

Discrepâncias existentes entre as coordenadas estimadas pelos métodos de posicionamento relativo e absoluto utilizando receptores de simples frequência: estudo de caso rede GNSS local da universidade federal de Uberlândia (UFU)

Eliane Bernardes Pinto¹
Maria Lígia Chuerubim¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia - UFU/FECIV
Caixa Postal 593 - 38408-100 - Uberlândia - MG, Brasil
lily_bernardes@hotmail.com
marialigia@feciv.ufu.br

Abstract. The Global Positioning Systems for satellites (GNSS), including the Global Positioning System (GPS) system and other systems, are widely used for tracking points anywhere on the planet Earth. The basic principle of operation of the GPS positioning system is a distance measurement between the receiver and the satellite. This system consists of obtaining the distance from the receiver to at least three different satellites. Thus, only one point on the surface corresponds to the "triangle of distances" and formed the coordinates of the receiver are known. Moreover, to determine altitude, it is necessary to use a fourth satellite. There are several types of GPS surveys which differ by the different positioning techniques, however, was used in this work, the relative static positioning, in which the coordinates of a given point are determined in relation to one or more stations with known coordinates. In this case, it is necessary that data be collected from the same satellites simultaneously by at least two receivers. The points to be positioned are occupied between 20 minutes to many hours. It is the method that allows to obtain the highest accuracy. In this perspective, this study aims to evaluate the accuracy of estimated through screening data obtained from GPS receivers single frequency, using the technique of static relative positioning, and subsequently detect the accuracy of coordinates obtained via navigation so coordinates, which allows to analyze the discrepancy between the results obtained and their geometric quality for the rated accuracy of the equipment used.

Palavras-chave: geodetic positioning, GNSS, GPS.

1. Introdução

Com o objetivo de proporcionar o posicionamento em qualquer lugar do planeta Terra surgiram os sistemas de posicionamento global. De início tinha objetivo militar, e após alguns anos foi liberado para o uso civil, mas para esse apresentava uma ampla margem de erro. Com o desenvolvimento da tecnologia essa margem de erro foi se reduzindo até o que temos atualmente. Com o sistema de posicionamento, é possível obter informações de posição, direção, distância, área, entre outros, resolvendo-se questões de localização, deslocamento e mensuração. Dentre esses sistemas, destacam-se o posicionamento por satélites, referido em sua totalidade pelo termo *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que inclui o sistema *Global Positioning System* (GPS) e os sistemas Glonass, Galileo e Compass ou Beidou, bem como satélites altimétricos e sistemas de posicionamento baseadas em técnicas a laser e Doppler (ROTHACHER, 2002 e STEINGENBERGER et. al, 2006).

Os satélites do sistema GPS, com base em sua frequência fundamental de 10,23MHz, transmitem fundamentalmente dois sinais em frequências diferentes denominadas portadoras L1 e L2, ou simplesmente, fases da onda portadora. Sobre as ondas portadoras, são modulados os códigos binários (C/A e P) que correspondem às mensagens de navegação, arquivos que contêm os parâmetros orbitais, as pseudodistâncias, as fases ou ondas emitidas, os dados para a correção do erro dos relógios dos satélites e dos receptores, etc. Sobre a portadora L1 são modulados os códigos C/A, de uso civil e que corresponde a observável pseudodistância, e o código militar P. Enquanto que na portadora L2 é modulado o código P, que é criptografado gerando o código Y. Alguns receptores geram o denominado código P simulado, ou seja, obtido em função das observáveis contidas nos arquivos *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), contudo não se tratam do código original sendo,

portanto, grosseiras aproximações, uma vez que o código P original é de uso restrito, (SEEBER, 2003 e MONICO, 2008).

