

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/2: 445-463
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

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

Reference System Definition for Setting Out Construction Buildings – Experimental Area: Neighborhood of Madalena, Recife - PE

Gleice Pereira da Silva, Andréa de Seixas, Silvio Jacks dos Anjos Garnés & Verônica Maria Costa Romão

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências – CTG / Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n Cidade Universitária, Recife/PE - 50740-530, Brasil.

gleice750@ig.com.br, {aseixas, vcosta}@ufpe.br, sjgarnes@gmail.com

Recebido em 21 de Fevereiro, 2015/ Aceito em 30 de Março, 2015

Received on February 21, 2015/ Accepted on March 30, 2015

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 do 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. Neste trabalho 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. Para o controle e padronização dos dados adquiridos em campo foram empregadas, as normas nacionais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 13.133/1994, 14.166/1998, 14.645-1/2000 e 14.645-3/2005 e as resoluções PR n^o 01 de 2005, PR n^o 05 de 1993 e PR n^o 22 de 1983, e Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (2008) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nas análises das estruturas geodésicas determinadas, foram utilizados os métodos de ajustamento das observações e Teste de Hipótese a um nível de confiança de 95%. Desta forma, além dos resultados dos métodos empregados para a definição do Sistema de Referência, serão abordadas as normalizações vigentes no

Brasil, para a realização do Sistema de Referência para a locação de edificações prediais.

Palavras-Chave: Estruturas Geodésicas, Levantamentos e Locação, Métodos Terrestres de Medição, Controle Posicional e Normalizações.

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 consists 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 Reference System definition for setting out construction buildings with the use of dual frequency GNSS receivers and total stations. In this work the methods of GNSS static relative positioning and methods of traverse, 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 Local Topographic System SIRGAS2000. Despite the fact that NBR 14645-3/2005 recommends the traverse method for the Reference System definition for setting out, in this work, the other methods mentioned above were also used. They were compared and analyzed, employment having noticed these to the Reference System definition for setting out. To control and standardize the data acquired in the field, the national standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) 13.133/1994, 14.166/1998, 14.645-1/2000 and 14.645-3/2005 were employed, as well as resolutions PR number 01 (2005), PR number 05 (1993) and PR number 22 (1983), and Recommendations for GPS Relative Static Surveys (2008) of the Brazilian Institute of Geography and Statistic (IBGE). In the analysis of the geodesic structures determined, the adjustment methods of observation and hypothesis were tested to a confidence level of 95%. Thus, beyond the results of the methods used to define the reference system, will be discussed the current normalizations in Brazil, to the realization of the reference system for setting out construction buildings.

Keywords: Geodesic structures, Surveying and Setting Out, Land Measurement Methods, Positional Control and Standardizations.

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 do 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.

Neste trabalho são abordadas as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), as quais padronizam os métodos de levantamento e de locação, os sistemas de referência, melhorando a execução do trabalho de campo e gerenciamento do processo.

Para a realização de trabalhos voltados à Engenharia é necessária a definição de pontos de referência e pontos-objeto. Em (SILVA *et al.*, 2004) são conceituados pontos na medição de deformação de objetos, os quais, no contexto deste trabalho, podem ser similarmente empregados para a execução de locação de obras e seu controle dimensional. Assim como em (SEIXAS *et al.*, 2003) são abordados Sistemas de Referência no Controle de Qualidade de Edificações e a realização do Controle Geométrico a partir de Sistemas de Medição Polar à Base de Teodolitos.

Apesar de estes métodos serem conhecidos e utilizados como ferramentas para a locação, até então, não foram abordados sistematicamente de acordo com as normas NBR 14645-1/2000 e 14645-3/2005. Neste contexto foram definidas e implantadas estruturas geodésicas e sistemas de referência. Finalizando-se com a análise da acurácia posicional dos métodos empregados para a definição de pontos de referência.

Neste contexto, abordam-se como os métodos GNSS e os Métodos Terrestres de Medição empregados podem ser aplicados de modo a garantir um resultado compatível com a precisão do equipamento empregado na locação e controle dimensional de edificações prediais. Ressaltando-se o emprego destes nos Projetos de Engenharia para o georreferenciamento, locação e controle dimensional de elementos estruturais da Construção Civil.

Para este trabalho foi escolhida uma área de estudo que fica localizada na Região Metropolitana do Recife, no Bairro da 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. Neste contexto também serão abordadas as normalizações vigentes no Brasil para a implantação do Sistema de Referência e Execução da Locação.

2. NORMALIZAÇÕES VIGENTES NO BRASIL

Segundo Botelho (2003), as normas técnicas e especificações para a realização do posicionamento preciso de edificações prediais, compreendem desde as relacionadas aos trabalhos topográficos para o controle dimensional, até aquelas relativas ao georreferenciamento dos imóveis à Rede de Referência Cadastral Municipal. Estas normas e especificações são enquadradas em normas nacionais e estrangeiras relacionadas aos trabalhos de Topografia NBR 13.133/1994 – Execução de Levantamento Topográfico; NBR 14.166/1998 – Manutenção e implantação de Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimentos; NBR 14.645-1/2000 – Elaboração do “Como Construído” (“*as built*”) para edificações; NBR 14.645-3/2005 – Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra (Procedimento); e em normas relacionadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (Resolução PR n°1, (IBGE, 2005), e aos levantamentos por receptores GPS (Resolução PR n°5 (IBGE, 1993) e Resolução PR n°22 (IBGE, 1983) e relacionadas aos Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (IBGE, 2008).

Em (BOTELHO, 2003) também são discutidos, resumidamente, sobre o tratamento dos dados nas poligonais segundo a NBR 13.133/1994, assim como o ajustamento das mesmas. As poligonais são classificadas em 3 tipos:

- Tipo 1 - Poligonais fechadas e apoiadas em um único ponto e uma só direção;
- Tipo 2 - Poligonais fechadas e apoiadas em pontos e direções distintas num desenvolvimento curvo; e
- Tipo 3 - Poligonais fechadas e apoiadas em pontos e direções distintas num desenvolvimento retilíneo.

