)	σX (m)	σY (m)
EM3	150000,0000	250000,0000	0,0072	0,0002
EM4	149998,0759	249897,7528	0,0076	0,0074
EM5	150013,8044	249884,2476	0,0084	0,0082
GT83	150050,6594	249875,0910	0,0080	0,0082
E8	150051,8272	249884,4041	0,0078	0,0088
GT01	150087,2574	249873,6931	0,0050	0,0087
EM1	150096,5869	249921,5570	0,0029	0,0074

Nota-se que o desvio-padrão obtido foi maior foi de 0,0084m no eixo X do vértice EM5 e de 0,0088m no eixo Y do vértice E8.

A Figura 5 ilustra o desenho topográfico dos vértices da poligonal implantada e localizada no Bairro da Madalena obtida no AstGeoTop2013 no Sistema Topográfico Local (SIRGAS2000) definido na área do trabalho. Neste trabalho foi implantada uma poligonal fechada do tipo 1 (NBR 13.133/1994).

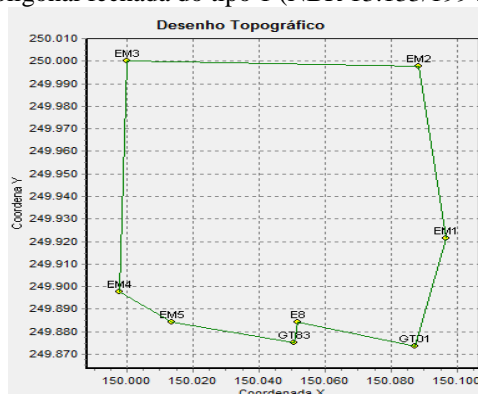


Figura 5 – Desenho Topográfico da poligonal implantada na área externa à obra. Fonte: AstGeoTop2013.

b) Poligonais fechadas e internas à obra

Com as coordenadas ajustadas do vértice E8 (Tabela 5) e azimute de alinhamento de E8-GT83 ($A_{ZE8_GT83}=187^{\circ}49'13,30''$) calculado a partir das coordenadas ajustadas dos vértices E8 e GT83 (Tabela 5) foram processadas as poligonais implantadas na área interna à obra.

- **Processamento das Poligonais fechadas (E8, E5 e E7), (E7, E4 e E3) e (E7, E2 e E1) pelo Método Tradicional e Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico.**

A primeira poligonal envolveu os vértices E8, E5 e E7; a segunda os vértices E7, E4 e E3; e a terceira os vértices E7, E2 e E1. Foram realizados os processamentos das poligonais fechadas pelo método tradicional e depois pelo MMQ - Modelo Paramétrico. Na Tabela 6 estão apresentadas coordenadas dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1, e suas respectivas diferenças.

Tabela 6 – As coordenadas dos vértices (E5, E7, E4, E3, E2 e E1) e respectivas diferenças.

Vértice Inicial	Vértices	Coordenadas Ajustadas (MMQ - Modelo Paramétrico)		Coordenadas (Método Tradicional)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	E5	150057,0612	249891,0376	150057,0573	249891,0320	0,0039	0,0056
	E7	150055,0788	249915,0190	150055,0764	249915,0176	0,0024	0,0014
E7	E4	150066,9013	249906,5881	150066,9020	249906,5879	-0,0007	0,0002
	E3	150083,2761	249914,8728	150083,2761	249914,8724	0,0000	0,0004
E7	E2	150078,8425	249930,2311	150078,8426	249930,2310	-0,0001	0,0001
	E1	150056,7299	249932,3148	150056,7300	249932,3145	-0,0001	0,0003

As classificações das poligonais, os erros de fechamento angular e linear, as precisões relativas podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificações das poligonais internas à obra, Erros de Fechamento Angular e Linear, precisões relativas e perímetro.

Poligonal	E8_E5_E7	E7_E4_E3	E7_E2_E1
Classificação	IP (NBR 13.133/1994)	IP (NBR 13.133/1994)	IIP (NBR 13.133/1994)
Erro de fechamento angular	0°00'09,75"	-0°00'07,5"	0°00'12,75"
Erro de fechamento linear	0,0050m	0,0012m	0,0007m
Precisão Relativa	7,91312E-05	1,88353E-05	1,07938E-05
Perímetro	63,2945m	61,0697m	67,8005m

Para cada poligonal foi calculada a tolerância de fechamento angular e linear como ilustra a Tabela 7. Para a poligonal ser do tipo IP a tolerância angular necessária é de $\pm 10,3923''$, onde somente as poligonais E8_E5_E7 e E7_E4_E3 passaram nessa tolerância. A poligonal E7_E2_E1 ficou classificada como poligonal do tipo IIP. A tolerância linear foi $T'_p = \pm 0,02516m$ para a poligonal E8_E5_E7; $T''_p = \pm 0,0247m$ para a poligonal E7_E4_E3; $T'''_p = \pm 0,0260m$ para a poligonal E7_E2_E1, com esses resultados da tolerância linear todas as poligonais não ultrapassaram a tolerância máxima permitida.