Como apresentado o sistema de posicionamento GNSS baseia-se na medição da distância entre o receptor a pelo menos, quatro satélites, para que se possa obter simultaneamente a posição tridimensional (X, Y e Z) e corrigir o erro de sincronismo entre os relógios dos receptores GNSS e dos satélites que compõem estes sistemas de posicionamento por satélites artificiais. Neste contexto, serão analisadas neste trabalho as discrepâncias e precisões obtidas entre as campanhas realizadas com receptores GPS L1, modelo Promark2 e Promark100, utilizando-se os métodos de posicionamento relativo estático e navegação, no rastreamento de marcos geodésicos pertencentes à Rede GNSS local da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Santa Mônica, derivada de um projeto de pesquisa desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da instituição de ensino (CHUERUBIM et. al, 2003).

2. Métodos de posicionamento

Os métodos de posicionamento GNSS podem ser realizados de forma absoluta ou relativa. A partir destes surgem suas derivações como: navegação, Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), Relativo Estático, Relativo Cinemático, levantamento em tempo real (RTK - *Real Time Kinematic*), correções diferenciais (DGPS - *Differential Global Positioning System*), dentre outros (SEEBER, 2003 e MONICO, 2008).

No posicionamento absoluto, as coordenadas de um ponto localizado na superfície terrestre são determinadas diretamente em relação ao geocentro, ou seja, ao centro de massa da Terra. Este método de posicionamento a partir do código C/A proporciona precisão inferior aos demais métodos e técnicas de posicionamento existentes, uma vez que utiliza somente a observável pseudodistância que apresenta erros de ordem métrica, uma vez que os erros envolvidos nos métodos de posicionamento por satélites artificiais como refração ionosférica e troposférica, erros orbitais, erros dos relógios dos satélites e do receptor, multicaminho, centro de fase da antena, dentre outros se propagam diretamente às coordenadas que se deseja estimar. O PPP compreende uma técnica de posicionamento pós-processada, que fornece a depuração dos erros e conseqüentemente uma melhor precisão, enquanto que o método de navegação utiliza somente o código C/A (pseudodistância) para a determinação das coordenadas aproximadas e instantâneas das estações em relação ao referencial WGS84 (*World Geodetic System 1984*), (MONICO, 2008 e CHUERUBIM, 2009).

No posicionamento relativo, as coordenadas de um dado ponto são determinadas em relação a um ou mais pontos de coordenadas conhecidas. A estação com coordenadas conhecidas (base) é ocupada por um receptor, enquanto que outro receptor é ligado simultaneamente no ponto cujas coordenadas deseja-se estimar, é necessário que dados dos mesmos satélites sejam coletados simultaneamente por pelo menos dois receptores. O princípio básico desta técnica é minimizar os erros envolvidos no posicionamento GNSS em função da diferença entre as observações enviadas simultaneamente pelos satélites comuns a ambos os receptores, (IBGE, 2008). O método de posicionamento relativo é classificado de acordo com o tempo de rastreamento para obtenção dos dados e subdivide em: posicionamento relativo estático, estático rápido, semicinemático, cinemático, DGPS, diferencial pós-processado e RTK, (SEEBER, 2003 e MONICO, 2008).

De maneira geral, no posicionamento relativo estático o receptor da base e os pontos, cujas coordenadas desejam-se estimar, são ocupados por cerca de 20 minutos a algumas horas, dependendo da geometria local e do comprimento do vetor linha base formado entre a base e o ponto ocupado denominado de *rover*, conforme estabelece a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR) do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). É o método que permite obter as melhores precisões sendo assim,

sendo utilizado na medição de linhas de bases curtas (até 20 km) e longas (maiores que 100 km), redes geodésicas, etc., (INCRA, 2010).