Ressalta-se que a NBR 13.133/1994 traz recomendações sobre os ajustamentos

das poligonais do tipo 1 e 2, mas não utiliza o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Os métodos de bilateração, irradiação simples e dupla, interseção a ré e a vante também não são discutidos nesta norma. Além disso, a mesma está desatualizada de acordo com as tecnologias de medição empregadas atualmente. Nos canteiros de obra da Construção Civil, empregam-se, por exemplo, estações totais, que possuem programas embutidos, para o levantamento e locação planialtimétrica.

Além das normas citadas em (BOTELHO, 2003), acrescenta-se neste trabalho, a norma NBR 14645-3/2005 – Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento; as discussões sobre a NBR 14166/1998 apresentadas em Garnés *et al.* (2005) e Dal’Forno *et al.* (2010) referentes as transformações de coordenadas plano - retangulares no Sistema Topográfico Local, além das discussões apresentadas em Romão *et al.* (1996), as quais antecedem a homologação da NBR 14166/1998; a Resolução PR nº 5 (IBGE, 2005) – Caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro; e as recomendações para os Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (IBGE, 2008), esta última atualiza a PR nº 5 (IBGE, 2005).

Essas normas são importantes devido aos métodos e instrumentos de medição empregados neste trabalho, sendo necessárias para a discussão da qualidade posicional das estruturas geodésicas implantadas.

2.1 Norma Brasileira (NBR) 14.645-3/2005 – Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento

A NBR 14.645 está dividida em três (3) partes. A primeira parte trata sobre o levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25.000 m², para fins de estudos, projetos e edificação; a segunda parte trata sobre o levantamento planimétrico para registro público para retificação de imóvel urbano - procedimento; e a terceira parte trata sobre a locação topográfica e controle dimensional da obra – procedimento, que tem por objetivo:

- Estabelecer os requisitos necessários para a locação e o controle dimensional da obra, ressaltando as anotações de todas as alterações que ocorrerem durante a mesma; e

- Indicar os procedimentos para se chegar ao projeto executado, tendo-se inicialmente um projeto executivo.

A parte 3 da norma descreve que, para a realização da locação e o controle dimensional em uma obra de edificação, são necessárias que tenham sido desenvolvidas anteriormente as etapas: do levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral do imóvel (de acordo com as tolerâncias admissíveis); assim como do projeto executivo (terraplanagem, fundação, pilares e eixos); além de outros detalhes da edificação, que são considerados necessários. Ressalta-se a importância da verificação da documentação do projeto executivo e a conferência da base cartográfica utilizada no projeto. Devendo-se ser a mesma base utilizada no levantamento planialtimétrico e cadastral.

De acordo com a parte 3 da norma, é necessária a implantação de apoio topográfico planialtimétrico para o acompanhamento de todas as etapas do levantamento topográfico previsto durante a obra. Neste contexto são verificadas as poligonais e referência de nível, localizadas exteriormente e interiormente a obra. A locação dos eixos dos pilares é realizada a partir dos vértices da poligonal implantada, sendo estes transportados para o gabarito da obra e materializados por pinos metálicos ou marcos de concreto.

2.2 Norma Brasileira (NBR) 14.166/1998 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento

A norma NBR 14.166/1998 impõe condições fixas para a implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal destinada a constituir uma infraestrutura de apoio geodésico e topográfico. Neste contexto, sistematizando e normalizando os levantamentos topográficos, seja por método direto (clássico), por método aerofotogramétrico ou outro que seja criado. As atividades cadastrais, que são representadas no Plano Topográfico Local entre as escalas de 1:1000 até 1:1, devem ser apoiadas nesta Rede de Referência Cadastral Municipal, assim como os levantamentos destinados à Cartografia.

A norma fixa as condições necessárias para a implantação e manutenção da Rede de Referência Cadastral Municipal. Esta se destina: - apoiar e atualizar sua elaboração no que diz

respeito às plantas cadastrais;

- amarrar todo o serviço de topografia, visando às incorporações às plantas cadastrais do município;
- referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de projetos, anteprojetos, acompanhamento e implantação de obras de engenharia de modo geral, de urbanização, de levantamento de obras “como construídas” (“*as built*”) e de cadastro imobiliário para registros públicos e multifinalitários.

A norma aborda as definições, dentre outras: de ponto topográfico, marco geodésico, marco geodésico de apoio imediato, marco geodésico de precisão, coordenadas plano - retangulares (X,Y), Sistema de Projeção Topográfica (Sistema Topográfico Local), que constituem o Sistema Topográfico. Na norma são definidos os procedimentos de apoio geodésico e topográfico, que proporcionam a normatização e sistematização de todos os levantamentos topográficos, executados em qualquer escala e para qualquer finalidade no âmbito Municipal.

Em Romão *et al.* (1996) são apresentados resultados de discussões do Grupo de Trabalho sobre Cadastro Municipal - GTCM do DECart - UFPE, considerando os pré-requisitos do Sistema de Referência de Medição para o Cadastro Municipal (RRCM). Segundo os mesmos autores, existe uma hierarquia para a implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal. Essa hierarquia começa pela Rede nacional GPS ou Rede de triangulação, onde a partir dessa é densificada as outras redes: Rede Estadual de Referência, Rede de Referência Cadastral Municipal, até chegar à Rede de Levantamento (Figura 1).

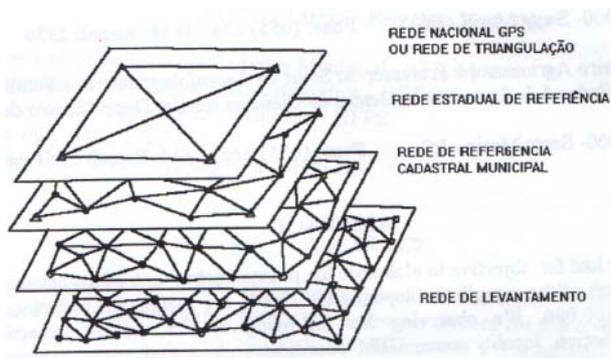


Fig. 1 - Ordem hierárquica das Redes. Fonte: (ROMÃO *et al.*, 1996).

