

Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/3: 519-532  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **REDE DE REFERÊNCIA MUNICIPAL PARA ESTAÇÕES LIVRES: UMA PROPOSTA DE BAIXO CUSTO E GRANDE ABRANGÊNCIA**

*Municipal Reference Network for Free Stations:  
a Low-Cost, Wide-Ranging Proposal*

**Ivandro Klein, Matheus Pereira Guzatto, Markus Hasenack,  
Cesar Rogério Cabral, Arthur Peixoto Berbert Lima, Stefan Fritsche,  
Luiz Alberto Miranda Regina Junior & Gabriel Feldmann Momo**

**Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC**

**Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACC**

Av. Mauro Ramos, 950, CEP 88020-300, Florianópolis, SC, Brasil

{ivandroklein, matheusguzatto, gabriel2momo}@gmail.com, {hasenack, ccabral, arthur.berbert}@ifsc.edu.br,  
st3fanf@yahoo.com.br, luiz.amrj@aluno.ifsc.edu.br

*Recebido em 5 de Janeiro, 2017/ Aceito em 8 de Março, 2017*

*Received on January 5, 2017/ Accepted on March 8, 2017*

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de implantação de rede de referência municipal (RRM) de baixo custo e grande abrangência, para que os profissionais possam executar levantamentos em qualquer região do município utilizando estação total. A proposta consiste na escolha de pontos de apoio em locais de grande visibilidade, como topos de prédios e morros, onde as coordenadas dos pontos de apoio são determinadas por posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System), e, após isto, prismas refletores 360° são instalados nestes pontos, possibilitando o uso do método de estação livre (EL) para realizar levantamentos no sistema de referência do município. Para avaliar esta metodologia, foram realizados experimentos utilizando dados de uma pequena rede local implantada de acordo com esta proposta, composta por seis pontos de apoio. Os nove pontos de EL determinados em relação aos pontos de apoio obtiveram precisão planimétrica melhor ou igual a 5 mm e precisão posicional 3D melhor ou igual a 37 mm. Além disso, quatro marcos de coordenadas conhecidas, obtidas por GNSS, tiveram suas posições determinadas por EL, sendo que a diferença em relação às coordenadas conhecidas foram de no máximo 21 mm na planimetria e de no máximo 39 mm na altimetria. Estes resultados demonstram a qualidade posicional centimétrica desta proposta de RRM para apoio a levantamentos pelo método de EL.

**Palavras-Chave:** Rede de Referência, Estação Livre, Prisma Refletor 360°.

### **ABSTRACT**

The goal of this work is to present a proposal for the implantation of municipal reference network (MRN) of low cost and wide-ranging, so that any surveyor can perform surveys in any region of the county by means of total station instrument. The proposal consists of choosing reference points in places of high visibility, such as tops of buildings and hills, where the coordinates of reference points are derived from GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning. Afterwards, 360° reflective prisms are located in these points, allowing the use of free station (FS) method to perform surveys in the reference system of the county. To evaluate this methodology, experiments were carried out by means of a local network implemented according to this proposal, formed by six reference points. Nine FS points

determined in relation to the reference points showed horizontal standard deviation  $\leq 5$  mm and 3D positional standard deviation  $\leq 37$  mm. In addition, four known geodetic marks had their positions determined through FS method, and the difference in relation to the known coordinates was  $\leq 21$  mm in the horizontal component and  $\leq 39$  mm in the vertical component. The results demonstrated the centimeter-level quality of this proposal for FS surveying.

**Keywords:** Reference Network, Free Station, 360° Reflector Prism.

## 1. INTRODUÇÃO

Diariamente, milhares de levantamentos topográficos e geodésicos são realizados nos municípios de todo o país, para as mais variadas finalidades, como construção civil (locação e controle de obras como terraplanagem, túneis, pontes, dutos, edificações e loteamentos); serviços de agrimensura (definição e demarcação de limites legais, retificações de imóveis, parcelamento do solo, desmembramentos, remembramentos e usucapião); no cadastro territorial multifinalitário (cadastro fiscal, físico, legal, ambiental, viário, urbano), dentre diversas outras aplicações.

Idealmente, todos os levantamentos realizados no município devem estar vinculados a um mesmo sistema de referência, facilitando a integração entre estes dados e alimentando um sistema único de informações geográficas, o que possibilita uma série de benefícios como melhor planejamento urbano e prevenção de acidentes ou conflitos (ver, por exemplo, HASENACK, 2013; DE PAULA NETO, 2014).

Enquanto países como Alemanha, Áustria e Suíça possuem redes de referência altamente densificadas, com pontos de apoio espaçados algumas dezenas ou centenas de metros (ver HASENACK, 2013), os municípios do nosso país, em geral, ainda carecem de redes de referência com densidade suficiente de pontos para que qualquer profissional possa executar levantamentos dentro do sistema de referência do município, e, desta forma, alimentar o seu sistema de informações geográficas, mantendo o mapeamento e o cadastro territorial sempre atualizados.

Cabe aqui ressaltar que diversos esforços estão sendo feitos neste sentido, como por exemplo, o caso da prefeitura municipal de Porto Alegre, que atualmente conta com mais de noventa pontos de apoio em sua rede de referência municipal – RRM (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2013); e o caso da rede GNSS (Global Navigation

Satellite System) ativa do estado de São Paulo, que atualmente conta com vinte estações GNSS ativas (UNESP, 2016), dentre outros.

Entretanto, a realidade da grande maioria dos municípios do país é a falta de uma rede de referência altamente densificada. Este fato é ainda mais crítico se for considerado o Projeto de Lei 3876/2015, que atualmente tramita no Congresso Nacional e estabelece normas para a elaboração do cadastro territorial dos municípios, sendo que a identificação geométrica das parcelas territoriais deve ser vinculada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). O conteúdo de inteiro teor pode ser verificado no seguinte endereço eletrônico: [http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=1422235&filename=PL+3876/2015](http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1422235&filename=PL+3876/2015).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para a implantação de RRM de baixo custo e grande abrangência, para que se possa executar levantamentos em qualquer região do município. A proposta consiste na escolha de pontos de apoio em locais de grande visibilidade, como topos de prédios e morros, onde as coordenadas dos pontos de apoio são determinadas por posicionamento GNSS; e, após isto, prismas refletores 360° são instalados nestes pontos, possibilitando o uso do método de estação livre (EL) para realizar levantamentos no sistema de referência do município.

