

# INFLUÊNCIA DAS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS E PRECISAS NO TRANSPORTE DE COORDENADAS

## *INFLUENCE OF BROADCAST AND PRECISE EPHEMERIS IN COORDINATE TRANSPORTATION*

*Felipe Mendes Suci, Universidade Federal de Viçosa, felipesuci@gmail.com. Alessandro Salles Carvalho, Universidade Federal de Viçosa, ascufpr@gmail.com. Moisés Ferreira Costa, Universidade Federal de Viçosa, moises@ufv.br*

### RESUMO

O presente estudo descreve uma metodologia que dá suporte para a comparação dos resultados obtidos de processamentos com dados GPS utilizando-se de diferentes tipos de efemérides (transmitidas, ultrarrápidas, rápidas e finais). A metodologia proposta consta de diferentes etapas, que vão desde a obtenção dos dados RINEX (GPS) e .sp3 (efemérides precisas) nos sítios do IBGE e IGS respectivamente, passando pela atualização e transformação entre diferentes referenciais geodésicos (utilizando a Transformação Generalizada de Helmert), mudança entre sistemas cartesiano geocêntrico e geodésico local até a comparação das discrepâncias obtidas entre as coordenadas obtidas a partir do processamento (utilizando-se do aplicativo *Trimble Geomatics Office* - TGO) e as coordenadas presentes nos descritivos. Os resultados mostraram que não há diferença relevante entre as soluções alcançadas com os diferentes tipos de efemérides precisas para as linhas de base analisadas nesse trabalho, porém, houve diferença considerável entre essas coordenadas e as obtidas com as efemérides transmitidas.

**Palavras-chave:** efemérides, sistema geodésico local, transformação generalizada de Helmert

### ABSTRACT

The present study describes a methodology that supports the comparison of results obtained from processing GPS data using different types of ephemeris (broadcast, ultra-rapid, rapid and final). The methodology proposed consists of different stages, ranging from obtaining of RINEX data (GPS) and .sp3 (precise ephemeris) sites in the IBGE and IGS respectively, through updating and transformation between different geodesics references (using Generalized Helmert Transformation), switching between Geocentric Cartesian and Local Geodesic systems to compare the discrepancies found between the coordinates obtained from the process (using the software *Trimble Geomatics Office* - TGO) and the coordinates in present wording. The results showed no significant difference in the results achieved with the different kinds of precise ephemeris for baselines analyzed in this work, however, there was considerable difference between these coordinates and those obtained with the broadcast ephemeris.

**Key Word:** ephemeris, local geodesic system, generalized Helmert transformation

### INTRODUÇÃO

De acordo com Seeber (1993), as efemérides transmitidas são preditas e comunicadas aos usuários através de mensagens de navegação, enquanto que as efemérides precisas são provenientes de estimativas feitas por centros subordinados ao IGS (*International GNSS Service*) a partir de elementos orbitais observados. Por este motivo, a acurácia das efemérides precisas é melhor do que a acurácia das efemérides transmitidas.

Monico (2008) afirma que o uso das efemérides transmitidas tem sido feito principalmente no processamento de bases curtas e aplicações na topografia, enquanto as efemérides precisas têm sido utilizadas no processamento de linhas de base longas e em aplicações que sejam requeridas grandes precisões, como geodinâmica, controle do movimento de estruturas e etc.

Segundo Spofford e Remondi (1996), a identificação das efemérides precisas se dá com base na sigla do órgão que a produziu, na semana GPS correspondente e no dia da semana GPS (começa com 0 no domingo e vai até 6 no sábado). A extensão utilizada é a sp3 e é uma sigla para *Standard Product 3*.

As acurácias, latências e instantes de atualizações das efemérides precisas estão demonstradas na Tabela 1. Tais informações foram retiradas do sítio oficial do IGS<sup>1</sup>.