Romão *et al.* (1996) apresentam a definição de RRCM como “um conjunto de pontos devidamente distribuídos no campo, que materializam o Sistema de Referência de Medição (SRM), determinados com a precisão necessária aos levantamentos de limites de propriedades, contornos de edificações e feições municipais”.

A norma 14.166/1998 estabelece as condições necessárias para definir um Sistema Topográfico Local (STL). Segundo Souza (2012), foram realizados alguns trabalhos que abordam os pontos fracos e os pontos não contemplados pela NBR 14.166/1998, tais como: (GARNÉS 1998, 2005), (DAL’FORNO *et al.*, 2010) e (SILVA *et al.*, 2003).

Dal’Forno *et al.* (2010) apresentam dois métodos de transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topográfico local. O primeiro método estabelecido pela NBR 14.166/1998 e o segundo método tem a finalidade de transformar coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares por rotação e translações. Os resultados obtidos são comparados e analisados, onde se conclui que ambos os métodos estão de acordo com a precisão exigida pela norma 14.166/1998, mas que, no entanto o método de rotações e translações oferece resultados com maior exatidão, pois não depende do estabelecimento de limites quanto as altitude envolvidas, de acordo com a norma limitada a diferenças de nível de $\pm 150,00\text{m}$ entre o ponto origem e os demais pontos.

Em Garnés *et al.* (2005) são apresentadas, analisadas e discutidas algumas das equações da NBR 14.166/1998 que definem na prática o Sistema Topográfico Local. Segundo os autores algumas equações fornecidas na NBR 14.166/1998 não devem ser empregadas, como por exemplo, a que diz respeito ao fator de elevação. Recomendando-se a transformação de coordenadas cartesianas geocêntricas em topocêntricas, ou seja, a transformação do Sistema Geodésico Local. Os autores utilizam as equações da Norma e as equações de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais em cartesianas geocêntricas nos

dados obtidos em campo de um levantamento realizado na cidade de Campo Grande - MS. Os resultados são comparados e analisados, e é sugerida a substituição de algumas fórmulas. Salientam que há necessidade de alguns ajustes, tais como: desvio da vertical; a não junção dos Planos Topográficos Locais; e a transformação biunívoca entre as coordenadas nas fórmulas dos anexos A, B e C da NBR 14.166/1998 sobre plano topográfico local. Os autores buscam eliminar os inconvenientes da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), tal como a junção dos planos e diminuir erros originados das reduções de distâncias ao elipsóide.

3. SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA A LOCAÇÃO

No Brasil o Sistema Geodésico de Referência oficial é o SIRGAS2000 (IBGE, 2005). A definição, implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são de responsabilidade do IBGE, assim como o estabelecimento das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos (IBGE, 1983). Para o SGB, o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com o sistema SAD-69 e para o Sistema Cartográfico Nacional. O SIRGAS2000 também poderá ser empregado em concomitância com os sistemas SAD-69 e Córrego Alegre, de acordo com a resolução PR nº1 de 25 de fevereiro de 2005 (IBGE, 2005). O SGB é constituído pelas redes planimétrica, altimétrica e gravimétrica.

Para trabalhos na área da Topografia, que envolvem lotes, áreas, quadras, dentre outros, é necessário à definição de uma Rede de Referência Cadastral Municipal (NBR 14.166/1998) e, por conseguinte a definição de um Sistema Topográfico Local. Para a locação e o controle dimensional de edificações prediais, faz-se necessário a abordagem de coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas (X, Y, Z), coordenadas geodésicas elipsoidais (φ , λ , h) e coordenadas cartesianas tridimensionais topocêntricas (x,y,z).

Segundo Botelho *et al.* (2003), os Pontos de Referência ou Redes Topográficas e Micro Redes Geodésicas pode ser uni-, bi- ou

tridimensional. A Rede tridimensional é de fundamental importância para o trabalho de levantamento, posicionamento ou locação de obra em relação ao controle geométrico em edificações prediais. De acordo com os mesmos autores, nas etapas dos trabalhos de posicionamento de uma edificação, ou seja, na etapa de sua locação de obra, há a necessidade da utilização de um sistema primário, que é uma rede ou poligonal de pontos primários espalhados dentro e/ou no entorno da obra relacionada a um sistema geodésico oficial. O sistema primário deve ser medido, calculado e ajustado, e deve sempre formar uma configuração em anel ou fechada. Os pontos de referência primários acrescentados podem ser realizados através dos métodos de interseção, irradiação polar ou qualquer outro método semelhante. Todos estes pontos formam o sistema primário ou rede de locação da obra. A escolha dos pontos primários deve garantir a estabilidade durante a fase de realização das observações, e, em caso contrário, ser amarrado a um sistema de referência estável.

Ressalta-se que quando no entorno da obra não existirem pelo menos dois vértices de coordenadas conhecidas no Sistema Geodésico de Referência (SGR), adota-se inicialmente um Sistema de Referência Arbitrário com origem e eixos cartesianos ainda não correlacionados a um SGR. Permanecendo o compromisso do georreferenciamento da obra para um futuro próximo.

3.1 Sistema de Coordenadas Cartesianas Tridimensionais Geocêntricas (X, Y, Z) e Coordenadas Geodésicas Elipsoidais

As coordenadas (X, Y, Z) de um ponto localizado na superfície da Terra são ilustradas na (Figura 2).

As coordenadas (X, Y, Z) através de uma conversão geodésica de coordenadas podem ser expressas em coordenadas geodésicas elipsoidais. Estas são denominadas de latitude (φ), longitude (λ) e altitude elipsoidal (h) (Figura 2). São denominadas coordenadas elipsoidais, pois utiliza a superfície do elipsóide como referência.