Para a realização dos métodos da irradiação dupla, interseção a vante e a ré, bilateração foram utilizadas as coordenadas dos vértices E5, E4, E3, E7, E2 e E1 descritas na Tabela 6.

• Método da interseção a vante

O método da interseção a vante foi realizado para os vértices E8, E5, E7 e E2. Para o ajustamento pelo MMQ - modelo paramétrico, foram considerados dois ângulos e uma distância medida.

Na Tabela 8 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Tabela 8 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e respectivas diferenças – caso interseção a vante.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas		Desvio-padrão		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01	150051,8271	249884,4046	150051,8271	249884,4047	0,0001	0,0003	0,0000	0,0001
E5	GT83/E5	150057,0606	249891,0368	150057,0612	249891,0376	0,0009	0,0012	0,0006	0,0008
E7	E8/E5	150055,0787	249915,0238	150055,0788	249915,0190	0,0006	0,0041	0,0001	-0,0048
E2	E1/E7	150078,8426	249930,2311	150078,8425	249930,2311	0,0003	0,0001	-0,0001	0,0000

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0006m e no eixo Y de 0,0008m para o vértice E5. O desvio-padrão obtido foi maior foi de 0,0009m no eixo X do vértice E5 e de 0,0041m no eixo Y do vértice E7.

- **Método da irradiação dupla**

O método de irradiação dupla foi realizado para os vértices E8, E5, E7 e E2. Para o ajustamento pelo MMQ - modelo paramétrico, foram considerados dois ângulos e duas distâncias medidas.

Na Tabela 9 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Tabela 9 – As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e suas respectivas diferenças – caso irradiação dupla.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvio-padrão		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01	150051,8310	249884,4049	150051,8310	249884,4049	0,0001	0,0004	0,0000	0,0000
E5	GT83)/E5	150057,0594	249891,0369	150057,0574	249891,0325	0,0009	0,0013	-0,0020	-0,0044
E7	E8)/E5	150055,0788	249915,0165	150055,0787	249915,0182	0,0004	0,0028	-0,0001	0,0017
E2	E1/E7	150078,8417	249930,2307	150078,8425	249930,2310	0,0002	0,0001	0,0008	0,0003

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0020m e no eixo Y de 0,0028m para o vértice E5. O desvio-padrão obtido foi maior foi de 0,0009m no eixo X do vértice E5 e de 0,0041m no eixo Y do vértice E7.

- **Método da bilateração**

O método da bilateração foi empregado para determinar as coordenadas dos vértices E2 e E5.

Na tabela 10 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E2 e E5 determinados pelo método de bilateração sem ajustamento e a comparação destas com as coordenadas dos vértices E2 e E5 obtidos pelo método de poligonação com ajustamento (Tabela 6).

Tabela 10 – Coordenadas dos vértices E2 e E5 obtidos pelo método da bilateração sem ajustamento e pelo método de poligonação com ajustamento e respectivas diferenças.

A partir de	Vértice	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (Poligonal MMQ – Modelo Paramétrico)		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E1/E7	E2	150078,8425	249930,2311	150078,8425	249930,2311	0,0000	0,0006
GT83/E5	E5	150057,0612	249891,0376	150057,0612	249891,0376	-0,0094	-0,0019

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0094m e no eixo Y de 0,0019m para o vértice E5. O desvio-padrão em módulo obtido foi maior foi de 0,0094m no eixo X do e de 0,0019m no eixo Y do vértice E5.

- **Método da estação livre (Interseção a ré)**

O método da estação livre foi empregado para determinar as coordenadas dos vértices E8, E7, E2, E3 e E4. Para o ajustamento pelo MMQ - Modelo Paramétrico foram considerados dois ângulos e duas distâncias medidas.

Na Tabela 11 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Tabela 11 – Coordenadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 no STL e suas respectivas diferenças.

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvio-padrão		Diferenças	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	σ_x (m)	Σ_y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E8	GT83/GT01	150051,8273	249884,4063	150051,8275	249884,4057	0,0026	0,0065	0,0002	0,0006
E7	E8/E5	150055,0939	249915,0268	150055,0962	249915,0234	0,0041	0,0039	0,0023	-0,0034
E2	E1/E7	150078,8426	249930,2324	150078,8426	249930,2324	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000
E4	E7/E3	150066,9004	249906,5883	150066,9011	249906,5882	0,0007	0,0001	0,0006	-0,0001

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0023m e no eixo Y de 0,0034m para o vértice E7. O desvio-padrão obtido foi maior foi de 0,0041m no eixo X do vértice E5 e de 0,0065m no eixo Y do vértice E8.

Interseção a ré por meio de medições angulares

Na Tabela 12 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E7 e E3 pelo método de interseção a ré e suas respectivas diferenças quando comparadas com as coordenadas obtidas pelo método da poligonização. Neste caso não houve ajustamento pelo MMQ - modelo Paramétrico, pois foram observados apenas os elementos mínimos necessários para a realização do método.