**TABELA 1.** Acurácias de órbitas e relógios dos satélites, latências e atualizações

Efemérides dos satélites GPS / Satélite e Relógios das Estações		Acurácia	Latência	Atualizações
Transmitidas (predita)	Órbita	~100 cm	Tempo Real	--
	Relógios do satélite	~5 ns RMS ~2.5 ns SDev		
Ultrarrápida (predita)	Órbita	~5 cm	Tempo Real	às 03, 09, 15, 21 UTC
	Relógios do satélite	~3 ns RMS ~1.5 ns SDev		
Ultrarrápida (observada)	Órbita	~3 cm	3 - 9 horas	às 03, 09, 15, 21 UTC
	Relógios do satélite	~150 ps RMS ~50 ps SDev		
Rápida	Órbita	~2.5 cm	17 - 41 horas	às 17 UTC diária
	Relógios do satélite	~75 ps RMS ~25 ps SDev		
Final	Órbita	~2.5 cm	12 - 18 dias	Toda quinta-feira
	Relógios do satélite	~75 ps RMS ~20 ps SDev		

Fonte: Adaptado de <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

<sup>1</sup> <http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

A partir das órbitas produzidas por esses centros, são realizadas combinações que geram os seguintes tipos de efemérides precisas (Monico, 2008):

- IGU: órbitas IGS ultrarrápidas, é composta por duas partes (preditas e observadas). A sua latência varia de 3 a 9 horas e são disponibilizadas 4 vezes por dia.

- IGR: órbitas IGS rápidas têm latência que vai de 17 a 41 horas.

- IGS: órbitas IGS finais, é resultante da combinação de órbitas de vários centros de análise, sua latência varia de 12 a 18 dias após a coleta de dados.

O arquivo das efemérides precisas contém as coordenadas X, Y e Z dos satélites, em quilômetros, referenciados a alguma das realizações ITRS (*International Terrestrial Reference System*) além das correções do relógio dos satélites em microssegundos, os quais são dados, em épocas equidistantes, em geral a cada 15 minutos (Monico, 2000). A Tabela 2 demonstra os períodos de produção das efemérides e o ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) utilizado.

**TABELA 2.** Efemérides precisas do IGS e respectivos referenciais adotados

PERÍODO DA EFEMÉRIDE		ITRF UTILIZADO
INÍCIO	FIM	
JAN. 1993	DEZ. 1993	ITRF91
JAN. 1994	DEZ. 1994	ITRF92
JAN. 1995	JUN. 1996	ITRF93
JUL. 1996	FEV. 1998	ITRF94
MAR. 1998	JUL. 1999	ITRF96
AGO. 1999	02.10.01	ITRF97
03.12.01	04.10.06	ITRF00
05.11.06	-	ITRF05 (época 2000,0)

Fonte: Monico (2008)

Os transportes de coordenadas foram feitos a partir de estações ativas da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) utilizando-se dos diferentes tipos de efemérides.

O presente trabalho visa em analisar a acurácia obtida no posicionamento, utilizando-se na fase de processamento as efemérides transmitidas e as precisas IGU, IGR e IGS. Tal estudo se justifica pelo fato de se avaliar se é viável ou não por exemplo, numa dada aplicação, utilizar-se das efemérides IGU ao invés das efemérides IGS, visto que o tempo de latência da primeira é de poucas horas e o da segunda pode chegar até 18 dias?

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram utilizados dados RINEX (obtidos de forma gratuita no sítio oficial do IBGE<sup>2</sup>) de sete estações da RBMC, sendo essas: CEFE, RIOD, VICO, MCLA, GVAL, VARG e UBER. Os dados coletados correspondem ao dia 193 do ano de 2009.

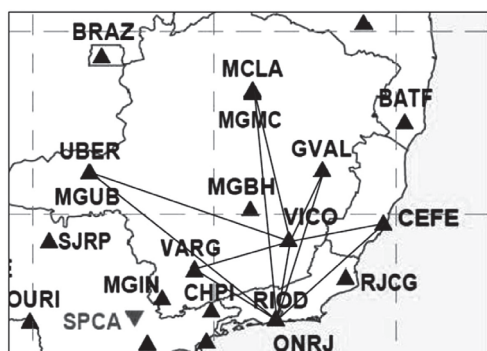
Na Tabela 3, tem-se os dados aproximados das estações utilizadas.

**TABELA 3.** Dados das estações homologadas pelo IBGE, (SIRGAS2000, época 2000,4)

Cidade	UF	Sigla	Código SAT	Latitude	Longitude	Altura Geométrica
Vitória	ES	CEFE	93960	-20° 18'	-40° 19'	14,31 m
Rio de Janeiro	RJ	RIOD	91720	-22° 49'	-43° 18'	8,63 m
Viçosa	MG	VICO	91696	-20° 45'	-42° 52'	665,96 m
Governador Valadares	MG	GVAL	91932	-18° 51'	-41° 57'	178,66m
Montes Claros	MG	MCLA	93947	-16° 42'	-43° 51'	656,54 m
Uberlândia	MG	UBER	91909	-18° 53'	-48° 19'	791,83 m
Varginha	MG	VARG	91930	-21° 32'	-45° 26'	958,65 m

Fonte: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc\\_est.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc_est.shtm)

As estações utilizadas estão dispostas numa dada porção do território brasileiro de acordo com a Figura 1.