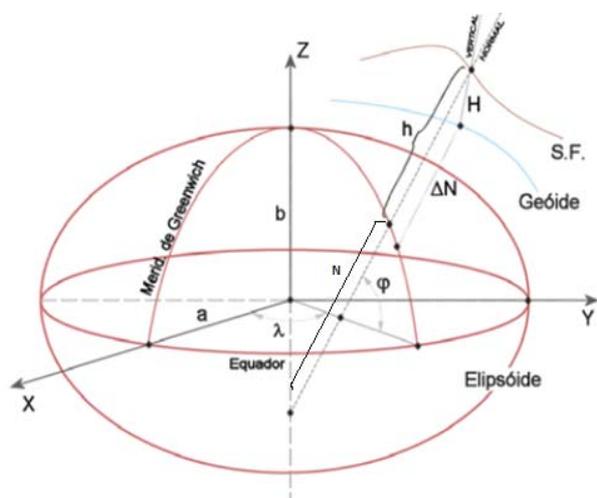


Fig. 2 - Coordenadas Geodésicas. Fonte: (DE FREITAS, 2005).

3.2 Sistema de Coordenadas Cartesianas Tridimensionais Topocêntricas e Transformação de Coordenadas Geocêntricas em Topocêntricas

O interesse na transformação das coordenadas do Sistema Geodésico Elipsoidal nas coordenadas de um Sistema Geodésico Topocêntrico está no fato da proximidade entre o Sistema Geodésico Topocêntrico e o Topográfico Local. No geodésico topocêntrico a cota z é definida segundo a direção da normal do ponto origem do Sistema e no Sistema Topográfico Local a cota z é definida segundo a direção da vertical no ponto origem. “Uma vez encontradas as fórmulas de transformação do Sistema Geodésico para o Sistema Geodésico Topocêntrico, as fórmulas para a transformação no Sistema Topográfico Local são facilmente derivadas” (GARNÉS, 1998).

A Figura 3 apresenta os Sistemas Geodésicos e através destes se extrai as fórmulas para a transformação entre os sistemas.

O Sistema Geodésico Topocêntrico é o sistema de coordenadas local estabelecido com relação a uma normal ao elipsóide (Sistema Geodésico Local) ou ao desvio da vertical (Sistema Astronômico Local). Esse sistema é cartesiano, composto por três eixos ortogonais entre si, porém as direções dos eixos nem sempre adotam a definição convencional. Esse é o sistema utilizado pelos equipamentos como: estação total, distanciômetros, teodolitos ou combinação deles. São medidos ângulos ou direções e distâncias. Apóia os levantamentos

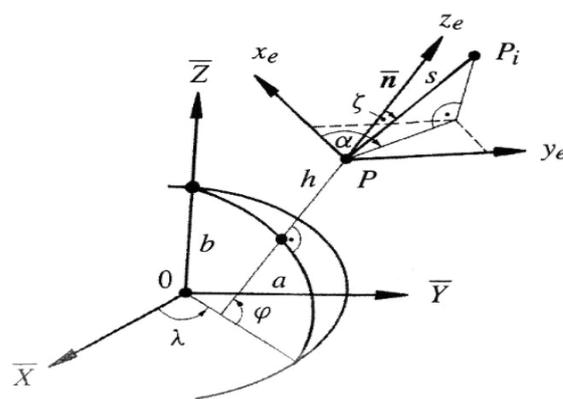


Fig. 3 - Sistemas Geodésicos. Fonte: Seeber (2003).

tridimensionais locais usualmente empregados em Topografia (MONICO, 2008).

Neste trabalho foram empregadas as fórmulas de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais em coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas para determinar o Sistema Geodésico Topocêntrico (Sistema Geodésico Local).

3.3 Definição do Sistema Geodésico Local a partir de Ferramentas Computacionais

Para a definição do Sistema Geodésico Local foi criada uma rotina no *software Excel2010*. Na rotina é aplicada a fórmula de transformação de coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, h) em geodésicas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) a dois vértices. A Tabela 1 mostra um exemplo empregado no Bairro da Madalena – Recife – PE. Ressalta-se que as coordenadas dos vértices denominados EM2 e EM3 foram determinadas com o método de posicionamento GNSS relativo estático, com tempo de observação simultânea de 1h e 30m, utilizando-se como referência a estação da RBMC-RECF e o vértice V-12 (cf. item 5.2.1).

Com as coordenadas cartesianas (X, Y, Z) e as coordenadas geodésicas elipsoidais (φ, λ, h) emprega-se a fórmula para transformar coordenadas geodésicas em plano-retangulares sem utilização do fator de escala para achar as coordenadas (x, y, z). Somando-se em seguida a estas 150000,000m no eixo x e 250000,000m no eixo y para achar as coordenadas no Sistema Geodésico Local (Tabela 2).

Ressalta-se que a NBR 14.166/1988 define um sistema Topocêntrico dextrogiro, em

detrimento da definição convencional do Sistema Topocêntrico levogiro ilustrado na Fig. 3.

Tabela 1: Coordenadas cartesianas tridimensionais dos vértices EM2 e EM3 (SIRGAS2000)

Eixos	Coordenadas Cartesianas Geocêntricas do vértice EM2 (m)	Eixos	Coordenadas Cartesianas Geocêntricas do vértice EM3 (m)
X=	5179140,9711	X=	5179090,9358
Y=	-3614439,4846	Y=	-3614512,1788
Z=	-887480,4974	Z=	-887478,1030

Tabela 2: coordenadas do vértice EM2 no sistema geodésico local (SGL) (SIRGAS2000)

Eixos	Coordenadas (m)	SGL (m)
x	88,2477	150088,2477
y	-2,4510	249997,5490
z	-0,2316	10,4596

Para o controle dos cálculos realizados foi também utilizado, neste trabalho, o Módulo Transformações de Coordenadas do *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2014).

