

Avaliação da acurácia dos dados pós-processados de receptores GPS de navegação na determinação de coordenadas planimétricas

Julierme Wagner da Penha ¹
Nelson Avelar Guimarães ¹
Jairo dos Santos Dias ¹
Moisés Ferreira Costa ¹

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV
CEP 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
{juliermewagner, nelsonavelar, tchayro}@yahoo.com.br
moises@ufv.br

Abstract. The free softwares ASYNC and GAR2RNX are able to read and record real-time observable from the L1 carrier, in binary file, through cable of the transfer connected on GPS receiver of navigation and a laptop through serial port, and also to convert RINEX for the format. In this work, we performed the post-processing this data using the technique of positioning relative static, getting the planimetric coordinates of points features for the procedure of the 5, 15 and 30 minutes of occupation. We used the points approved by the IBGE as a reference and the accuracy obtained by determining the difference between the points of the IBGE and the points tracked by GPS navigation. It was found that the best precision found in the coordinates of the tracked points have been to about 2 centimeters, with a time of occupation of the 30 minutes and the worst of about 45 centimeters, with time of occupation of the 5 minutes. However, all points obtained precision below 50 centimeters for the surveys with 5, 15 and 30 minutes of occupation, which shows the efficiency of data post-processing of the receiver GPS of navigation. With respect to accuracy with a time of occupation of the 30 minutes, the values did not exceed 3 centimeters, except for the abscissa of one of the points, whose value was 82 centimeters.

Palavras-chave: GPS navigation receiver; RINEX; accuracy; GPS positioning, receptor GPS de navegação; RINEX; acurácia; posicionamento GPS.

1. Introdução

A princípio, todos os receptores GPS são geodésicos, no entanto dependendo das precisões oferecidas pelos mesmos, são classificados em geodésicos, topográficos e de navegação, sendo que os receptores GPS geodésicos têm precisões milimétricas, os topográficos sub-métrica e os de navegação métrica. Os receptores GPS para levantamentos (geodésicos e topográficos) são equipamentos que diferem em pontos importantes dos receptores voltados à navegação.

A principal diferença está no registro das observáveis dos satélites. Enquanto os aparelhos de levantamento armazenam estas observações na sua forma bruta, para posterior processamento, os de navegação não fazem este registro. Outra diferença fundamental, entre estes aparelhos, é que podem ser configurados os filtros de qualidades dos dados registrados nos receptores de levantamento, e no GPS de navegação não estão disponíveis estas funções, fazendo com que estes possuam poucos critérios para restringir resultados indesejados (coordenadas imprecisas).

Estes filtros podem ser basicamente de quatro tipos, filtro de qualidade posicional, filtro de elevação ou máscara de elevação, filtro de número mínimo de satélites e filtro de intensidade de sinal. Se uma determinada observação não atender aos critérios mínimos impostos pelos filtros, esta não é considerada.

Há uma grande diferença de tecnologia entre os aparelhos GPS de navegação e os de levantamento, que são evidenciadas em relação ao tipo de antena, unidade de radio frequência e microprocessador, o que pode causar erro na observação, diminuindo assim a precisão do GPS voltado para navegação.

Os receptores GPS de navegação estimam e registram as posições, mas não armazenam as observáveis (fase da portadora L1 e/ou pseudodistância), não sendo possível o pós-processamento dos dados. Porém, a partir da divulgação do protocolo de saída e de entrada do receptor GPS *GARMIN* de 12 canais foram desenvolvidos vários programas para capturar as observáveis dos mesmos.

Com o objetivo de verificar as potencialidades dos receptores GPS de navegação, foram realizadas algumas pesquisas no sentido de coletar e pós-processar as observáveis rastreadas com estes equipamentos. Alguns trabalhos pertinentes são: Camargo, et al. (2004); Krueger e Tranches Junior (2006); Carvalho (2007).