**FIGURA 1** - Distribuição das estações RBMC utilizadas e dos vetores utilizados no processamento

(Vetor dependente: VICO-RIOD)

Os arquivos das efemérides precisas (.sp3) foram coletados no sítio oficial do IGS<sup>3</sup> e correspondem à semana GPS 1540.

O aplicativo computacional utilizado para o processamento e ajustamento dos dados GPS foi o TGO versão 1.63, tal aplicativo dispõe de uma interface gráfica que permite, concomitantemente ao processamento e ao ajustamento dos dados, a visualização das estações utilizadas e dos vetores gerados entre as mesmas.

Sabendo que as coordenadas geradas a partir do processamento com as efemérides

<sup>2</sup> <ftp://geofp.ibge.gov.br/RBMC/dados/2009/193/>

<sup>3</sup> <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/product/1540/>

precisas são referenciadas à realização ITRF2005 do ITRS, é necessário, antes de se efetuar o processamento dos dados, atualizar tais coordenadas para a época de rastreio (2009,5) e transformar para o sistema de referência ITRF2005 por meio da Transformação Generalizada de Helmert (Soler, 1999):

$$X_{B(t)} = \vec{T} + (1+s)[\varepsilon + I][\vec{X}_{A(t_0)} + \vec{V}_{A(t_0)}(t-t_0)] + \left[ \dot{\vec{T}} + [(1+s)\dot{\varepsilon} + \dot{s}[\varepsilon + I]]\vec{X}_{A(t_0)} \right] (t-t_0) \quad (1)$$

onde:

$\vec{T}\vec{T}$ : é a translação necessária para que coincida as origens dos referenciais  $A$  e  $B$ , em outras palavras, representa as coordenadas da origem de  $A$  no referencial  $B$ , na época de referência  $t_0$ ;  
 $\varepsilon$ : é a matriz de rotações diferenciais, em radianos, em torno dos eixos  $X, Y, Z$  do referencial  $A$  para estabelecer paralelismo com  $B$ , na época  $t_0$ ;  
 $s$ : é o fator diferencial de escala entre os referenciais  $A$  e  $B$  na época  $t_0$ ;

$\vec{X}_{A(t_0)}\vec{X}_{A(t_0)}$ : é o vetor das coordenadas cartesianas do ponto  $P$  no referencial  $A$ , na época de referência  $t_0$  em unidades métricas;

$\vec{X}_{B(t)}\vec{X}_{B(t)}$ : é o vetor das coordenadas cartesianas do ponto  $P$  no referencial  $B$ , na época  $t$  em unidades métricas;

$\vec{V}_{A(t_0)}\vec{V}_{A(t_0)}$ : é o vetor velocidade do ponto  $P$  (em unidades métricas por ano), na época  $t_0$ , devido ao movimento da placa litosférica que o contém;  
 $(t-t_0)$ : é o intervalo de tempo expresso em anos e

sua fração. O valor de  $t$  na prática é aproximado para o tempo médio do período observado; e

$\dot{\vec{T}}\dot{\vec{T}}$ ,  $\dot{\varepsilon}\dot{\varepsilon}$ ,  $\dot{s}\dot{s}$ : são as variações em translação, rotação e fator diferencial de escala, respectivamente, entre os referenciais  $A$  e  $B$ , com relação ao tempo.

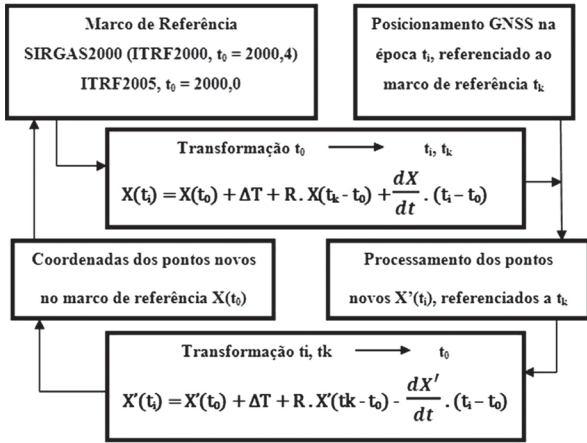
Segundo Drewes (2004), todos os pontos da superfície terrestre se movem por conta de deformações da crosta terrestre, nota-se então que é necessário ter as velocidades das estações em questão. Essas foram obtidas por meio do aplicativo Velinter, disponível para download na página do SIRGAS na internet<sup>4</sup>. O Velinter utiliza o modelo VEMOS (*VELOCITY MOdel of Sirgas*), tal modelo corresponde a uma quadrícula de  $1^\circ \times 1^\circ$  com velocidades horizontais.