4. MÉTODOS PARA A DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA 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. O método da centragem forçada é definido em (KAHMEN & FAIG, 1988).

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.

4.1 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) e (SEEBER, 2003). Quando o tempo de rastreamento não excede vinte minutos denomina-se o método de Posicionamento Relativo Estático Rápido.

4.2 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), (ESPARTEL, 1978), (GRUBER & JOECKEL, 2011), (WOLF & GHILANI, 1997) e (MOESER, *et al.* 2000).

5. 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.

5.1 Materiais 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 2014.

5.2 Metodologia para a Implantação das Estruturas Geodésicas

O fluxograma (Figura 4) ilustra as etapas executadas. Na primeira etapa foi definida a localização das estruturas geodésicas da Área de Estudo 1 – Bairro da Madalena. Nesta área foram definidos os pontos de referência através dos métodos de levantamento com estação total e posicionalmente relativo estático (GNSS). Os métodos da poligonação e posicionamento GNSS relativo estático serviram para a definição de um Sistema Geodésico 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 (poligonação fechada, interseção a ré e a vante, bilateração, e irradiação dupla).

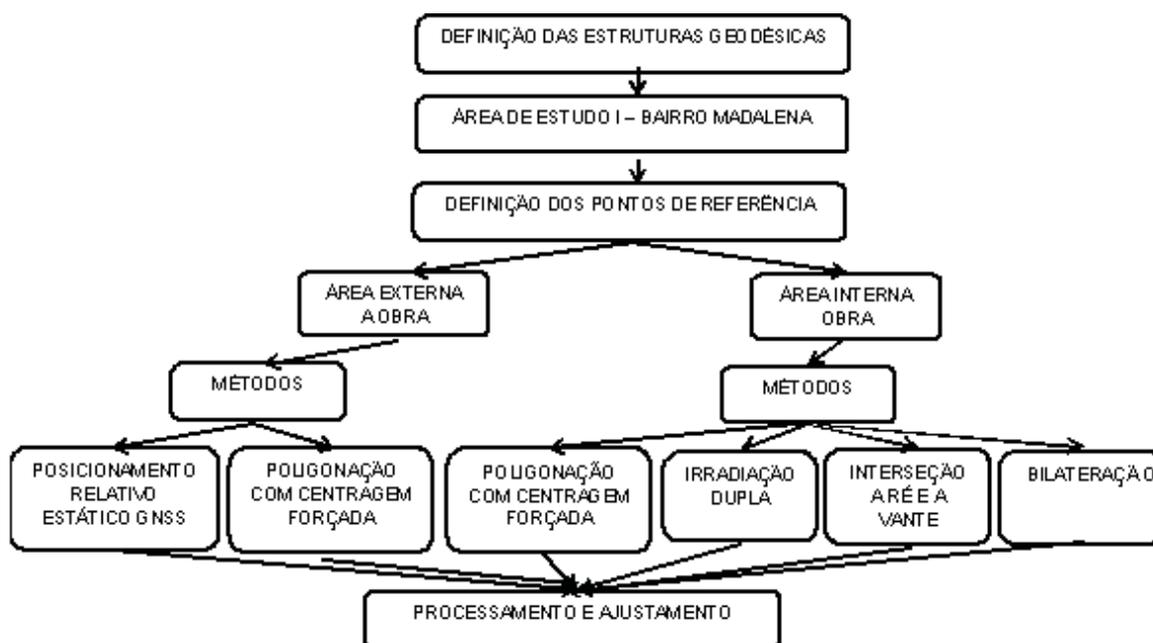


Fig. 4 - Fluxograma das etapas executadas para a definição das estruturas geodésicas. Fonte: SILVA & SEIXAS (2014).

5.2.1 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 materializados na área externa à obra.

5.2.1.1 Medições

A campanha GNSS para o georreferenciamento dos 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 RBMC - 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 5 ilustra a configuração geométrica em uma vista área dos vértices EM2 e EM3 utilizados para o georreferenciamento da área do Bairro da Madalena e as estações RBMC-RECF e V12. A Figura 6 ilustra o edifício em construção e o receptor GNSS instalado no vértice EM2 próximo ao edifício em construção.

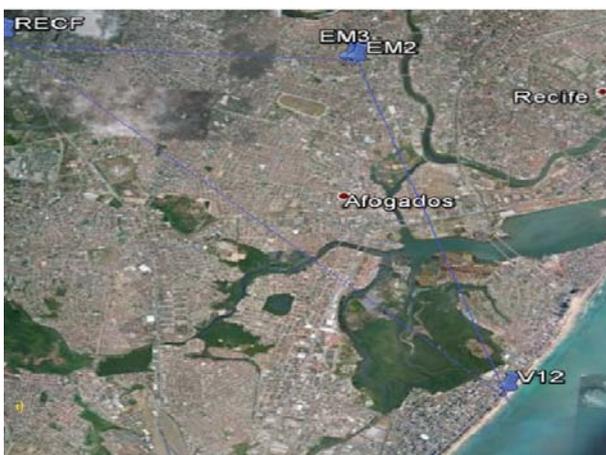


Fig. 5 - Vista área dos vértices RBMC-RECF, V12, EM2 e EM3. Fonte: Imagem Google Earth (2014).



Fig. 6 - Edifício em construção e ocupação GNSS do vértice EM2. Foto: Novembro 2013.

5.2.1.2 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 3).

Após o ajustamento e análise da rede através dos vértices RBMC - RECF, V12, EM2 e EM3, obtiveram-se as coordenadas dos vértices EM2 e EM3, que estão representadas na Tabela 4.

Tabela 3: Coordenadas geodésicas SIRGAS2000 dos vértices RBMC – RECF e V12

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

FONTE: TOPOCON TOOLS V.8.2.

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 3) 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 coordena-

das X e Y do Sistema Topográfico Local (STL) estão apresentadas na Tabela 5.

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.

Tabela 4: Coordenadas geodésicas e UTM SIRGAS2000 das estações EM2 e EM3 (ajustadas) determinadas por RECF e V12

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

FONTE: TOPOCON TOOLS V.8.2.