Tabela 12 – Coordenadas dos vértices E7 e E3 no STL e suas respectivas diferenças.

Vértice	Coordenadas Ajustadas (Poligonização MMQ – Modelo Paramétrico)		Coordenadas a priori (interseção a ré)		Diferenças	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
E7	150055,0788	249915,0190	150055,0976	249914,9953	-0,0188	0,0237
E3	150083,2761	249914,8728	150083,2713	249914,8550	0,0049	0,0178

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0188m para o vértice E7 e no eixo Y de 0,0237m para o vértice E7.

5 CONCLUSÕES

A primeira parte deste trabalho consistiu em implantar, verificar a precisão e acurácia dos métodos planimétricos (poligonização, irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré) empregados na Área de Estudo 1 – Madalena. Além disso, foi definido um STL na área de estudo e realizado o levantamento das quinas da propriedade. Conforme a metodologia aplicada e levando em consideração as análises feitas para os resultados, conclui-se que as estruturas geodésicas externas localizadas no entorno da área (EM1, EM2, EM3, EM4, EM5, GT01 e GT83) poderão ser utilizadas para o georreferenciamento dos demais lotes existentes na quadra, favorecendo o cumprimento da NBR 14.166/1998.

Os métodos de irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré, poligonização com centragem forçada empregados para definir as estruturas geodésicas internas à obra, apresentam bons resultados. Os métodos de irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré quando comparados com o método da poligonização com centragem forçada, obtiveram diferenças ΔX e ΔY em módulo abaixo de, respectivamente: $\Delta X= 0,0012m$ no eixo X do vértice E5 e $\Delta Y= 0,0056m$ no eixo Y do vértice E7 para a interseção a vante; $\Delta X= 0,0039m$ no eixo X do vértice E8 e $\Delta Y= 0,0051m$ no eixo Y do vértice E5 para a irradiação dupla; $\Delta X= 0,0094m$ no eixo X e $\Delta Y= 0,0019m$ no eixo Y do vértice E5 para a bilateração; $\Delta X=0,0174m$ no eixo X e $\Delta Y= 0,0044m$ no eixo Y do vértice E7 para estação livre (interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância); e $\Delta X=0,0188m$ no eixo X e $\Delta Y= 0,0237m$ no eixo Y no vértice E7 para interseção a ré por meio de medição de direção. Por isso, conclui-se que estes métodos também podem ser empregados na densificação das estruturas geodésicas. Ressalta-se que a NBR 14.645-3/2005 recomenda apenas o método da poligonização para a definição dos pontos de referência para o procedimento de locação. Com base nos experimentos realizados, neste trabalho, verificou-se que os métodos planimétricos empregados neste trabalho também podem ser utilizados para a definição dos pontos de referência.

AGRADECIMENTOS

Ao projeto CNPq/Vale S.A. n°454844/2012-3. Aos Engenheiros Antônio Rodrigues e ao Mestre de Obra Luiz pelo acesso à obra. Ao Programa de Pós-graduação em CGTG/DECart/UFPE pela bolsa Reuni e Capes. Aos Laboratórios de Geodésia (LAGEO) e Topografia (LATOP) pela concessão dos equipamentos e apoio logístico.

G.P. Silva, A. De Seixas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT: NBR 13.133 – Normas Técnicas para a Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro. 1994.
- ABNT: NBR 14.166 - Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. Rio de Janeiro. 1998.
- ABNT: NBR 14.645 - Elaboração do “como construído” (“*as built*”) para Edificações. **Parte 1: Levantamento Planialtimétrico e Cadastral de Imóvel Urbanizado com Área até 25 000 m², para fins de Estudos, Projetos e Edificação. 2000.**
- ABNT: NBR 14.645-3 – **Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2005.
- ERBA, D. A.; THUM, B. A.; SILVA, C. A. da; SOUZA, G. C. de; VERONEZ, M. R.; LEANDRO, R. F.; MAIA, T. C. B. **Topografia para estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia.** 2003.
- DAL’FORNO. G. L, AGUIRRE. A. J, HILLEBRAND. F. L, GREGÓRIO. F. DE V. **Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no Plano Topográfico Local pelos métodos da norma NBR 14166:1998 e o de rotações e translações.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife. 2010.
- Espartel, I. Cursos de Topografia. 1978
- GARNÉS, S. J. A. AstGeoTop. *Software.* Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Compilação nov. 2011.
- GARNÉS, S. J. A Siqueira, V. P Cacho, J. P. **Definição para implantação do Sistema Topográfico Local de Campo Grande – MS e análise das fórmulas da NBR 14.166.** IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas - IV CBCG. Curitiba. 2005.
- JORDAN, D. W. Tratado general de Topografia. V. I. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S.A.,1944.
- KAHMEN,H; FAIG, W. **Surveying.** Berlin. 1988. Ed. De Gruyter.
- MONICO, J. F. G. **“Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações”.** 2ed. São Paulo: Unesp, 2008.
- SILVA, G. P. Uma abordagem geodésica da locação e controle dimensional de estruturas da construção civil. Diss. 2014.