Drewes (2004) ainda demonstra de forma simplificada o processo implicado na transformação e na atualização de coordenadas entre diferentes épocas e sistemas de referência. Tal demonstração pode ser apreciada na Figura 2.

Como explicação prévia da Figura 2, tem-se o seguinte: Determina-se o sistema de referência de origem das coordenadas (no caso, SIRGAS2000, época 2000,4) e o sistema destino (ITRF20005, época 2000,0), a partir dos parâmetros de transformação (buscou-se tais parâmetros no sítio oficial do ITRF<sup>5</sup>), efetua-se efetivamente a transformação e atualização das coordenadas, utilizando-se da Transformação Generalizada de Helmert ou da Transformação com equações diferenciais simplificadas de Molodenski (esse utiliza outros parâmetros e não leva em conta as velocidades das estações, ao contrário da Transformada de Helmert), finalizando com o processamento e ajustamento dos dados GPS com o aplicativo computacional selecionado (no presente caso, o TGO).

<sup>4</sup> <http://www.sirgas.org/index.php?id=54> (Acessado em 14 de junho de 2009)

<sup>5</sup> [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2005/tp\\_05-00.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php)



**FIGURA 2** – Fluxograma de atualização e transformação de coordenadas entre diferentes referenciais geodésicos<sup>6</sup>

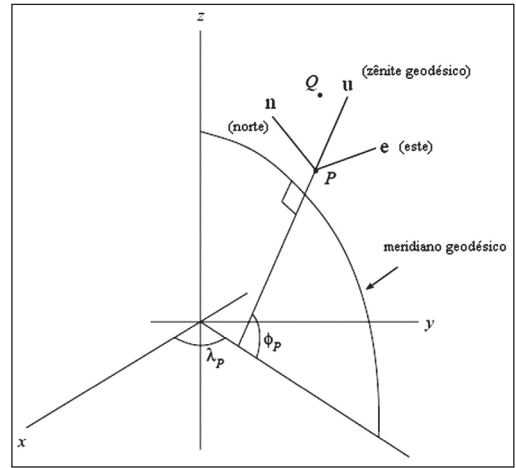
Após o processamento e ajustamento dos dados GPS, foi aplicada novamente a Transformação Generalizada de Helmert, só que no sentido contrário, transformando as coordenadas referenciadas ao ITRF2005 (época 2000,0) para SIRGAS2000 (época 2000,4).

A partir dos resultados obtidos, efetuou-se a transformação das coordenadas do sistema cartesiano geocêntrico para o SGL (Sistema Geodésico Local) com a finalidade de facilitar a análise da acurácia obtida nos posicionamentos utilizando-se os diferentes tipos de efemérides.

De acordo com Rodrigues (2002), o SGL é um sistema cartesiano tridimensional topocêntrico, onde o eixo *u* coincide com a normal do elipsóide, a direção *n* na direção da tangente ao meridiano geodésico voltado para o norte e o eixo *e* perpendicular a *u* e *n* de forma que torne o sistema dextrógiro.

A utilização das coordenadas no SGL facilita de modo considerável a análise das acurácias. Segundo Leick (1995), tal sistema tem grande aplicação no desenvolvimento de modelos matemáticos que integram observações GPS e terrestres.

A Figura 3 demonstra com maior clareza como é definido o SGL.