Tabela 5: 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

5.2.2 Medição, Processamento e Análise dos Resultados dos Pontos de Referência Implantados com a Estação Total

Para o processamento dos dados dos levantamentos executados com estação total e determinação dos vértices das estruturas geodésicas implantadas foram elaboradas rotinas no *software Excel* 2010 para os métodos de poligonização fechada, interseção a vante e a ré (medições combinadas de direção e distância – estação livre, e medições de direção), bilateração e irradiação dupla. Para melhorar a qualidade dos dados foram também elaboradas rotinas dos Métodos dos Mínimos Quadrados (MMQ) – Modelo Paramétrico para os métodos da poligonização fechada, irradiação dupla e estação livre (SILVA, 2014).

5.2.2.1 Método da Poligonização fechada

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

A Figura 7 ilustra um esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra

cadastral em uma campanha realizada em março de 2013 durante a Disciplina Tópicos Especiais em Geodésia (2013.1) e as poligonais internas implantadas na obra e demais Métodos Terrestres de Medição empregados com estação total em campanhas realizadas em janeiro de 2012 (SEIXAS, *et al.*, 2012).

5.2.2.1.1 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 7).

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

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

A Tabela 6 apresenta as coordenadas dos vértices da poligonal calculada pelo método tradicional.

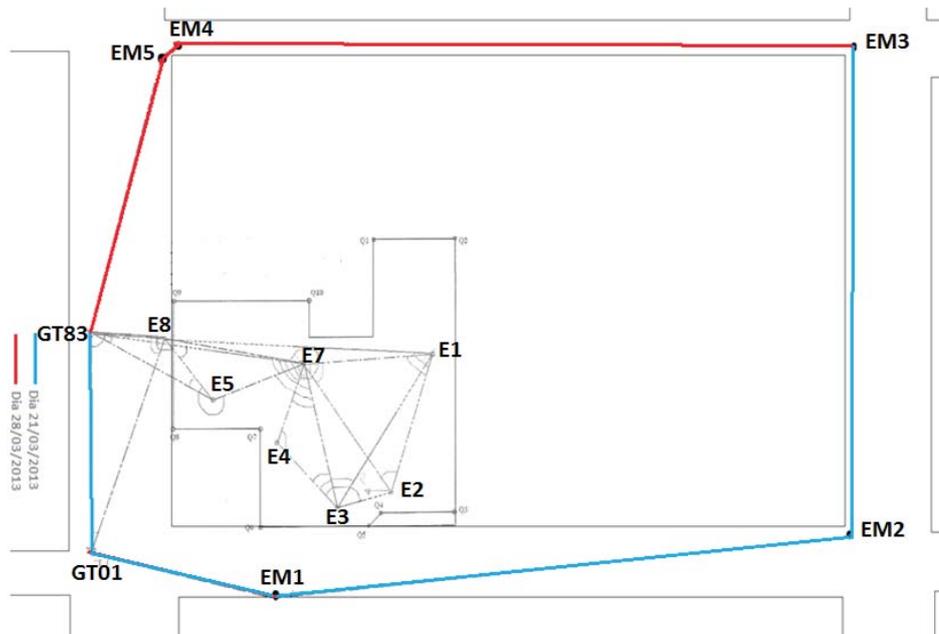


Fig. 7 - Esboço da poligonal externa implantada no entorno da quadra cadastral.

Tabela 6: As coordenadas no STLA

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

O erro de fechamento angular foi de $-4''$, o erro de fechamento linear foi de 0,03020m, com um perímetro de 420,9286m, obteve-se uma precisão relativa de 1/13938,23042. Sendo necessária a tolerância angular de $\pm 16,9701''$ e a linear de $\pm 0,0649$ 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 6 foram ajustadas pelo MMQ modelo paramétrico a partir de um aplicativo elaborado no *software Excel 2010*. Considerando-se as coordenadas do vértice EM2 de 150088,2477 m no eixo X e 249997,5490 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 7), e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 7: Coordenadas no STL (SIRGAS2000)

Vértice	Coordenadas ajustadas no STL		Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)	σ_X (m)	σ_Y (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 maior desvio-padrão obtido foi de 0,0084m no eixo X do vértice EM5 e de 0,0088m no eixo Y do vértice E8.

Analisando os resultados pelo Teste de Hipótese sendo a variância da unidade de peso a posteriori $\hat{\sigma}^2_0 = 2,7676$ e atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$, obteve-se $X^* = 8,3028$. Com o nível de significância 5% e o grau de liberdade três, alcançou um intervalo entre 0,216 e 9,348. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$.

Para o controle das coordenadas dos vértices EM3, EM4, EM5, GT83, E8, GT01 e EM1 foi também empregado o *software* AstGeoTop 2014. A Figura 8 ilustra o desenho topográfico dos vértices da poligonal implantada e localizada no Bairro da Madalena obtida no AstGeoTop2014 no Sistema Topográfico Local (SIRGAS2000) definido na área do trabalho.

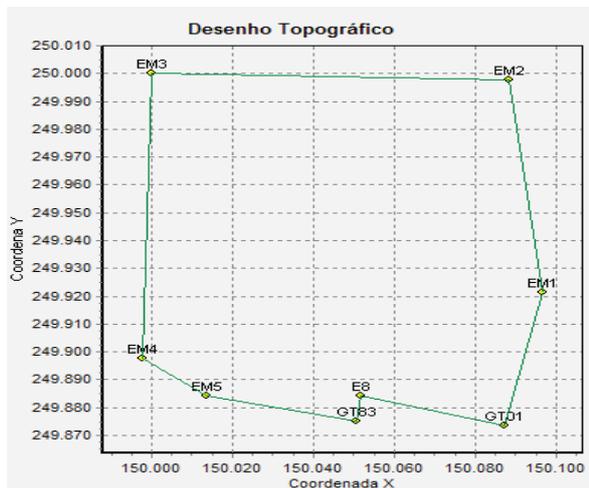


Fig. 8 - Desenho Topográfico da poligonal implantada na área externa à obra. Fonte: AstGeoTop (GARNÉS, 2014).