Enquanto que no posicionamento relativo estático rápido o tempo de espera em cada ponto é menor, entre 5 a 20 minutos, sendo indicado à solução de linhas de bases curtas. O posicionamento relativo semicinemático (*stop and go*), é uma técnica de posicionamento semelhante ao método estático rápido, mas o tempo de permanência em cada estação é bem menor, uma vez que o receptor fica parado alguns segundos sobre o ponto (*stop*) e em seguida é deslocado ao próximo ponto (*go*) visando a solução da ambiguidade. O posicionamento relativo cinemático é um método no qual o receptor base fica parado enquanto que o receptor rover dos pontos a se determinar desloca-se entre estes durante toda a sessão (MONICO, 2008).

Portanto, no levantamento cinemático a trajetória entre a base e o destino desejado é descrita por uma série de pontos, também denominada de nuvem de pontos, sendo, portanto, ideal ao levantamento de detalhes em campo. Para tanto, é necessário ajustar a taxa de gravação de acordo com a velocidade de caminhar, ou seja, a uma taxa de poucos segundos. No método de posicionamento DGPS, uma estação em movimento é posicionada em relação a uma estação de referência (fixa), associada a correções diferenciais, geradas em tempo real pela estação de referência e enviadas a estação rover, equipamento que ocupará os pontos cujas coordenadas se deseja determinar, por meio de um sistema de comunicação, utilizando a correção pós-processada dos dados por meio da observável pseudodistância obtida partir do código C/A, (INCRA, 2010).

No posicionamento relativo diferencial pós-processado um receptor é mantido coletando dados na estação de referência, enquanto os demais receptores percorrem a região de interesse. O método RTK se assemelha ao DGPS, porém a observável utilizada é a fase da onda portadora e as coordenadas são obtidas em tempo real via link de rádio entre a estação base e os *rovers*, (INCRA, 2010).

3. Metodologia

3.1 Materiais

No rastreamento dos marcos da Rede GNS local da UFU (CIV03, FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10), campus Santa Mônica, foram utilizados receptores GPS da marca *Ashtech* modelos Promark2 e Promark100 de simples frequência (L1). O marco CIV03 foi definido como base, ou seja, ponto de controle de coordenadas conhecidas a partir do qual foram estimadas as coordenadas dos demais marcos.

O receptor Promark2, ilustrado na Figura 1, é um equipamento que apresenta 12 canais independentes, modelo de antena ASH110454, que tem capacidade de receber apenas a frequência L1 e o código C/A. Segundo suas especificações técnicas, tem precisão vertical estática de 10 mm + 2ppm e precisão horizontal estática de 5 mm + 1ppm, (TechSolutions, 2014).



Figura 1. Aparelho GPS Promark2.
Fonte: TechSolutions (2014).

O receptor GPS Promark100 de simples frequência (L1), Figura 2, apresenta 45 canais paralelos e utiliza o modelo de antena externa ASH111660. Assim como o Promark2, cada um destes canais tem a capacidade de receber sinais da frequência L1 (códigos C/A e P).



Figura 2. Aparelho GPS Promark100.
Fonte: GPS Geodetic (2014).

Além disso, foram utilizados dados GPS coletados em campo e, posteriormente, convertidos para o formato RINEX; dados GNSS das estações MGUB e UBER da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), ambas localizadas em Uberlândia-MG, e disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE) no endereço <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>, (Acesso: maio/2014); órbitas precisas do *International GNSS Service* (IGS), disponíveis no endereço <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html>, (Acesso: maio/2014); parâmetros de calibração absoluta, disponibilizados pelo *National Geodetic Survey* (NGS), disponíveis no endereço <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>> (Acesso: 03/2013), bem como ferramentas

computacionais para processamento e ajustamento dos dados GPS como o *software* Topcon Tools v.8.2 e para visualização dos resultados obtidos o aplicativo *Google Earth Pro Portable*.

3.2 Métodos

Foram utilizados dois métodos de levantamento para a coleta e rastreamento dos dados GPS dos marcos FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10, pertencentes à Rede GNSS local da UFU: o modo de navegação e o método de posicionamento relativo estático.