**FIGURA 3** - Sistema cartesiano geocêntrico e geodésico local

Fonte: Adaptado de Jekeli (2006)

A conversão entre os citados sistemas (cartesiano geocêntrico e geodésico local) é dada pela equação (Andrade, 2008):

$$\begin{bmatrix} e_p \\ n_p \\ u_p \end{bmatrix} = R_2(\Phi_0 - 90^\circ) R_3(\lambda_0 - 180^\circ) \begin{bmatrix} \Delta X_{P0} \\ \Delta Y_{P0} \\ \Delta Z_{P0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_2(\Phi_0) = \begin{bmatrix} \cos(\Phi_0) & 0 & -\text{sen}(\Phi_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\Phi_0) & 0 & \cos(\Phi_0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_3(\lambda_0) = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_0) & \text{sen}(\lambda_0) & 0 \\ -\text{sen}(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

onde  $R_2$  e  $R_3$  são, respectivamente, matrizes de rotação em torno de *y* e *z*;  $\Phi_0$  e  $\lambda_0$  são as coordenadas geodésicas do ponto tomado como origem (VICO) para a transformação entre os sistemas cartesiano geocêntrico e geodésico local.

A partir das coordenadas geodésicas locais das estações pós-processadas com os diferentes tipos de efemérides e também das coordenadas presentes nos descritivos transformadas para o SGL, efetua-se o cálculo para alcançar as

<sup>6</sup> Retirado de <http://www.sirgas.org/index.php?id=54> e traduzido pelo autor

respectivas acurácias.

As Figuras 4 e 5 ilustram os fluxogramas da metodologia empregada.

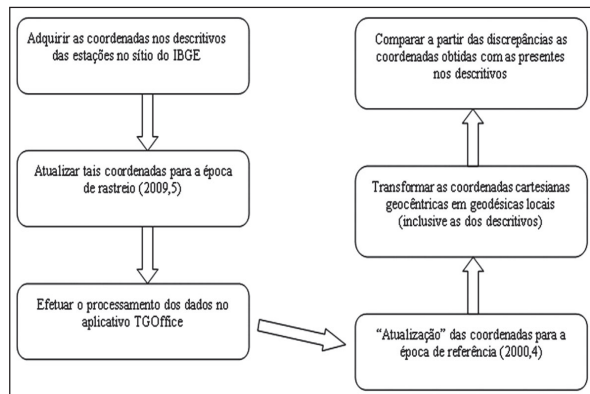


FIGURA 4 - Esquema de processamento com as efemérides transmitidas

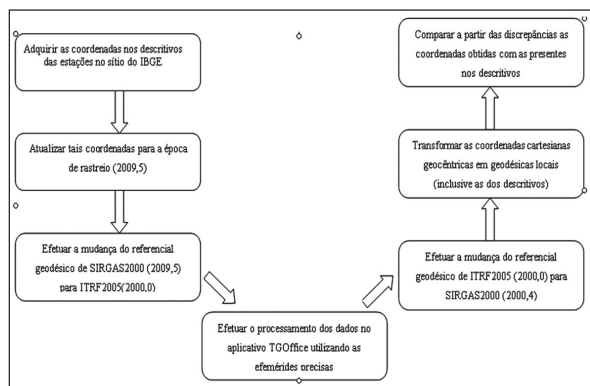


FIGURA 5 – Esquema de processamento com as efemérides precisas

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas subsequentes (4, 5, 6, 7 e 8) contêm os valores das coordenadas no SGL das estações utilizadas, tais tabelas apresentam os valores obtidos por meio dos descritivos disponibilizados pelo IBGE e por meio dos processamentos e ajustamentos utilizando as efemérides transmitidas e precisas (IGU, IGR e IGS).

**TABELA 4.** Coordenadas geodésicas locais derivadas das estações presentes nos descritivos fornecidos pelo IBGE

EST	<i>e</i> (m)	<i>n</i> (m)	<i>u</i> (m)
GVAL	96146,4881	210681,8742	-4711,8986
VARG	-265647,5794	-88610,3887	-5857,7938
CEFE	266290,8954	47796,4052	-6390,9404
UBER	-573108,1018	197555,5922	-28751,7125
MCLA	-107855,8739	446645,4752	-16667,8974

**TABELA 5.** Coordenadas geodésicas locais das estações obtidas através do processamento utilizando as efemérides transmitidas

EST	<i>e</i> (m)	<i>n</i> (m)	<i>u</i> (m)
GVAL	96146,5484	210681,8611	-4711,8546
VARG	-265647,6559	-88610,5398	-5857,7921
CEFE	266291,0402	47796,3243	-6390,8697
UBER	-573108,3170	197555,5278	-28751,7118
MCLA	-107855,9174	446645,5394	-16667,8350

**TABELA 6.** Coordenadas geodésicas locais das estações obtidas através do processamento utilizando as efemérides precisas IGU