Para avaliar esta metodologia, experimentos foram realizados no entorno do campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), onde seis pontos de apoio foram implantados de acordo com esta proposta. As posições dos pontos de EL vinculadas ao SGB foram determinadas por meio de medições aos pontos de apoio e aplicação de uma transformação 3D de seis parâmetros, possibilitando analisar tanto a precisão posicional dos pontos de EL; quanto à exatidão (acurácia) posicional destes, no caso da aplicação do método de EL sobre marcos de coordenadas conhecidas.

## **2. CONSIDERAÇÕES SOBRE REDES DE REFERÊNCIA MUNICIPAIS (RRM) E O MÉTODO DE ESTAÇÃO LIVRE (EL)**

Uma rede de referência consiste em um conjunto de pontos de apoio devidamente materializados no terreno, cujas coordenadas (posições) em relação a um sistema de referência são determinadas por meio de observações terrestres como medidas de ângulos e distâncias entre estes pontos, e/ou por meio de técnicas espaciais como os métodos de posicionamento GNSS (KLEIN, 2014).

Redes de referência são utilizadas nos mais diversos ramos da Ciência e da Engenharia, como por exemplo, na materialização de sistemas de referência globais (ALTAMIMI *et al.*, 2011); no apoio e controle básico aos projetos de mapeamento topográfico (IBGE, 1993); no cadastro técnico rural e urbano (AMORIM, 2004); no monitoramento de deformações de estruturas (CHAVES, 2001); na locação de obras de engenharia (PINTO, 2000); no monitoramento de fenômenos dinâmicos sobre a superfície terrestre (DREWES & HEIDBACH, 2009); na implantação e manutenção de diversos serviços de infraestrutura (IBGE, 1983), dentre outros.

No caso dos municípios, algumas das principais aplicações de uma RRM são na locação e controle de obras de engenharia; em serviços de agrimensura e no cadastro territorial, sendo que, atualmente, os métodos mais empregados na implantação de RRM no país são por meio de tecnologia GNSS (ver AMORIM, 2004) ou poligonação eletrônica (PE) utilizando prismas refletores e estações totais (ver SOUZA, 2001).

Uma vantagem do uso da tecnologia GNSS é que as coordenadas dos pontos levantados são fornecidas em um sistema de referência global, isto é, o posicionamento é dito georreferenciado, compatível com o atual sistema de referência oficial do país, o SIRGAS2000 (ver MONICO, 2008). Entretanto, o uso da tecnologia GNSS com alto nível de precisão, isto é, centimétrica ou milimétrica, envolve o uso de antenas e receptores que custam dezenas de milhares de reais.

Além disso, para obter resultados precisos em tempo-real, deve-se dispor de equipamento com comunicação por rádio ou internet, como

pelo protocolo NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol), para a obtenção de dados (correções) de estações GNSS de referência (ver COSTA *et al.*, 2008).

O estabelecimento de uma rede GNSS ativa, isto é, disponível 24h por dia, com transferência de dados em tempo-real via internet, envolve uma logística complexa (ver IBGE, 2016). Ressalta-se que muitas aplicações em áreas urbanas, como a locação e o controle de obras de engenharia, por exemplo, necessitam de posicionamento preciso em tempo-real. O IBGE fornece um serviço de posicionamento preciso em tempo-real para regiões nas imediações de estações GNSS ativas do SGB (RBMC-IP), porém, tal fato ainda não é realidade na maioria dos municípios do Brasil.

Por fim, o posicionamento GNSS em áreas urbanas pode apresentar limitações, em função do erro de multicaminho e o bloqueio dos sinais pelas edificações (BEN-MOSHE *et al.*, 2011). Desta forma, o uso da tecnologia GNSS, por meio de uma rede de estações ativas, na qual o profissional necessita dispor de equipamento GNSS e acesso a internet para acessar os dados (correções) das estações de referência e realizar posicionamento com precisão centimétrica em tempo-real, não é uma alternativa ótima para levantamentos vinculados a uma RRM, pois o posicionamento GNSS pode apresentar limitações em áreas urbanas, restringindo a sua aplicação. Alternativas como o sistema japonês QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) vem sendo desenvolvidas, porém, ainda não apresentam nível de precisão centimétrica em todo tipo de área urbana, além de não ser realidade em nosso país.

Alternativamente, a PE também apresenta nível de precisão centimétrica, devendo, para isto, envolver uma série de medições, pois cada ponto da RRM deve ser ocupado com estação total (ET) e visar um ponto de ré e outro de vante em pelo menos duas leituras com controle das medições, o que demanda grande tempo de execução (ver ABNT, 1994).

Além disso, uma vez que a poligonal está implantada, a ocupação de um ponto poligonal com orientação em outro ponto poligonal adiciona o erro de centragem no

levantamento, uma das maiores fontes de erros com ET, especialmente em medições angulares (GHILANI & WOLF, 2006).

Outra limitação da implantação de uma RRM por PE é que os pontos de apoio não estarão necessariamente localizados em posições ótimas para cada levantamento, pois a sua distribuição espacial é entre dezenas até centenas de metros (ABNT, 1998). Por exemplo, um ponto de apoio implantado em uma esquina pode ser o único ponto da RRM disponível para realizar o levantamento de uma edificação localizada no meio da quadra, cerca de 50 m desta esquina. Neste caso, deverá ser utilizado um ou mais pontos de estação auxiliares, o que demanda maior tempo de execução e adiciona mais fontes de erros ao levantamento.

Além disso, o levantamento georreferenciado com ET apoiado em pontos previamente determinados requer informações adicionais como o fator de escala a ser aplicado nas medições lineares (ver FRANÇA *et al.*, 2016). Desta forma, o uso de PE em uma RRM também não é uma alternativa ótima, pois a sua implantação envolve uma grande série de medições, isto é, custos de execução; e, além disso, o espaçamento dos pontos de apoio, de pelo menos dezenas de metros, não garante uma distribuição espacial ótima para todos os levantamentos a serem desenvolvidos no município; além de outros fatores como o erro de centragem e a correta aplicação de fatores de escala lineares nos levantamentos com ET apoiados em pontos poligonais.