Para a coleta das observações no modo navegação utilizou-se o receptor Promark100 e no método relativo estático os receptores Promark2 e Promark100. Em ambos os métodos utilizou-se máscara de elevação de 15°. Todavia, como explicitado anteriormente no modo navegação às coordenadas são obtidas de forma instantânea (via posicionamento absoluto utilizando a pseudodistância), enquanto que no posicionamento relativo necessário são obtidas, utilizando-se as observáveis pseudodistância e fase da onda portadora, por meio do processamento e ajustamento dos dados GPS. Desta forma, no posicionamento relativo estático o rastreamento dos marcos foi efetuado com a duração de 30 minutos, com taxa de coleta de 15 segundos e máscara de 15°, mantendo-se a altura da antena a 2 metros, visando minimizar a interferência do multicaminhamento e das perdas de ciclo.

Inicialmente, realizou-se o transporte de base vinculando o marco CIV03 ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), ou seja, ao referencial SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), por meio das estações MGUB e UBER da RBMC, utilizando-se órbitas precisas, máscara de elevação de 15° e correções absolutas do centro de fase da antena do receptor Promark100 (ASH111660), utilizando o software de processamento e ajustamento de dados GNSS Topcon Tools v.8.2, obtendo-se as coordenadas e precisões de CIV03 em relação às bases que definem o datum e de acordo com as especificações da NTGIR para vértices pertencentes à Classe 1 como verifica-se na Tabela 1.

TABELA 1 - Especificações para levantamento relativo estático de vértice C1.

CARACTERÍSTICA TÉCNICA	ESPECIFICAÇÃO
Intervalo de gravação	1, 5, 10 ou 15s
Máscara de elevação	Mínimo de 10°
Número de satélites	Mínimo de 4

Fonte: INCRA (2010).

Posteriormente, os dados GPS nativos (brutos), foram coletados via posicionamento estático, por meio do rastreamento dos marcos FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10, foram convertidos para o formato RINEX e, posteriormente, processados relativamente em relação à base CIV03, utilizando o *software* Topcon Tools v.8.2, utilizando-se as mesmas estratégias de processamento e ajustamento de dados GPS adotadas no transporte de base, de forma a georreferenciar a poligonal formada pelos 5 marcos geodésicos, obtendo-se as coordenadas e precisões de cada marco. A etapa de processamento dos dados GPS possibilita a determinação das correções em relação ao ponto de controle (base) adotada em relação às componentes X, Y e Z. O ajustamento dos dados compreende a propagação dos erros (precisões) da base de controle para os marcos cujas coordenadas deseja-se estimar.

4. Resultados

De acordo com a norma do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais, os vértices de apoio básico devem sempre ser determinados pelo método relativo estático e a partir de no mínimo dois vértices pertencentes à SGB, ou seja, estações da RBMC. Neste trabalho, as estações escolhidas foram a MGUB e a UBER. Definidas as estações da RBMC como estação de controle, base local (CIV03) e o pontos a serem estimados (FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10), pode-se avaliar a influência dos erros em função do comprimento da linha de base. A estação MGUB e o ponto CIV03 formam uma linha de base de aproximadamente 60 m, enquanto a distância entre o ponto e a estação UBER é de cerca de 7 km.

Os rastreios foram realizados em três dias distintos: 17 de dezembro de 2013, 14 e 24 de janeiro de 2014. No dia 17 de dezembro de 2013, foram levantados os pontos CIV36 e FECIV10. Em 14 de janeiro de 2014 obteve-se o ponto CIV27. Por fim, os pontos FECIV01 e FECIV03 foram rastreados em 24 de janeiro de 2014.

Após a coleta dos dados adotando-se a estratégia de coleta e a técnica de posicionamento descritos anteriormente, procedeu-se ao processamento e ajustamento dos GPS. O processamento é a etapa que são feitas as correções Δx , Δy e Δz em relação às estações referências, que no caso são as estações da RBMC. Já o ajustamento é a etapa responsável os erros detectados entre as coordenadas de controle ao ponto que se deseja estimar, determinando ao final as coordenadas do mesmo.