EST	<i>e</i> (m)	<i>n</i> (m)	<i>u</i> (m)
GVAL	96146,4904	210681,8765	-4711,9000
VARG	-265647,5871	-88610,3740	-5857,7985
CEFE	266290,8949	47796,4066	-6390,8960
UBER	-573108,0921	197555,5848	-28751,7221
MCLA	-107855,8679	446645,4662	-16667,8840

**TABELA 7.** Coordenadas geodésicas locais das estações obtidas através do processamento utilizando as efemérides precisas IGR

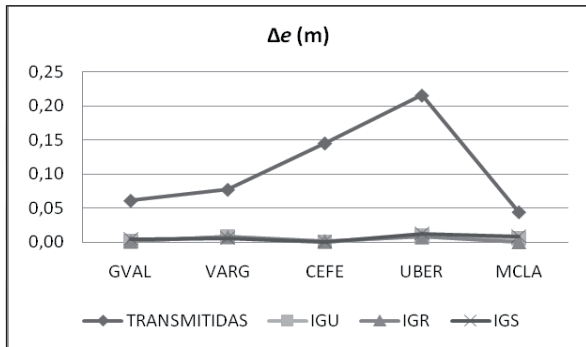
EST	<i>e</i> (m)	<i>n</i> (m)	<i>u</i> (m)
GVAL	96146,4869	210681,8739	-4711,8984
VARG	-265647,5871	-88610,3791	-5857,7980
CEFE	266290,8934	47796,4052	-6390,8940
UBER	-573108,0941	197555,5766	-28751,7214
MCLA	-107855,8736	446645,4614	-16667,8824

**TABELA 8.** Coordenadas geodésicas locais das estações obtidas através do processamento utilizando as efemérides precisas IGS

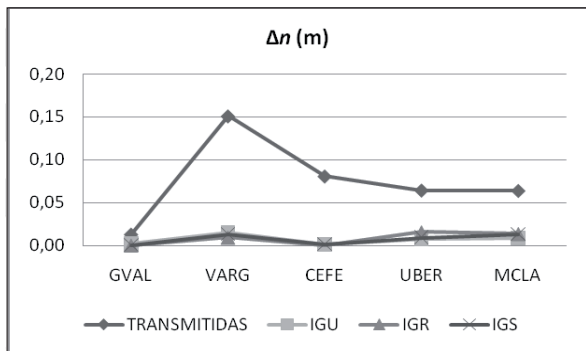
EST	<i>e</i> (m)	<i>n</i> (m)	<i>u</i> (m)
GVAL	96146,4904	210681,8755	-4711,8997
VARG	-265647,5871	-88610,3740	-5857,7985
CEFE	266290,8942	47796,4059	-6390,8950
UBER	-573108,0913	197555,5846	-28751,7228
MCLA	-107855,8672	446645,4641	-16667,8839

De posse dos dados das Tabelas 5, 6, 7 e 8 (efemérides transmitidas e precisas) e a Tabela 4 (descritivos do IBGE), efetua-se então o cálculo das discrepâncias.

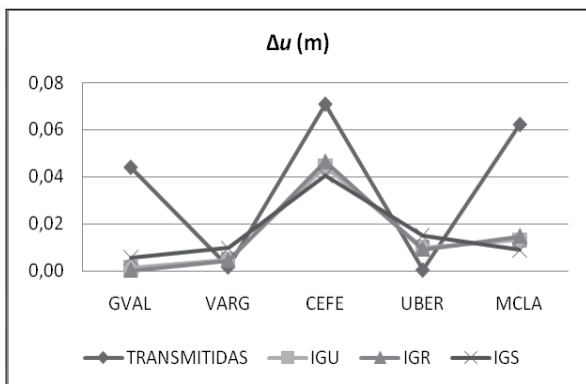
As acurácias alcançadas foram moduladas de modo a facilitar a visualização dos dados, e aos mesmos estão apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3.