Embora atualmente o posicionamento GNSS e a PE sejam os dois métodos mais empregados na implantação de RRM no país, ressalta-se que a grande maioria dos municípios ainda não dispõe de uma RRM densificada ao longo de toda a sua extensão. Países com maior investimento em redes de referência como Alemanha, Áustria e Suíça, apresentam RRM com precisão centimétrica e pontos de apoio espaçados entre dezenas e centenas de metros (HASENACK, 2013).

Nestes países, ao se realizar um levantamento com ET, o profissional não necessariamente ocupa um ponto da RRM, podendo utilizar três pontos da RRM para empregar um método denominado estação livre (EL). O método de EL, como o termo sugere, permite ao profissional escolher o melhor local para posicionar a ET, e, determinando a sua

distância e direção em relação a três pontos da RRM, possibilita obter as coordenadas do ponto de EL e suas respectivas precisões no sistema de referência da RRM. Ressalta-se que o método de EL já é largamente difundido entre os diversos fabricantes de ET, com diferentes denominações como intersecção a ré; ressecção espacial; estação livre e etc. (ALVES *et al.*, 2012).

É importante mencionar que o método de EL não se restringe a levantamentos com ET, podendo também ser aplicado no posicionamento GNSS, como por exemplo, na locação de obras em um sistema de coordenadas locais (HASENACK & CABRAL, 2013).

Matematicamente, o método de EL pode ser resolvido por diversos modelos, como por exemplo, por meio de alguma transformação geométrica. Neste caso, determinam-se as coordenadas do ponto de EL no sistema de referência da RRM por meio de uma transformação geométrica entre o sistema de referência local da estação e o sistema de referência da RRM, aplicando, por exemplo, um fator de escala para as distâncias; um ângulo de rotação para as direções angulares; e duas translações nas coordenadas planimétricas dos pontos (ver ZHU *et al.*, 2009 e a Figura 1). Após a obtenção dos parâmetros de transformação, todos os pontos levantados a partir do ponto de EL também estarão vinculados ao sistema de referência da RRM.

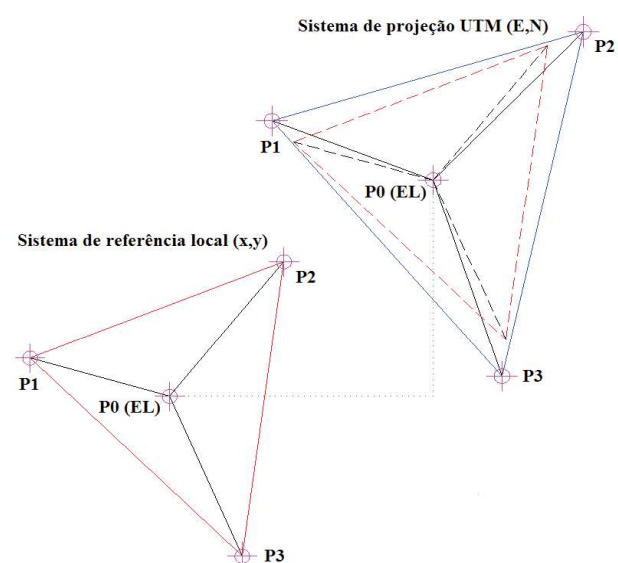


Fig 1 – Ilustração gráfica da transformação geométrica de um sistema de referência local (x, y) para o sistema de projeção UTM (E, N) pelo método de EL.

As transformações geométricas são largamente aplicadas nas ciências geodésicas, sendo uma das mais empregadas denominada “transformação de Helmert” (ver MONICO, 2008). A transformação de Helmert 3D envolve sete parâmetros: três translações (uma em cada eixo cartesiano); três rotações (uma em cada plano cartesiano); e um fator de escala único para as três dimensões. Levantamentos topográficos e geodésicos em geral são realizados em um sistema de coordenadas planialtimétricas, desta forma, somente um ângulo de rotação, no plano horizontal, é necessário. Além disso, muitas vezes o fator de escala planimétrico (ou horizontal) será diferente do fator de escala altimétrico (ou vertical), por exemplo, em função do sistema de projeção cartográfica adotada (FRANÇA *et al.*, 2016).

Desta forma, neste trabalho, optou-se por considerar uma transformação geométrica 3D de seis parâmetros: três translações (uma em cada eixo cartesiano); dois fatores de escala (um no plano horizontal e outro no eixo vertical); e um ângulo de rotação (no plano horizontal). Neste caso, a relação matemática entre as coordenadas de um mesmo ponto em dois sistemas de referência é dada por:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{x,y} \cdot \cos \theta & \lambda_{x,y} \cdot \sin \theta & 0 \\ -\lambda_{x,y} \cdot \sin \theta & \lambda_{x,y} \cdot \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

onde na Expressão (1),  $(X, Y, Z)$  são as coordenadas 3D do ponto no sistema da RRM;  $(x, y, z)$  são as coordenadas do mesmo ponto no sistema local da estação;  $(\lambda_{x,y}, \lambda_z, \theta, \Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  são os seis parâmetros de transformação entre os dois sistemas, respectivamente: fator de escala horizontal, fator de escala vertical, ângulo de rotação horizontal, translação no eixo horizontal este, translação no eixo horizontal norte e translação no eixo vertical.

As coordenadas  $(X, Y, Z)$  dos pontos de apoio no sistema da RRM são conhecidas, como por exemplo, coordenadas UTM (este – E, e norte – N) e altitude geométrica (h) em SIRGAS2000; enquanto as coordenadas  $(x, y, z)$  no sistema local da estação são determinadas por medições, isto é, visadas aos pontos de apoio, considerando o sistema de referência arbitrário da estação, dado pela origem, escala e orientação da ET.