Com a utilização destes programas, os receptores GPS de navegação, passam a ser mais confiáveis, ou seja, tem um grande aumento na acurácia e precisão das coordenadas fornecidas pelos mesmos, tornando-os capazes de serem aplicados em diversas áreas da engenharia que exigem melhores níveis de precisão. Portanto, neste trabalho não se pretende substituir os receptores GPS topográficos, mas mostrar que os princípios de operação deste são os mesmos dos receptores de navegação.

O objetivo deste trabalho é analisar a acurácia e avaliar a possibilidade de se empregar receptores GPS de navegação para a determinação de coordenadas planimétricas, e se suas precisões são compatíveis com as normas vigentes de levantamentos.

2. As observáveis do sistema GPS

As observáveis básicas transmitidas pelos satélites são a pseudodistância e a fase de onda portadora, que são utilizadas para determinar a posição, velocidade, e tempo.

2.1 Pseudodistância

Os satélites GPS dispõem de osciladores de alta precisão, operando em um determinado sistema de tempo, no qual todos os sinais gerados e transmitidos são referenciados. Já os receptores, normalmente dispõem de osciladores de menor qualidade que opera no sistema de tempo do receptor, onde os sinais recebidos são referenciados. Assim, os dois sistemas de tempos, dos satélites e receptores, podem ser relacionados com o sistema de tempo GPS, a partir das equações, segundo Monico (2000):

$$t_{\text{GPS}_r}^s = t^s - dt^s; \quad (1)$$

$$t_{\text{GPS}_r}^s = t_r - dt_r; \quad (2)$$

onde:

dt^s é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante t^s ;

dt_r é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante t_r .

A pseudodistância (PD) corresponde à diferença entre o tempo registrado no receptor no instante da recepção do sinal, e o tempo registrado no satélite, no instante de transmissão do sinal multiplicada pela velocidade da luz no vácuo.

Em razão da refração atmosférica (ionosfera (I_r^s) e troposfera (T_r^s)) e do efeito de multicaminho (dm), dentre outros fatores, a equação mais adequada para determinar a pseudodistância é de acordo com Monico (2000):

$$PD_r^s = \rho_r^s + c[dt_r - dt^s] + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + \varepsilon_{PD_r^s}. \quad (3)$$

As coordenadas do receptor e do satélite estão implícitas na distância geométrica ρ_r^s , $\varepsilon_{PD_r^s}$ é o erro na medida da pseudodistância. Todos os termos do lado direito da Equação (3) devem ser matematicamente descritos, pois representam o modelo matemático da pseudodistância, sendo que qualquer termo modelado incorretamente causará erro nas coordenadas do receptor.

2.2. Fase da onda portadora

A fase da onda portadora é muito mais precisa que a pseudodistância, sendo utilizada na maioria das atividades geodésicas. A fase da onda portadora é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido pelo receptor (Φ^s), e a fase do sinal gerado pelo receptor (Φ_r), ambas no instante da recepção (t). A fase observada é dada pela equação, segundo Monico (2000):

$$\Phi_r^s(t) = \Phi_r(t) - \Phi^s(t) + N_r^s + \varepsilon_{\Phi_r^s}, \quad (4)$$

onde:

t é o instante de recepção do sinal na estação;

$\Phi^s(t)$ é fase da portadora gerada no satélite e recebida na estação r no instante de recepção;

$\Phi_r(t)$ é a fase gerada pelo receptor no instante de recepção;

N_r^s é a chamada ambigüidade da fase; e

$\varepsilon_{\Phi_r^s}$ é o erro da fase da onda da portadora.

Segundo Monico (2000), os receptores medem a parte fracionária da portadora e realizam contagem de ciclos que entram no receptor, resultando numa medida contínua. O número de ciclos inteiros, da primeira época de observação, entre a antena do receptor e a antena do satélite é denominado Ambigüidade (N_r^s).

A ambigüidade é estimada no ajustamento, conjuntamente com os demais parâmetros. O cálculo da parte fracionária da fase da onda tem precisão da ordem de até 1/1000 do ciclo, por Monico (2000).