Neste trabalho foi implantada uma poligonal fechada do tipo 1 (NBR 13.133/1994).

5.2.2.1.2 Poligonais fechadas e internas à obra

Com as coordenadas ajustadas do vértice E8 (Tabela 7) e azimute de alinhamento de E8-GT83 ($AZE8_GT83=187^{\circ}49'13,30''$) calculado a partir das coordenadas ajustadas dos vértices E8 e GT83 (Tabela 7) 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 8 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1, e suas respectivas diferenças.

Tabela 8: 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

Nesta primeira poligonal (E8, E5 e E7) o ajustamento forneceu a variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 1,3961$; na segunda poligonal (E7, E4 e E3) o ajustamento forneceu a variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 0,2724$; e na terceira poligonal (E7, E2 e E1) o

ajustamento forneceu uma variância da unidade de peso a posteriori de $\hat{\sigma}^2_0 = 0,7267$. Através destas informações chegaram-se aos seguintes desvios-padrão para cada vértice calculado da poligonal. Os mesmos estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Desvios - padrão dos vértices E5 e E7; E4 e E3; E2 e E1

Vértice	Desvios-padrão	
	X (m)	Y (m)
E5	0,0010	0,0012
E7	0,0009	0,0045
E4	0,0009	0,0006
E3	0,0020	0,0003
E2	0,0025	0,0016
E1	0,0004	0,0019

Foi realizado o Teste de Hipótese nos casos das poligonais fechadas, considerando o nível

de significância de 5%, atribuindo as hipóteses básicas como $H_0: \sigma^2_0 = \hat{\sigma}^2_0$ e $H_1: \sigma^2_0 \neq \hat{\sigma}^2_0$ e o grau de liberdade três. Obteve-se o intervalo de confiança entre 0,216 e 9,348. Em cada caso obtiveram-se os seguintes resultados: para a primeira poligonal $X^2=4,198$; para a segunda poligonal $X^2=0,817$; e para a terceira poligonal $X^2=2,180$. Portanto, com o nível de significância de 5% não se tem evidência para rejeitar $\hat{\sigma}^2_0$ em todos os casos apresentados.

As classificações das poligonais, os erros de fechamento angular e linear, as precisões relativas podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10: Classificação 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 10. 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 8.

5.2.2.2 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 11 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no eixo X de 0,0006m para o vértice E5 e no eixo Y de 0,0048m para o vértice E7. O maior desvio-padrão obtido foi de 0,0009m no eixo X do vértice E5 e de 0,0041m no eixo Y do vértice E7.

5.2.2.3 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 12 estão apresentadas as coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E7 e

respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças.

Nota-se que as diferenças entre as coordenadas possuem maiores valores em módulo no

eixo X de 0,0020m e no eixo Y de 0,0044m para o vértice E5. O maior desvio-padrão obtido foi de 0,0009m no eixo X do vértice E5 e de 0,0028m no eixo Y do vértice E7.

Tabela 11: 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		Desvios-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

Tabela 12: As coordenadas dos vértices E8, E5, E7 e E2 no STL e respectivas diferenças – caso irradiação dupla

Vértice	A partir de	Coordenadas a priori		Coordenadas ajustadas (MMQ – Modelo Paramétrico)		Desvios-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

5.2.2.4 Método da bilateração

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

Na Tabela 13 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 8).

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.

Tabela 13 - 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

5.2.2.5 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 13 estão apresentadas as coordena-

nadas dos vértices E8, E7, E2 e E4 e respectivos valores ajustados, assim como suas respectivas diferenças. 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 maior desvio-padrão obtido foi de 0,0041m no eixo X do vértice E7 e de 0,0065m no eixo Y do vértice E8.

Tabela 13: 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

5.2.2.6 Interseção a ré por meio de medições angulares

Na Tabela 14 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 poligonação. Neste caso

não houve ajustamento pelo MMQ - modelo Paramétrico, pois foram observados apenas os elementos mínimos necessários para a realização do método.

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.

Tabela 14: Coordenadas dos vértices E7 e E3 no STL e suas respectivas diferenças

Vértice	Coordenadas Ajustadas (Poligonação 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

6. CONCLUSÕES

A primeira parte deste trabalho consistiu na discussão das normalizações vigentes no Brasil com respeito à definição do Sistema de Referência para a Locação de Edificações Prediais. Em seguida a partir de um caso real foram implantadas estruturas geodésicas externas e internas a uma obra de construção com o objetivo de verificar a precisão e acurácia dos métodos planimétricos (poligonação, irradiação dupla, bilateração, interseção a vante e a ré) empregados na Área de

Estudo 1 – Bairro da 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, poligonação com centragem forçada empregados para definir as estruturas geodésicas internas à obra, apresentam bons resultados. Os métodos da interseção a vante, irradiação dupla, bilateração, interseção a ré (por meio de medições combinadas de direção e distância) e interseção a ré por meio de medições de direção quando comparados com o método da poligonação com centragem forçada, obtiveram diferenças ΔX e ΔY em módulo abaixo de, respectivamente: $\Delta X=0,0012\text{m}$ no eixo X do vértice E5 e $\Delta Y=0,0056\text{m}$ no eixo Y do vértice E7 para a interseção a vante; $\Delta X=0,0039\text{m}$ no eixo X do vértice E8 e $\Delta Y=0,0051\text{m}$ no eixo Y do vértice E5 para a irradiação dupla; $\Delta X=0,0094\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y=0,0019\text{m}$ no eixo Y do vértice E5 para a bilateração; $\Delta X=0,0174\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y=0,0044\text{m}$ no eixo Y do vértice E7 para estação livre (interseção a ré por meio de medições combinadas de direção e distância); e $\Delta X=0,0188\text{m}$ no eixo X e $\Delta Y=0,0237\text{m}$ no eixo Y no vértice E7 para interseção a ré por meio de medições 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 poligonação 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

Nossos agradecimentos à PROPESQ/UFPE pela bolsa de pesquisa CAPES/PROPESQ e REUNI, ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela concessão dos equipamentos locados nos Laboratórios de Topografia (LATOP) e de Geodésia (LAGEO e apoio logístico, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, ao Projeto CNPq/VALE S.A. Forma-Engenharia, Processo nº 454844/2012-3, à PROPESQ/UFPE - Projeto Edital PQ - Multiusuário 2014, aos Engenheiros Civis Antônio Rodrigues e José Roberto de Seixas, e ao Mestre de Obra Luiz pelo acesso à obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR-13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ABNT: NBR 14.166 - **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998. 23p.