Desta forma, visando dois pontos de apoio da RRM, têm-se um sistema de  $n = 2 \times 3 = 6$  equações a  $u = 6$  incógnitas, o que possibilita uma solução única e exata, isto é, sem controle de erros. Com três ou mais pontos de apoio, é possível realizar um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) para obter os seis parâmetros de transformação por meio da seguinte expressão (GHILANI & WOLF, 2006):

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P y \quad (2)$$

onde na Expressão (2),  $\hat{x}$  é um vetor contendo os seis parâmetros de transformação ajustados  $(\lambda_{x,y}, \lambda_z, \theta, \Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ ;  $A$  é uma matriz de coeficientes contendo as coordenadas dos pontos de apoio no sistema de referência local da estação, “zeros” ou “um”;  $P$  é a matriz peso contendo o inverso das variâncias das coordenadas dos pontos de apoio em sua diagonal; e  $y$  é um vetor contendo as coordenadas dos pontos de apoio no sistema da RRM.

A precisão (desvio-padrão) dos seis parâmetros de transformação é obtida por meio da propagação de variâncias e covariâncias na forma matricial, resultando em (GEMAEL, 1994):

$$\Sigma_{\hat{x}} = (A^T P A)^{-1} \quad (3)$$

onde na Expressão (3), corresponde a matriz de covariância dos parâmetros ajustados. As expressões (2) e (3) referem-se ao ajustamento pelo método paramétrico ou modelo de Gauss-Markov. Uma maneira mais rigorosa é considerar a precisão (desvio-padrão) das coordenadas dos pontos de apoio tanto no sistema da RRM  $(X, Y, Z)$ , quanto no sistema local da estação  $(x, y, z)$ , estas últimas obtidas em função das medições do ponto de EL aos pontos da RRM. Tal procedimento pode ser realizado pelo método combinado de ajustamento ou modelo de Gauss-Helmert. Por fugir do escopo deste trabalho, o mesmo não será aqui apresentado. Detalhes sobre o MMQ podem ser obtidos em Gemael (1994) ou Ghilani & Wolf (2006).

Uma vez que os seis parâmetros de transformação estão determinados, as coordenadas dos pontos levantados a partir da EL serão obtidas no sistema de referência da RRM, isto é, o levantamento estará georreferenciado em

tempo-real, sem necessidade do posicionamento GNSS com protocolo NTRIP.

Uma vantagem do método de EL em relação a levantamentos com ET ocupando pontos previamente conhecidos é que a precisão posicional de cada ponto levantado não depende da precisão posicional do ponto de estação; dependendo somente da medição do ponto de EL ao ponto visado e da precisão dos parâmetros de transformação previamente estimados, conforme demonstra a Expressão (1).

É importante destacar que o método de EL apresenta uma série de outras vantagens, pois a determinação do ponto de estação é relativamente rápida em comparação com a PE; o ponto de EL não necessita ser materializado e pode ser escolhido livremente (em função das condições do levantamento); além de não apresentar o erro de centragem.

Além disso, o método de EL pode ser utilizado com ET, equipamento de alta precisão e menor custo que receptores GNSS de multi-frequência com coletora de dados para posicionamento centimétrico em tempo-real. Havendo três ou mais pontos de apoio visíveis da RRM, pode-se realizar um ajustamento pelo MMQ e determinar as coordenadas do ponto de EL e suas respectivas precisões, bem como, os resíduos dos pontos de apoio, o que garante um controle de qualidade fundamental do posicionamento (KLEIN, 2012); enquanto o posicionamento GNSS em rede no Brasil, em geral, só pode ser realizado em modo pós-processado ou por meio de serviços comerciais.

Em contrapartida, pontos poligonais permitem o levantamento tanto por ET quanto por GNSS; sendo que o profissional necessita de somente um (GNSS) ou dois (ET) pontos de apoio para executar o levantamento. Por sua vez, uma rede GNSS ativa necessita menor densidade de pontos, pois cada estação deve abranger um raio com cerca de 20 km; além do profissional não necessitar de um ponto de estação (base) para realizar o levantamento GNSS/NTRIP.

A principal desvantagem do método de EL é que este necessita de uma RRM com alta densidade de pontos, pois cada ponto de estação necessita de visibilidade a, pelo menos, dois pontos da RRM (ou a três pontos quando se requer o controle de qualidade), o que atualmente inviabiliza a sua utilização nos municípios do

Brasil.

Uma alternativa de baixo custo, proposta neste trabalho, é a adoção de uma RRM formada por pontos de apoio em locais de grande visibilidade do município, como morros e topos de prédios, utilizando prismas refletores 360° que garantem a visada não importa a direção do ponto de EL. As coordenadas destes pontos de apoio devem ser determinadas por posicionamento GNSS, garantindo um sistema de referência único para o município e o nível de precisão centimétrica das RRM atualmente adotadas a nível mundial. O fato dos pontos de apoio da RRM estarem localizados em locais altos como morros e topos de prédios reduz os efeitos de multicaminho e obstruções dos sinais GNSS, isto é, as maiores limitações do posicionamento GNSS em áreas urbanas.

Desta forma, por se situarem em locais de grande visibilidade e utilizarem prismas refletores 360°, a principal vantagem desta proposta é que os pontos de apoio da RRM não necessitam estarem espaçados por algumas dezenas de metros como no caso de PE. Além disso, os pontos da RRM não necessitam de intervisibilidade entre si, uma vez que as suas coordenadas são determinadas por posicionamento GNSS. Ressalta-se que tal metodologia é inédita e não é empregada em nenhum município do país até o presente momento.

A Tabela 1 apresenta as principais vantagens e desvantagens dos três métodos de levantamentos apoiados em redes aqui considerados: levantamento apoiado em pontos poligonais; rede GNSS/NTRIP ativa e rede com prismas refletores 360° para EL.

É importante mencionar que os três métodos considerados possuem limitações em áreas rurais afastadas: a PE requer um grande número de medições no transporte de coordenadas até estas regiões; levantamentos por GNSS/NTRIP ficam limitados em função da distância às estações ativas e/ou o acesso à *internet*; enquanto uma rede com prismas refletores 360° fica restringida as imediações de locais com grande visibilidade como morros e vilarejos rurais.