**GRÁFICO 1** – Discrepâncias moduladas da componente  $\Delta e$



**GRÁFICO 2** – Discrepâncias moduladas da componente  $\Delta n$



**GRÁFICO 3** – Discrepâncias moduladas da componente  $\Delta u$

Segundo Gemael (2004), o erro médio quadrático (RMS – *Root Mean Square*) pode ser utilizado como índice de precisão. O RMS é o valor modulado do desvio padrão  $\hat{\sigma}\hat{\sigma}$  e ele é dado por:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{n}}$$

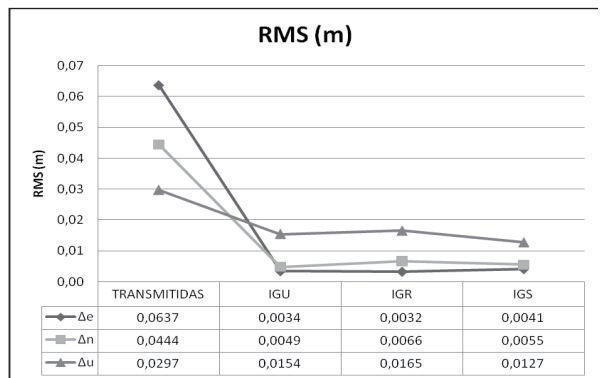
Onde:

$m$ : erro médio quadrático;

$\epsilon_i^2$  : valor da discrepância – valor da média da discrepância;

$n$  : população (=5).

Os valores de RMS calculados estão ilustrados no Gráfico 4



**GRÁFICO 4** – RMS calculados

Observando-se os Gráficos 1, 2 e 3, nota-se que há uma diferença considerável entre os resultados obtidos por meio das efemérides transmitidas e das precisas. É notável por exemplo, na coordenada  $n$ , na estação UBER, enquanto a discrepância alcançada pelas efemérides transmitidas está em torno de 21 cm, as discrepâncias obtidas pelas efemérides precisas estão próximas a 0,1 cm, o que demonstra a diferença na qualidade dos resultados gerados por esses diferentes tipos de efemérides.

Nota-se ainda no Gráfico 3, uma certa degradação da qualidade dos resultados alcançados pelas efemérides precisas na estação CEFE, visto que as acurácias alcançadas com as

efemérides IGU, IGR e IGS estão em torno de 4 cm, enquanto que, nas outras estações esses valores estão próximos a 1 cm.

No Gráfico 4, nota-se que os valores de RMS calculados para as coordenadas  $u$  com as efemérides precisas estão sempre maiores que os valores obtidos com as coordenadas  $e$  e  $n$ . Percebe-se ainda que o mesmo não ocorre com as efemérides transmitidas.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados permite concluir que não houve diferença relevante entre os resultados alcançados entre os diferentes tipos de efemérides precisas para as linhas de base utilizadas nesse trabalho, porém o mesmo não pode ser afirmado em relação às efemérides transmitidas, visto que os resultados obtidos se diferiram de forma considerável.

Para os próximos trabalhos, sugere-se que o modelo de velocidade de placas litosféricas seja modificado, passando de Velinter para VEMOS2009, tal aplicativo já está disponível na página oficial do Projeto SIRGAS<sup>7</sup>, além de utilizar linhas de base com comprimentos maiores dos que as que foram utilizadas.

Por fim, tem-se que o presente trabalho atingiu o objetivo proposto, que era identificar se existem diferenças entre as soluções obtidas através dos processamentos e ajustamentos oriundos de diferentes tipos de efemérides (transmitidas e precisas).

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.J.O. **Determinação do desvio da vertical empregando observáveis da topografia clássica e do posicionamento por satélites**. 2008. 109p. Dissertação (Mestrado em Informações Espaciais) – Universidade Federal de Viçosa.

DREWES, H. Procesamiento de información GPS com relación a marcos de referencia de épocas diferentes. *In: SIRGAS WORKSHOP*, 2004, Aguascalientes, México.

JEKELI, C. **Geometric Reference Systems in Geodesy**. Division of Geodesy and Geospatial Science School of Earth Sciences. Ohio State University, 2006. 202p..

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 1995.560 p..

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2008. 476 p..

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2000. 291p..

RODRIGUES, D.D. **Rede geodésica de precisão no Estado de Minas Gerais: avaliação de diferentes estratégias de processamento e ajustamento**. 2002. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin; New York: de Gruyter, 1993. 356p..

SOLER, T. Transformações Rigorosas entre Sistemas de Referências de coordenadas: Aplicação ao GPS (ITRF, WGS84) e GLONASS (PZ90), **GeoConvergência**, p.30-38, março 1999.

SPOFFORD, P.R.; REMONDI, B.W. **The National Geodetic Survey Standard GPS Format SP3**, <http://www.ngs.noaa.gov>, 1996.

<sup>7</sup> <http://www.sirgas.org/index.php?id=54>