3. Registro das observáveis por meio de receptores GPS de navegação

Os receptores de navegação não são capazes de registrar as observáveis (fase da portadora L1 e/ou código CA), o que inviabiliza o pós-processamento das informações. Porém, a partir da divulgação do protocolo de saída e de entrada do receptor GPS GARMIN de 12 canais, foram desenvolvidos vários programas para capturar as observáveis destes.

Os *softwares* livres ASYNC e GAR2RNX foram desenvolvidos pelo professor Antonio Taberero Galán, da Universidade Politécnica de Madri, na Espanha. Estes *softwares* estão disponíveis na internet, e podem ser encontrados no endereço eletrônico <http://artico.Ima.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/pdf/>, segundo Santos (2002).

O *software* ASYNC, é capaz de ler e registrar em arquivos binários os dados brutos da portadora L1 e o código CA, transmitidos pela porta de comunicação do aparelho receptor GARMIN ao computador, via cabo serial. Posteriormente ao rastreamento, utiliza-se o programa GAR2RNX que realiza a conversão do arquivo binário das observáveis em arquivos de texto no formato RINEX, de acordo com Camargo (2004).

Já foram feitas três versões destes *softwares*, a última foi em abril de 2002. Neste trabalho utilizou-se a terceira versão dos *softwares* ASYNC_1_23 e GAR2RNX_1_48, segundo Galán (2002). Todas as versões podem ser encontradas no endereço eletrônico acima mencionado.

Com a utilização do *software* adequado para registrar as observáveis do receptor de navegação é possível realizar, posicionamento absoluto e relativo, o que melhora consideravelmente a acurácia e a precisão do levantamento.

4. Metodologia de Trabalho

Para determinação das coordenadas planimétricas com dados de receptor de navegação pós-processados foram utilizados os seguintes equipamentos: 01 receptor GPS de navegação GARMIN II *Plus*, 01 notebook, 01 antena externa, 01 conjunto de cabo conversor porta USB – Serial *Prolifct USB-to-Serial comm Port* e cabo de transferência de dados. É imprescindível ressaltar que o *notebook* e o cabo de transferência de dados, são indispensáveis, pois eles são

responsáveis pelo armazenamento das observáveis do receptor GPS de navegação, que são o código CA e a fase da onda portadora L1.

Os *softwares* ASYNC_1_23 e GAR2RNX_1_48 foram utilizados, respectivamente, para extrair e registrar as observáveis do receptor GPS, e converter para arquivo de texto no formato RINEX.

Uma antena externa conectada ao receptor de navegação GARMIN II *Plus*, foi instalada em cada marco para determinar e armazenar as coordenadas dos pontos. Isso só foi possível com a utilização do *software* livre ASYNC por meio de um cabo de transferência, o qual faz a comunicação com o notebook via porta serial, gravando em tempo real os arquivos em formato binário no disco rígido do mesmo. Posteriormente, os arquivos foram convertidos para o formato RINEX, por meio do *software* livre GAR2RNX.

Todos os pontos rastreados e a estação de referência (VICO) estão localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa, estado de Minas Gerais, como pode ser observado na Figura 1. Para o rastreamento foram utilizados os seguintes tempo de ocupação de 5, 15 e 30 minutos, com taxa de coleta de 01 segundo. Vale salientar que a estação VICO pertence à RBMC, utilizada como base, sendo que nesta a taxa de coleta é de 15 segundos. As coordenadas e suas respectivas precisões podem ser observadas na Tabela 1, as quais são utilizadas como referência na comparação com as coordenadas obtidas com o GPS de navegação.



Figura 1. Localização da área de estudo.

Tabela 1. Coordenadas e precisões da VICO e dos pontos homologados pelo IBGE.

Ponto	Coordenada E (m)	σE (m)	Coordenada N (m)	σN (m)
VICO	721757,711	0,002	7702785,751	0,002
BAN	721649,258	0,002	7703351,492	0,003
MET	722366,433	0,003	7702656,508	0,003
ETA	722060,582	0,002	7702350,605	0,003

Os arquivos RINEX obtidos com os dados brutos do receptor GPS de navegação coletados nos pontos característicos da rede e da base foram processados com o *software* *Ashech Solutions* 2.6.