Encerrando esta seção, a respeito da propagação de erros (variâncias e covariâncias), os programas de EL atualmente disponíveis fornecem a precisão (desvio-padrão) das



coordenadas do ponto de EL, porém, em geral, não propagam as precisões (desvios-padrões) das coordenadas dos pontos de apoio no sistema de referência da rede (ver LEICA, 2008; TRIMBLE, 2013). Desta forma, uma planilha eletrônica foi desenvolvida, onde é realizada a propagação de erros ao ponto de EL tanto das medições (sistema local da estação) quanto das coordenadas dos pontos de apoio no sistema de referência da rede, garantindo maior confiabilidade aos resultados. Na próxima seção, são descritos os experimentos realizados nesta pesquisa a fim de investigar as considerações aqui apresentadas.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos métodos de levantamentos apoiados em redes aqui considerados

RRM	Vantagens	Desvantagens
Poligonal	Levantamento com ET ou com GNSS;	Requer estação auxiliar (para ET);
	Requer somente 1 ponto (GNSS) ou 2 pontos base (ET).	RRM necessita de alta densidade de pontos.
Rede GNSS ativa	RRM com menor densidade de pontos;	Equipamento GNSS NTRIP possui maior custo que ET;
	Não requer ponto de estação por parte do profissional.	Limitação de aplicação em áreas urbanas.
Prismas 360°	Ponto de estação escolhido em função do levantamento;	Ponto de EL requer visibilidade a três pontos da RRM;
	Pontos da RRM não necessitam intervisibilidade.	Pontos da RRM restritos a locais de grande visibilidade.

### 3. EXPERIMENTOS REALIZADOS

O apoio financeiro concedido por meio de projeto de pesquisa possibilitou a aquisição de seis primas refletores 360°. Os seis pontos de apoio da rede local foram escolhidos em locais estratégicos: quatro destes localizados em topos de prédios nas imediações do campus Florianópolis do IFSC (P3, P4, P5, P6); e dois destes localizados no Morro da Cruz: um na sede do jornal “Noticias do Dia” do grupo RICTV/SC (P1) e outro no heliponto da Polícia Militar (P2), conforme ilustra a Figura 2. Na Figura 2, o campus Florianópolis do IFSC pode ser identificado pela pista de atletismo ao lado do ponto P3, enquanto a Praça Getúlio Vargas é identificada pela área de vegetação abaixo do ponto P5.



Fig. 2 – Localização dos pontos de apoio da rede local (Adaptado do software Google Earth Pro).

A distribuição espacial dos pontos de apoio da rede local foi definida para que no mínimo três prismas refletores 360° fossem visíveis em diversos locais, especialmente em pontos de esquina, desde o campus Florianópolis do IFSC até o entorno da Praça Getúlio Vargas, visando priorizar as aulas práticas do curso técnico de Agrimensura.

Antes da instalação dos prismas refletores 360°, em cada ponto de apoio, foi realizado o rastreamento GNSS com cerca de 40 minutos de duração, bem como, o posterior ajustamento em relação às estações IFSC e SCFL da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Para isto, foram utilizados receptores GNSS (GPS + GLONASS) de dupla frequência, sendo que os tempos de rastreios adotados estão de acordo com as recomendações de IBGE (2008) e INCRA (2013), uma vez que os vetores (linhas-base) são inferiores a 3 km.

Um resumo do ajustamento dos dados GNSS é apresentado na Tabela 2. Por fugir do escopo deste trabalho, não serão aqui descritos os termos contidos na Tabela 2. Detalhes sobre os mesmos podem ser obtidos em Monico (2008).

Analisando os resultados da Tabela 2, nota-se que o local de instalação dos pontos, em topos de prédios e morros, favoreceu o posicionamento GNSS, com PDOP médio inferior a dois em todos os casos e resíduos dos vetores ajustados em geral milimétricos. Importante destacar que foram consideradas as precisões das coordenadas

das estações IFSC e SCFL no processamento dos dados GNSS, conforme as monografias oficiais das mesmas divulgadas pelo IBGE. Tal fato é refletido na pior precisão altimétrica dos pontos da rede em relação à precisão planimétrica destes. Ressalta-se que dependendo da finalidade, somente as coordenadas planimétricas podem ser consideradas.

Tabela 2: Resumo do ajustamento dos dados GNSS dos pontos de apoio da rede

Tipo de solução dos vetores	Fixa
Menor PDOP médio dos vetores	1,45
Maior PDOP médio dos vetores	1,67
Extensão do maior vetor	2761,357 m
Extensão do menor vetor	111,757 m
Menor resíduo planimétrico dos vetores	0,001 m
Maior resíduo planimétrico dos vetores	0,007 m
Menor resíduo altimétricos dos vetores	0,000 m
Maior resíduo altimétricos dos vetores	0,018 m
Máscara de elevação adotada	15°
Maior sessão de rastreamento dos pontos	47 m 32 s
Menor sessão de rastreamento dos pontos	35 m 45 s
< desvio-padrão horizontal dos pontos	0,004 m
> desvio-padrão horizontal dos pontos	0,005 m
< desvio-padrão vertical dos pontos	0,028 m
> desvio-padrão vertical dos pontos	0,029 m

Os prismas refletores 360° foram instalados em barras de aço inoxidável com cerca de 40 cm de altura, favorecendo a sua visibilidade e identificação nos locais de instalação, conforme ilustra a Figura 3.



Fig. 3 – Instalação de prisma refletor 360° no ponto P1.

Em termos de manutenção, em função da exposição permanente, os prismas refletores requerem limpeza e verificação de possíveis deslocamentos por meio de novos rastreios GNSS duas ou três vezes ao ano. Cabe ressaltar aqui os cuidados necessários quanto à altura da

antena GNSS e do prisma refletor, bem como, as constantes dos prismas. O ponto de referência para medição da altura dos instrumentos é o centro da base da rosca 3/8" em cada barra. A constante do prisma é +23 mm para ET do fabricante Leica e -11 mm para ET de outros fabricantes. As monografias dos seis pontos de apoio podem ser obtidas em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/downloads/>.

Analisando a Figura 3, nota-se a grande área de abrangência dos pontos P1 e P2, localizados no Morro da Cruz. Grande parte das ET atualmente disponíveis possuem alcance de medição para um prisma refletor entre 3 km e 3,5 km, o que demonstra a potencial redução de custos em relação à implantação da RRM por métodos convencionais como PE, que exigem uma grande quantidade de pontos de apoio; ou por meio de estações GNSS ativas, pois cada prisma refletor 360° custa atualmente cerca de R\$ 3.000, custo significativamente menor que receptor GNSS de multi-frequência e que pode ser consideravelmente reduzido por meio de importação direta em grande quantidade.