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. 14p.

ABNT: NBR 14.645-3 – **Locação Topográfica e Controle Dimensional da Obra – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2005. 6p.

BOTELHO, F. **Métodos de Racionalização Construtiva no posicionamento preciso de Edificações Prediais**. Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2003. 102p.

BOTELHO, F. J. L.; ROMAO, M. V. C.; FERREIRA, T. F.; SEIXAS, A. de. **Técnicas Geodésicas para Racionalização Construtiva no Posicionamento Preciso de Edificações Prediais. I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife- Pe, 2004. 12p.

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. p.1 – 7.

ERBA, D. A. (ORG.); THUM, A. B.; SILVA, C. A. U. de; SOUZA, G. C. de; VERONZ, M. R.; LENADRO, R. F.; MAIA, T. C. B. **Curso de Topografia para estudantes de Engenharia, Arquitetura e Geologia**. Editora Unissinos, 2005. 199p.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo, 1978. 655p.

DE FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos**

- de Referência e Bases Cartográficas: Parte I – Aspectos Introdutórios.** Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Palestra apresentada como atividade do projeto PADCT UFPE/UFPR, Recife, 16 a 19/03/2005. 10p.
- 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. 6p.
- GARNÉS, S. J. A. Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas. **COBRAC 98 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário** – UFSC – Florianópolis, 1998. 29p.
- GARNÉS, S. J. dos A. **AstGeoTop, Software.** Recife-PE: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco. Compilação janeiro, 2014.
- GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas.** Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.
- GRUBER, F.J.; JOECKEL, R. **Formelsammlung fuer das Vermessungswesen.** 15. Auflage. Studium Viemegt: Teubner, 2011. 184p.
- IBGE. **Resolução PR nº 01 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro,** 2005. Disponível em < www.ibge.gov.br>. Acesso: em 02 julho 2011. p.1-7.
- IBGE. **Resolução PR nº5 - Levantamentos Relativos Estáticos – GPS: Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS,** 1993. <www.ibge.gov.br>. Acesso: em 02 julho 2011. 18p.
- IBGE. **Resolução PR nº 22 - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos,** 1983. <www.ibge.gov.br>. Acesso: em 02 julho 2011. p. 1- 36.
- IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS,** 2008. <www.ibge.gov.br>. Acesso: em 02 julho 2011. 35p.
- JORDAN, D. W. Tratado general de Topografia. V. I. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, S. A.,1944. 572p.
- KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying.** Berlin: Ed. de Gruyter, 1988. 572p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2 ed. - São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.
- MOESER, M.; MUELLER, G.; SCHLEMMER, H.; WERNER, H. (Hrsg.). **Handbuch Ingenieurgeodaesie. Grundlagen.** Herbert Wichmann Verlag: Heidelberg, 3., voellig neugeberbeitet und erweiterte Auflage, 2000. 642p.
- ROMÃO, V. M. C.; CARNEIRO, A. F. T.; PHILIPS, J.; SILVA, T. F. Rede de Referência Cadastral Municipal: uma proposta do grupo de trabalho sobre cadastro municipal (GTCM) do DECart – UFPE. In: **Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC.** Florianópolis, 13 a 17 de outubro de 1996. p. III - 412 a III – 416.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Fundamentations, Methods and Applications.** Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2003. 589p.
- SEIXAS, A. de; SILVA, T. F.; ROMÃO, V. M. C.; BOTELHO, F. J. Definição de Sistemas de Referência no Controle de Qualidade de Edificações. In: **Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas,** Edson Aparecido Mitishita. (Org.). **Série em Ciências Geodésicas.** Ed. Curitiba: Imprensa Universitária, 2003, v. 3, p. 209-224.
- SEIXAS, A. de; SEIXAS, R. P. C de; SEIXAS, J. R. P. C de. **Implantação de Pontos de Referência internos e externas à Obra do Edifício Residencial, Bairro da Madalena – Recife, PE, Relatório de Medições de Campo,** 2012. 15p.
- SILVA, G. P. **Uma Abordagem Geodésica da Locação e Controle Dimensional de Estruturas da Construção Civil.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014. 174p.
- SILVA, G. P. da; SEIXAS, A. de. Definição de Sistema de Referência para a Locação de Edificações Prediais – Área Experimental:

Bairro da Madalena – Recife – PE. **V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife-Pe, 2014. p. 463 - 472.

SILVA, T. F.; SEIXAS, A. de; ROMÃO, V. M. C. Conceituação de Campo de Pontos na Medição de Deformação de Objetos. **I Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife – Pe, 2004. 7p.

SOUZA, W. O. **Aplicação de Métodos para Determinação do Desvio da Vertical na Integração de Posicionamento GNSS com Levantamentos Topográficos**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de

Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012. 198p.

SILVA, M. M. S.; ZANETTI, M. A. Z.; VEIGA, L. A. K.; KRUEGER, C. P.; DE FREITAS, S. R. C. **Implantação de um Sistema Topográfico Local no Centro Politécnico de acordo com a NBR 14.166 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Adjustment Computations Statistics and Least Squares in Surveying and GIS**. New York. John Wiley & Sons Inc, 1997. 564p.