A partir dos resultados processamentos e ajustamentos foram obtidas as coordenadas geodésicas dos pontos FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10 em relação a CIV03, como ilustra a Tabela 2, bem como suas respectivas precisões (Tabela 3).

Tabela 2 - Coordenadas geodésicas precisas

Ponto	Latitude	Longitude	Altitude
FECIV01	18°55'07,95383" S	48°15'26,11376" W	859,044 m
CIV36	18°55'10,40468" S	48°15'35,09544" W	852,665 m
CIV27	18°55'04,82509" S	48°15'31,62150" W	852,125 m
FECIV03	18°55'02,78438" S	48°15'22,73563" W	858,585 m
FECIV10	18°55'08,96679" S	48°15'31,27476" W	855,597 m

Tabela 3 - Desvios padrão dos pontos ajustados

Ponto	Desvio padrão n (m)	Desvio padrão e (m)	Desvio padrão u (m)
CIV36	0,008	0,007	0,019
FECIV10	0,009	0,010	0,049
CIV27	0,006	0,006	0,021
FECIV01	0,006	0,007	0,021
FECIV03	0,006	0,006	0,019

As coordenadas dos pontos FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10 também foram obtidas via posicionamento absoluto, utilizando o mesmo modelo de receptor porém alterando a estratégia de coleta das observações para o modo navegação, método que utilizada como observável fundamental a pseudodistância (C/A) obtida com receptores GPS de simples frequência (L1). As coordenadas obtidas por meio desta estratégia de posicionamento são apresentadas Tabela 4.

Tabela 4 - Coordenadas geodésicas rastreadas no modo navegação

Ponto	Latitude	Longitude	Altitude
FECIV01	18°55'7,97" S	48°15'26,14" W	863,22 m
CIV36	18°55'10,35" S	48°15'35,09" W	854,10 m
CIV27	18°55'04,85" S	48°15'31,64" W	855,70 m
FECIV03	18°55'2,85" S	48°15'22,73" W	856,57 m
FECIV10	18°55'8,96" S	48°15'31,32" W	855,90 m

Para se obter uma análise visual das discrepâncias obtidas entre as coordenadas estimadas via posicionamento relativo e absoluto, ambas as soluções foram inseridas no *Google Earth Pro*, como a Figura 4. Os pontos navegados são identificados pelas nomenclaturas FECIV01, CIV36, CIV27, FECIV03 e FECIV10, enquanto os pontos de coordenadas precisas tem acrescida a sua nomenclatura o sufixo M. Por meio da ferramenta de medição disponibilizada no *Google Earth Pro*, pode-se avaliar visualmente as diferenças entre as coordenadas tridimensionais de cada ponto.



Figura 4 - Discrepâncias entre as coordenadas tridimensionais relativas e absolutas.
Fonte: *Google Earth Pro* (2014).

As discrepâncias entre as coordenadas obtidas para os pontos FECIV01, CIV27, CIV36, FECIV03 e FECIV10 via posicionamento absoluto (modo navegação) e relativo foram de, respectivamente, 1,08 m, 0,86 m, 1,55 m, 2,16 metros e 1,48 m. Observa-se que para todos os pontos o erro foi da ordem métrica, uma vez que a observável utilizada foi a pseudodistância, observável esta menos precisa que a fase da onda portadora que, por sua vez, apresenta um erro da ordem de milímetros a poucos centímetros.

O cálculo da área da poligonal formada por estes vértices e calculada no aplicativo *Google Earth Pro* é de 34759,51 m² com as coordenadas obtidas via posicionamento relativo e de 34452,65 m² com as coordenadas obtidas via navegação, apresentando uma diferença da ordem de 306,86 m² entre as áreas.