Após a determinação das coordenadas dos pontos de apoio pelo posicionamento GNSS, bem como, a instalação dos prismas refletores 360° sobre estes, nove experimentos de EL foram realizados, desde o campus Florianópolis do IFSC até a Praça Getúlio Vargas. Em cada ponto de EL, três pontos de apoio da rede local foram visados, com leituras na posição direta e inversa da luneta, utilizando ET com precisão nominal linear de  $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$  e precisão nominal angular de  $\pm 5''$ . Desta forma, adotando a “regra dos três sigmas” (LEHMANN, 2013), as leituras na posição direta e inversa da luneta não podiam apresentar resíduo superior a  $6 \text{ mm} + 6 \text{ ppm}$  na componente linear e a  $15''$  na direção angular zenital ou horizontal (em módulo).

Os dados obtidos foram inseridos na planilha eletrônica desenvolvida, apresentando como resultados os seis parâmetros de transformação ajustados de cada experimento e seus respectivos desvios-padrões; bem como, os resíduos das coordenadas ajustadas dos pontos de apoio, tanto no sistema de referência da rede implantada quanto no sistema de referência local (arbitrário) de cada estação. O sistema de referência adotado para a rede é o SIRGAS2000, expresso em coordenadas planas UTM (este – E



e norte – N), e com a altitude geométrica (h) como coordenada vertical. Desta forma, as coordenadas georreferenciadas (E, N, h) de cada ponto de EL foram obtidas aplicando os seis parâmetros de transformação estimados em seu respectivo experimento por meio da Expressão (1). Os desvios-padrões destas coordenadas foram obtidos por meio da propagação de erros dos parâmetros de transformação sobre as coordenadas dos pontos de EL. Por não fazer parte do escopo deste trabalho, o formulário matemático para a obtenção dos desvios-padrões das coordenadas dos pontos de EL por meio da propagação de variâncias e covariâncias na forma matricial não será aqui apresentado, mas pode ser obtido, por exemplo, em Gemael (1994).

A Tabela 3 apresenta os seis parâmetros de transformação de um dos experimentos de EL (E2), enquanto a Tabela 4 apresenta os resíduos das coordenadas ajustadas dos pontos de apoio neste respectivo experimento.

Tabela 3: Parâmetros de transformação e desvios-padrões (E2)

	1,000286 ± 0,000021
<b>Fator de escala horizontal</b>	285,6 ± 20,8 ppm
	1 / 3.502 ± 1 / 48.024
<b>Ângulo de rotação</b>	326° 28' 6" ± 2,1"
<b>Translação de x para E</b>	742.688,675 ± 0,004 m
<b>Translação de y para N</b>	6.945.441,982 ± 0,003 m
<b>Translação de z para h</b>	13,345 ± 0,031 m
<b>Fator de escala vertical</b>	1,000021 ± 0,000297
	21,0 ± 297,1 ppm
	1 / 47.618 ± 1 / 3.366

Analisando os resultados da Tabela 3, nota-se que o fator de escala horizontal está próximo do fator de escala UTM para a região ( $K = 1,000324$ ), conforme esperado. As translações correspondem as coordenadas E, N e h do ponto de EL (E2), uma vez que as coordenadas arbitrarias no sistema local da estação foram definidas em:  $x = y = z = 0$  m. Por fim, o fator de escala vertical apresentou valor muito próximo de 1, conforme esperado. O desvio-padrão quase 15 vezes maior do que o fator de escala vertical (em ppm) indica a sua insignificância no modelo matemático. Ressalta-

se que o mesmo foi mantido no algoritmo para um caso geral que possa envolver diferentes tipos de altitudes e/ou parametrização de erros altimétricos sistemáticos.

Tabela 4: Resíduos das coordenadas ajustadas dos pontos de apoio (E2)

<b>Ponto de apoio</b>	<b>Coordenada</b>	<b>Resíduo (em m)</b>	<b>Resíduo relativo</b>
<b>P2</b>	<b>E</b>	0,000	0,13
	<b>N</b>	-0,001	-0,21
	<b>h</b>	-0,001	-0,02
<b>P4</b>	<b>E</b>	0,001	0,36
	<b>N</b>	0,002	0,78
	<b>h</b>	0,009	0,32
<b>P6</b>	<b>E</b>	-0,001	-0,49
	<b>N</b>	-0,002	-0,56
	<b>h</b>	-0,008	-0,30
<b>Ponto de apoio</b>	<b>Coordenada</b>	<b>Resíduo (em m)</b>	<b>Resíduo relativo</b>
<b>P2</b>	<b>x</b>	-0,004	-0,36
	<b>y</b>	0,003	0,50
	<b>z</b>	0,002	0,21
<b>P4</b>	<b>x</b>	-0,007	-1,59
	<b>y</b>	-0,007	-1,48
	<b>z</b>	-0,001	-0,12
<b>P6</b>	<b>x</b>	0,006	1,23
	<b>y</b>	0,000	-0,16
	<b>z</b>	0,000	0,01

Inserindo o fator de escala horizontal e as coordenadas (E, N, h) do ponto de EL na ET, bem como, redefinindo a origem da direção horizontal da estação na direção angular de 326° 28' 6" (por meio do ajuste fino do instrumento), pode-se realizar o levantamento georreferenciado diretamente a partir da estação. Ressalta-se que o profissional é livre para utilizar o programa de EL interno da ET ou desenvolver a sua própria rotina de cálculo. Na execução deste projeto, foi desenvolvida uma planilha eletrônica que realiza a transformação geométrica pelo MMQ para

cálculo da estação livre e posterior irradiação de pontos a partir desta, com controle de qualidade das medições e cálculo das precisões dos pontos levantados. Atualmente, este tipo de planilha eletrônica pode ser utilizada em campo por meio de aplicativos gratuitos de smartphones, independente do equipamento utilizado.

Sobre os resultados da Tabela 4, o termo “resíduo relativo” corresponde ao valor do resíduo dividido pelo respectivo desvio-padrão da coordenada. Desta forma, analisando a Tabela 4, nota-se que os três pontos de apoio visados apresentam resíduos dentro da “regra dos três sigmas”, tanto no sistema georreferenciado adotado (E, N, h), quanto no sistema local arbitrário da estação ( $x, y, z$ ).