Os *softwares* ASYNC_1_23.exe e GAR2RNX_1_48.exe são executados por meio do prompt de comando ou command, os quais são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

```

Prompt de comando - async_1_23 -a -r -p com4 -rinex -t 1200 -0 JD01.g12
C:\Documents and Settings\Paulo Roberto>cd..
C:\Documents and Settings>cd..
C:\>cd\async
C:\async>async_1_23 -a -r -p com4 -rinex -t 1200 -0 JD01.g12
Unknown Option -0
Unknown Option JD01.g12

* Async Software to log raw GPS data from some Garmin handhelds *
* Version 1.21. Copyright 2000,2001 Antonio Taberero Galan *

Serial port: com4. Command: Log async events for Rinex.
Log-time 1200 sec. Output binary file 328164.g12

-----
Position : Lat -20.7605 Long -42.8713
Civil Date: 21/05/2008 19:09:26
GPS Time : GPS Week 1480 ToW 328179 sec. Garmin Weekdays 6713
Product ID: 97 ("GPS 11+ SOFTWARE 3.03 "). Firmware 3.03
-----

Waiting for a 3D fix (10 secs at most)
04 secs: 5 packets with 0x33 ID received. 5 with a 3D fix

1192.7 secs left: 216 rcvd pcks. 0 failed reads. Current 0x36
  
```

Figura 2. Software ASYNC_1_23.exe.

```

Prompt de comando
Microsoft Windows XP [versão 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.
C:\Documents and Settings\Paulo Roberto>cd..
C:\Documents and Settings>cd..
C:\>cd\async
C:\async>gar2rnx_1_48 JD01.g12 -rinex -f
C:\async>_
  
```

Figura 3. Software GAR2RNX_1_48.exe.

5. Resultados e Discussão

O pós-processamento dos dados coletados com receptor GPS de navegação foi feito no *software* *Ashtech Solutions* 2.6, usando como base, os dados da estação VICO (RBMC).

É importante ressaltar que não se realizou qualquer procedimento de exclusão de satélites, aumento de máscara de elevação ou mudanças de parâmetros do *software* de pós-processamento, para buscar melhores precisões. Os resultados obtidos no *software* *Ashtech Solutions* 2.6 são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, cujas precisões foram obtidas após o processamento.

Tabela 2. Coordenadas e precisões com tempo de ocupação de 5 minutos.

Ponto	Coordenada E (m)	σE (m)	Coordenada N (m)	σN (m)
BAN	721648,673	0,455	7703351,379	0,445
MET	722366,369	0,433	7702656,436	0,465
ETA	722060,526	0,374	7702350,747	0,416

Tabela 3. Coordenadas e precisões com tempo de ocupação de 15 minutos.

Ponto	Coordenada E (m)	σE (m)	Coordenada N (m)	σN (m)
BAN	721648,943	0,108	7703351,461	0,139
MET	722366,619	0,212	7702656,647	0,241
ETA	722060,307	0,143	7702350,543	0,147

Tabela 4. Coordenadas e precisões com tempo de ocupação de 30 minutos.

Ponto	Coordenada E (m)	σE (m)	Coordenada N (m)	σN (m)
BAN	721648,442	0,035	7703351,52	0,033
MET	722366,422	0,018	7702656,504	0,025
ETA	722060,583	0,016	7702350,609	0,022

Pode-se observar nas Tabelas 2, 3 e 4, que a maioria das precisões para o procedimento com 5 minutos de ocupação foi de aproximadamente de 40 a 45 centímetros, sendo que apenas um ponto teve precisão abaixo que 40 centímetros. Para o tempo de ocupação de 15 minutos, em dois pontos as precisões foram abaixo de 15 centímetros, e um ponto com precisão abaixo de 25 centímetros. Já para o tempo de ocupação de 30 minutos, todos as precisões ficaram abaixo de 4 centímetros. Vale ressaltar que todos os pontos foram levantados apenas uma vez.