Visando avaliar de forma mais realística o erro entre as soluções obtidas, as coordenadas geodésicas tridimensionais dos pontos FECIV01, CIV27, CIV36, FECIV03 e FECIV10 foram convertidas em UTM (Universal Transversa de Mercator), utilizando-se o aplicativo *ProGrid* disponibilizado pelo IBGE, o que possibilitou o cálculo das áreas das poligonais pelo Método

de Gauss. As áreas obtidas via posicionamento relativo e absoluto com o método de Gauss foram de, respectivamente, 34724,185m² e 34388,375 m², resultando em uma diferença de 335,810 m².

5. Conclusão

Com base nos dados obtidos neste trabalho, verifica-se que os resultados encontrados convergem com os valores encontrados na literatura, na quais verifica-se que a escolha da observável bem como do método de posicionamento via satélites artificiais são determinantes na estimativa das coordenadas tridimensionais dos pontos localizados na superfície terrestre.

Logo, por utilizar somente a pseudodistância (código) o método absoluto comumente empregado em levantamentos expeditos e conhecido como navegação, implica em um erro da ordem métrica, pois neste método os erros envolvidos na trajetória do sinal deste a sua propagação pelo satélite a detecção pela antena receptora como a ionosfera, troposfera, multicaminhamento, perdas de ciclo, órbita, dentre outros, se propagam diretamente para as coordenadas que se deseja estimar. Sendo assim, os dados obtidos via navegação proporcionam ao usuário erros que variam da ordem de 1m a 30 m, o que evidencia também que quando melhor for a eletrônica do equipamento utilizado menor serão as magnitudes apresentadas utilizando este método.

Existem atualmente no mercado equipamentos que fornecem precisões que variam da ordem de 1 m a 6 m e que, por esta razão, são amplamente utilizados em trabalhos temáticos e cadastrais em que a contextualização ou espacialização da informação, em função da escala adotada, não requer alta precisão.

No posicionamento relativo estático, em contrapartida, pode-se utilizar ambas as observáveis, embora se saiba que a fase da onda portadora é mais precisa que a pseudodistância que a pseudodistância, apresentando erros que variam de milímetros a poucos centímetros. Todavia, por se basear em modelos diferenciais, a pseudodistância é utilizada no posicionamento relativo na fase de pré-processamento dos dados GPS, auxiliando na detecção das perdas de ciclo, contribuindo concomitantemente a uma melhoria precisão e maior consistente dos dados utilizados.

6. Referências Bibliográficas

CHUERUBIM, M. L. **Integração de Redes GNSS locais ao SIRGAS**. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente: UNESP, 2009,180 f.

CHUERUBIM, M. L.; GOMES, P.; PIRES, A.; SILVA, L. A.; MATOS, S. C. **Diagnóstico preliminar da Rede GNSS local da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), campus Santa Mônica: realidade atual e perspectivas futuras no contexto das ciências geodésicas**. In: XVI SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 13 a 18 de abril de 2013. Foz do Iguaçu-PR.

GPS Geodetic. **Ashtech**. Disponível em: <<http://gpsgeodetic.wordpress.com/category/ashtech-2>>. Acesso: maio/2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>. Rio de Janeiro: IBGE, 2008, 35p. Acesso: maio/2014.

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais (NTGIR)**. 2ª edição. Fevereiro, 2010.

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

ROTHACHER, M. **Towards a rigorous combination o space geodetic techniques**. In: IERS Technical Note, n. 30, 2002.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 589 p., 2003.

STEINGENBERGER, P.; ROTHACHER, M.; DIETRICH, R.; FRITSCH, M.; RÜLKE, A.; VEY, S. **Reprocessing of a global GPS network**. In: Journal of Geophysical Research, vol. 111. 2006.

TechSolutions. **Promark 2/L1**. 2014. Disponível em: <<http://www.tsgeo.com.br/semi-novos/235/>>. Acesso: maio/2014.