De maneira resumida, a Tabela 5 apresenta os desvios-padrões obtidos para os pontos de EL nos nove experimentos realizados. Na Tabela 5, “ $\sigma_i$ ” corresponde ao desvio-padrão da respectiva coordenada “ $i$ ”;  $\sigma_{2D} = \sqrt{(\sigma_E^2 + \sigma_N^2)}$  e  $\sigma_{3D} = \sqrt{(\sigma_E^2 + \sigma_N^2 + \sigma_h^2)}$ .

Tabela 5: Desvios-padrões obtidos para as coordenadas dos pontos de EL

	Valor mínimo	Valor máximo
$\sigma_E$ (eixo este)	0,003 m	0,004 m
$\sigma_N$ (eixo norte)	0,003 m	0,004 m
$\sigma_h$ (eixo vertical)	0,026 m	0,037 m
$\sigma_{2D}$ (horizontal)	0,004 m	0,005 m
$\sigma_{3D}$ (posicional)	0,026 m	0,037 m

Analisando os resultados da Tabela 5, nota-se que a precisão horizontal (planimétrica) é  $\leq 5$  milímetros, enquanto a precisão vertical (altimétrica) e a precisão posicional (3D) é  $< 4$  cm para todos os pontos de EL. Analisando as Tabelas 2 e 5, nota-se que a precisão horizontal dos pontos de EL é igual à precisão horizontal dos pontos da rede local; enquanto a precisão vertical oscila entre valores maiores ou menores que em relação aos pontos da rede local. Tais resultados não são incoerentes, pois a precisão de cada ponto de EL não depende somente da precisão dos pontos de apoio visados; dependendo ainda da quantidade e distribuição espacial destes, sendo a geometria do posicionamento um fator importante na qualidade posicional deste (ver, por exemplo, KLEIN, 2012 e KLEIN, 2014).

Sobre esta questão de qualidade posicional,

os dois pontos de EL que apresentaram menor desvio-padrão horizontal e posicional foram os pontos E1 e E5; o ponto de EL que apresentou maior desvio-padrão horizontal foi o ponto E8; enquanto o maior desvio-padrão posicional foi obtido no ponto E6 (ver as figuras 4, 5, 6 e 7).



Fig. 4 – Pontos de apoio visados e o ponto de EL com melhor desvio-padrão horizontal e posicional (E1). (Adaptado do software Google Earth Pro)



Fig. 5 – Pontos de apoio visados e o ponto de EL com melhor desvio-padrão horizontal e posicional (E5). (Adaptado do software Google Earth Pro)

Analisando as figuras 4 e 5, nota-se que os pontos de EL que apresentaram menor desvio-padrão horizontal e posicional possuem geometrias de posicionamento semelhantes, visando os mesmos pontos de apoio. Nota-se



ainda que nenhum dos dois pontos de EL está contido dentro do triângulo formado pelos três pontos de apoio, sendo os três pontos de apoio praticamente colineares



Fig. 6 – Pontos de apoio visados e o ponto de EL com pior desvio-padrão horizontal (E8). (Adaptado do software Google Earth Pro).

Analisando as figuras 4, 5, 6 e 7, nota-se o menor ângulo horizontal entre os pontos de apoio visados no ponto E8, o que pode explicar a sua pior precisão horizontal. Analisando ainda as figuras 4, 5, 6 e 7, notam-se, em geral, maiores distâncias de visadas do ponto E6 em relação aos demais pontos de EL, o que pode ter resultado na pior precisão posicional deste. Este tipo de análise foge do escopo deste trabalho, mas destaca-se aqui a sua importância para investigações futuras.



Fig. 7 – Pontos de apoio visados e o ponto de EL com pior desvio-padrão posicional (E6). (Adaptado do software Google Earth Pro)

De maneira resumida, pode-se concluir que os pontos de EL, na área de abrangência da rede local implantada, apresentam desvio padrão melhor ou igual a 5 mm na planimetria e desvio-padrão melhor ou igual a 37 mm na altimetria. Além disso, a precisão altimétrica, e consequentemente a precisão posicional 3D, foi muito mais sensível aos experimentos do que a precisão posicional planimétrica (2D), o que também requer maiores investigações.

Por fim, visando analisar a acurácia (exatidão) das coordenadas dos pontos de EL, foram realizados experimentos em quatro marcos de coordenadas conhecidas no *campus* Florianópolis do IFSC, determinadas pelo posicionamento relativo GNSS em relação às estações IFSC e SCFL da RBMC, com tempo de rastreamento de cerca de 30 minutos e boas condições de rastreamento em cada ocupação, realizada com receptor GNSS (GPS + GLONASS) de dupla frequência. As distâncias dos marcos ocupados em relação à estação IFSC são inferiores a 100 metros; enquanto em relação à estação SCFL são inferiores a 2.300 metros. Cada ponto de EL foi determinado em relação a três pontos de apoio da rede de prismas refletores 360°, seguindo a mesma metodologia dos experimentos anteriores.

Desta forma, a Tabela 6 apresenta um resumo das diferenças, em módulo, entre as coordenadas “conhecidas” dos marcos (posicionamento GNSS), e as coordenadas obtidas pelo método de EL.

Tabela 6: Diferenças obtidas entre as coordenadas dos marcos (GNSS × EL)

	Valor mínimo	Valor máximo
Coordenada E	1 mm	20 mm
Coordenada N	7 mm	18 mm
Coordenada h	31 mm	39 mm
Resultante 2D	7 mm	21 mm
Resultante 3D	36 mm	44 mm

Analisando a Tabela 6, nota-se que as diferenças são  $\leq 21$  mm em planimetria e  $\leq 39$  mm em altimetria, ou seja, os pontos de EL apresentam acurácia (exatidão) posicional centimétrica. Destaca-se que os resíduos das coordenadas ajustadas dos pontos de apoio, em ambos os sistemas de referência ( $x, y, z$  e  $E, N, h$ ), também atendem a regra dos três sigmas, o que fornece maior confiabilidade aos resultados

e demonstra que a transformação matemática adotada se mostrou adequada a realidade do problema.