Na Tabela 5 são apresentadas as acurácias (diferenças entre os marcos homologados pelo IBGE dados na Tabela 1 e os pontos rastreados dados nas Tabelas 2, 3 e 4), nos três tempos de ocupação.

Tabela 5. Acurácias dos pontos rastreados pelo receptor GPS de navegação nos três tempos de ocupação.

Ponto	5 minutos		15 minutos		30 minutos	
	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
BAN	-0,585	-0,113	-0,315	-0,031	-0,816	0,028
MET	-0,064	-0,072	0,186	0,139	-0,011	-0,004
ETA	-0,056	0,142	-0,275	-0,062	0,001	0,004

Pela Tabela 5, observa-se que nos pontos MET e ETA tem-se uma acurácia abaixo de 30 centímetros, já o ponto BAN apresentou uma acurácia acima de 50 centímetros.

Contudo, todos os pontos obtiveram precisões abaixo de 50 centímetros para os levantamentos com 5, 15 e 30 minutos de ocupação, o que mostra a eficiência dos dados pós-processados do receptor GPS de navegação. Estes receptores não foram desenvolvidos para realizar trabalhos que exigem altas precisões, o que pode ser evidenciado pela inferioridade dos equipamentos envolvidos na sua construção, que são relacionados ao tipo de antena, unidade de rádio frequência e microprocessador em relação aos receptores de levantamentos.

6. Conclusões

A coleta dos dados brutos e a conversão para o formado RINEX por meio dos *softwares* ASYNC e GAR2RNX foi realizada mostrando ser bastante eficiente, como também o processamento destes dados com o *software* Ashtech Solutions 2.6.

As melhores precisões encontradas nas coordenadas dos pontos rastreados foram de aproximadamente 2 centímetros, com o tempo de ocupação de 30 minutos e as piores de aproximadamente 45 centímetros, com tempo de ocupação de 5 minutos.

Com respeito às acurácias com o tempo de ocupação de 30 minutos, os valores não ultrapassaram 3 centímetros, exceto para a abscissa do ponto BAN, cujo valor foi de 82 centímetros. Supõe-se que a piora na acurácia do ponto BAN é devida a obstrução existente em torno deste ponto.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que experimentos sejam realizados com tempo igual ou maior a 15 minutos, fazendo um estudo estatístico para verificar com mais clareza os erros envolvidos na determinação das coordenadas planimétricas oferecidas por esta metodologia, visando analisar a possibilidade de se realizar um levantamento com os dados pós-processados obtidos por meio de receptor GPS de navegação.

Também recomenda-se a substituição do *notebook* pelo *palmtop*, pois este é mais prático, em função do seu tamanho e sua bateria ter maior durabilidade.

Referências Bibliográficas

Camargo, P. O.; Florentino, C.; Redivo, I. A. C. **Posicionamento relativo cinemático com receptor de navegação GARMIN GPS 12XL**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico-Multifinalitário, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/Cobrac_2004/174.pdf>. Acesso em: 31 de março 2008

Carvalho, L. T. **Avaliação da acurácia no posicionamento relativo estático por meio de dados RINEX coletados com GPS de navegação**. 2007. 29p. Monografia. Curso de Engenharia de Agrimensura. Universidade Federal de Viçosa, MG. 2007.

Galán, A. T. **Obtaining raw data from some Garmin units**. 2002. Disponível em: <<http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/>>. Acesso em: 31 de março de 2008.

Krueger, C. P.; Tranches Junior, S. **Verificação da possibilidade em se realizar georreferenciamento de imóveis rurais através de observações da onda portadora L1 coletadas por meio de receptores GPS de navegação**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Santos, A. A.; Flor, C. D. R. V.; Lins, F. J. C. C. **Avaliação da acurácia de receptores GPS de navegação através da portadora L1 para fins de cadastro**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Disponível em: <http://godesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2002/064/064.htm>. Acesso em: 31 de março de 2008.

Monico, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**, São Paulo: Editora UNESP. 2000. 287p.