#### 4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi propor uma solução de baixo custo e com o mesmo nível de precisão das RRM atualmente implantadas a nível internacional, contribuindo com o atual estado da arte sobre o tema. Sua finalidade é fornecer o apoio ao método de EL com ET, sendo uma alternativa aos levantamentos com ET ocupando pontos da RRM ou ao posicionamento GNSS/NTRIP, especialmente em áreas urbanas.

Com base nos experimentos realizados, conclui-se que a proposta aqui descrita apresentou resultados satisfatórios, com pontos de EL de precisão em geral milimétrica e exatidão (acurácia) posicional em geral centimétrica. O fato dos pontos de apoio se situarem em locais altos, sujeitos a poucas obstruções e reflexões dos sinais GNSS, é um dos fatores que contribui com a qualidade posicional dos pontos de EL, que são determinados em relação a estes.

Além disso, a transformação 3D adotada, com somente uma rotação no plano horizontal e dois fatores de escala distintos em planimetria e altimetria, se mostrou adequada para a conversão do sistema local da estação para um sistema de coordenadas georreferenciadas, no caso, o sistema de projeção UTM e altitude geométrica.

Este trabalho também pretendeu orientar a sociedade do nosso país sobre a importância das RRM, especialmente da maneira proposta nesta pesquisa; favorecendo, valorizando e reduzindo o custo de trabalho de milhares de profissionais dos setores público e privado e da própria gestão territorial dos municípios. O contexto político atual do Brasil, com o Projeto de Lei 3876/2015, enfatiza a importância destas questões.

É importante destacar que o termo “baixo custo” refere-se a não necessidade de uma rede GNSS ativa com receptores multi-frequência e toda a sua logística de operação por parte do município ou custos com receptor GNSS/NTRIP por parte do profissional; enquanto o termo “grande abrangência” refere-se a menor quantidade de pontos de apoio necessários em relação a PE, devido à estratégia de instalação destes em locais de grande visibilidade do município.

Desta forma, recomenda-se um estudo comparativo sobre os custos envolvidos em uma RRM seguindo a proposta aqui apresentada ou por meio de métodos convencionais como a PE e redes GNSS ativas; bem como, uma investigação mais profunda sobre a influência da distribuição espacial dos pontos da RRM sobre a qualidade posicional do ponto de EL.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pelo fornecimento de recursos financeiros para o projeto de pesquisa (Edital Nº 03/2016/PROPI), e a empresa Alezi Teodolini pela agilidade e preço acessível no fornecimento dos prismas refletores 360°, indispensáveis para a realização deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. ITRF2008: An improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy*, v. 85, n. 8, p. 457-473, 2011.

ALVES, J. L. F. G.; SILVA, D. J. N.; GONÇALVES, M. L. A. M.; NERO, M. A. Metodologia de ensino para Topografia: Proposta didática para o método de estação livre. In: *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, p. 1-11, 2012.

AMORIM, G. P. **Confiabilidade de rede GPS de referência cadastral municipal - estudo de caso: rede do município de Vitória (ES)**. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004. 174p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.166: Rede de referência cadastral municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998. 23p.

BEN-MOSHE, B.; ELKIN, E.; LEVI, H.; WEISSMAN, A. Improving Accuracy of GNSS Devices in Urban Canyons. In: **23D CANADIAN CONFERENCE ON COMPUTATIONAL**

**GEOMETRY**. Toronto, p. 511-515, 2011.

CHAVES, J. C. **Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos**. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001. 114p.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; MOURA JUNIOR, N. J. de; ABREU, M. A.; DA SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. In: **II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**. Recife, p. 8-11, 2008.

DE PAULA NETO, L. E. **Contribuição para o parcelamento do solo urbano baseado no cadastro territorial multifinalitário**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. 155p.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino *et al.* (Eds.). **IAG SCIENTIFIC ASSEMBLY “GEODESY FOR PLANET EARTH”**. IAG Symposia, Buenos Aires, August 31 to September 4, p. 657-664, 2009.

FRANÇA, R. M.; CABRAL, C. R.; HASENACK, M. Implantação de obras em sistemas TMs com estação total. In: **Anais do COBRAC 2016**. Florianópolis, p. 1-11, 2016.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319p.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 611p.

HASENACK, M. **A Cartografia Cadastral no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. 201p.

HASENACK, M.; CABRAL, C. R. Estação livre com transformação de Helmert utilizando GNSS-RTK. In: **Anais do VIII Colóquio**

**Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, p. 1, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **RBMC-IP - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>>. Acesso: 27 março 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. 2008. 35p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Resolução PR. nº 22, de 21 de julho de 1983**. Dispõe sobre as Especificações e Normas para Levantamento Geodésicos em Território Brasileiro. Boletim de Serviço 1602 (Suplemento). Rio de Janeiro. 1º Agos. 1983. 11p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual de normas, especificações e procedimentos técnicos para a carta internacional do Mundo ao Milionésimo – CIM 1:1 000 000**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, 1993. 49p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Manual técnico de posicionamento**. 1º Edição. Brasília. 2013. 37p.

KLEIN, I. **Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações Geodésicas**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. 322p.

KLEIN, I. **Proposta de um novo método para o planejamento de redes geodésicas**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 148p.

LEHMANN, R.  $3\sigma$ -Rule for Outlier Detection from the Viewpoint of Geodetic Adjustment. **Journal of Surveying Engineering**, v. 139, n. 4, p. 157-165, 2013.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica TPS1200+**



**Applications Field Manual.** Heerbrugg, 2008. 246p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

PINTO, J. R. M. **Potencialidade do uso do GPS em obras de Engenharia.** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2000. 177p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Sistema cartográfico do município de Porto Alegre: Manual de informações e orientações.** Porto Alegre, 2013. 50p.

SOUZA, G. C. **Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para**

**cadastro urbano.** Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. 122p.

TRIMBLE NAVIGATION. **Resection Computations in the Trimble Access Software.** Ohio, 2013. 19p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Rede GNSS ativa do estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.fct.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo-e-pesquisa/gege/rede-gnss-sp2089/>>. Acesso em 27 março 2016.

ZHU, H.; WU, W.; WANG, Z. Study on the Free-positioning of ETS in the PDL Track Surveying System. **Modern Applied Science.** v. 3, n. 3, p. 128–131, 2009.