
POSICIONAMENTO GEODÉSICO REFERENCIADO AO SIRGAS2000 (ITRF2000) COM BASE EM SERVIÇOS E FERRAMENTAS GRATUITAS DISPONÍVEIS NA INTERNET

ALESSANDRO SALLES CARVALHO^{1,2}
WILLIAM RODRIGO DAL POZ²

Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF¹
Departamento de Transportes e Geotecnia, Juiz de Fora, MG
Universidade Federal de Viçosa – UFV²
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
alessandro.carvalho@ufjf.edu.br, william.dalpoz@ufv.br

RESUMO – O serviço de processamento de dados GPS – AUSPOS, o qual utiliza o *Bernese GPS Software* (V. 5.0) para a realização do posicionamento relativo é gratuito e funciona online. Fornece as coordenadas no ITRF2008 (IGb08), na época da coleta dos dados. Desse modo, deve-se proceder a atualização e mudança de referencial das coordenadas para o SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4, pois é o sistema de referência oficial adotado no Brasil. Esse procedimento foi executado com o emprego do HTDP (*Horizontal Time-Dependent Positioning*) em conjunto com o uso do VEMOS2009 (Modelo de Velocidade para a América do Sul e Caribe), os quais também são gratuitos. O objetivo deste trabalho é empregar serviços e ferramentas gratuitas disponíveis na Internet para o posicionamento geodésico no referencial adotado para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Foram empregados 24h de dados GPS, do dia 13/06/2014, da estação RECF (Recife, PE), a qual pertence à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) para realização do experimento. As discrepâncias posicionais em SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4 foram de -0,02 m para E (Este), 0,008 m para N (Norte) e -0,03 m para h (altura geométrica). Conclui-se que essas ferramentas e serviços são de grande utilidade para profissionais envolvidos com o posicionamento geodésico.

ABSTRACT – The service of GPS data processing – AUSPOS, which utilize the *Bernese GPS Software* (V 5.0) for the realization of relative positioning, works online and free way providing the coordinates in the ITRF2008 (IGb08) in the epoch of data collection. Thus, one should proceed to update and referential change of the coordinates for SIRGAS2000 (ITRF2000), epoch 2000.4, because it is the official reference system adopted in Brazil. This procedure was performed with the use of HTDP (*Horizontal Time-Dependent Positioning*) in conjunction with the use of VEMOS2009 (*Speed Model for South America and the Caribbean*) that are also free. This paper aims is to employ free tools and services available on the Internet for geodetic positioning in referential adopted for the Brazilian Geodetic System (GBS). Were employed 24 hours of GPS data in June 13, 2014 from the RECF station (Recife, PE - Brazil), which belongs to RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS systems), to perform the experiment. The positional discrepancies in SIRGAS2000 (ITRF2000) system, epoch 2000.4, were -0.02 m (east), 0,008 m (north) and -0.03 m (geometric height). As a result, it is concluded that, these tools and services are very useful for professionals involved with the geodetic positioning.

1 INTRODUÇÃO

A determinação posicional com base no GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com o uso do método relativo estático é frequentemente utilizada em levantamentos geodésicos para determinação de pontos de controle, temáticos e implantação de redes geodésicas (SEEBER, 2003). Serviços gratuitos de pós-processamento das observáveis GPS estão sendo disponibilizados na Internet. Dentre esses, destacam-se o AUSPOS (*Online GPS Processing Service*), o OPUS (*Online Positioning User Service*) e o SCOUT (*Scripps Coordinate Update Tool*) (OCALAN, ERDGAN E TUNALIOGLU, 2013; GOMEZ, COGLIANO E TELLO, 2013). Os requisitos básicos para que usuários utilizem esses diferentes serviços são praticamente os mesmos: acesso à Internet e um endereço de e-mail (GHODDOUSI-FARD, DARE, 2006).

O AUSPOS utiliza o *Bernese GPS Software* (V 5.0) para o pós-processamento dos dados GPS e os produtos produzidos pelo IGS (*International GNSS Service*), os quais estão desde 07 de outubro de 2012, semana GPS 1709, até o presente, vinculadas à realização IGS do ITRF2008 (*International Terrestrial Reference Frame*) denominada de IGB08 ou ITRF2008(IGB08), a qual é alinhada ao ITRF2008 (REBISCHUNG, 2012; REBISCHUNG et al., 2012, IGS, 2014; GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2014, SIRGAS, 2014). Atualmente, todas as coordenadas determinadas pelo AUSPOS são referenciadas ao GDA94 (*Geocentric Datum of Australia 1994*) e ao ITRF2008, época da coleta dos dados.

O sistema de geodésico de referência adotado para posicionamento no Brasil é o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS2000) e as coordenadas das estações determinadas nessa realização deverão estar na época 2000,4 (IBGE, 2005). A realização SIRGAS (SIRGAS2000) corresponde ao ITRF2000, época 2000,4 (WESTON, SOLER, 2012; SIRGAS, 2014). Desse modo, deve-se realizar a mudança de referencial e atualização das coordenadas do ITRF2008 (época da coleta dos dados) para o SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4. Para isso, pode-se utilizar a Transformação de Helmert com 14 parâmetros (três translações, três rotações diferenciais, um fator de escala e respectivas variações temporais (*rates*)) (SOLER, SNAY, 2004). Foi empregado o VEMOS2009 (*Velocity Model for SIRGAS*) para obtenção das velocidades e a ferramenta HTDP (*Horizontal Time-Dependent Positioning*) para determinação posicional no SIRGAS2000(ITRF2000), época 2000,4.

O objetivo desse trabalho é empregar serviços e ferramentas gratuitas disponíveis na Internet para realizar o posicionamento geodésico no referencial que caracteriza o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro).

2 SERVIÇOS E FERRAMENTAS GRATUITAS DISPONÍVEIS NA INTERNET PARA POSICIONAMENTO GEODÉSICO

2.1 Horizontal Time-Dependent Positioning - HTDP

O HTDP acrônimo de *Horizontal Time-Dependent Positioning* é uma ferramenta a qual permite o usuário realizar a mudança de referencial das velocidades e coordenadas bem como proceder a atualização dessas últimas (SNAY, PEARSON, 2012). Das seis funções disponíveis foram utilizadas as seguintes: atualização das coordenadas de uma época para outra; transformação de coordenadas de um referencial para outro ou de uma data para outra e transformação das velocidades de um referencial para outro.

O HTDP poderá utilizar nas funções implementadas as realizações do NAD83 (*North American Datum of 1983*), do ITRS e do WGS84 (SNAY, PEARSON, 2012).

A última versão do HTDP está disponível para utilização na Internet e pode ser acessada em <http://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/Htdp.shtm> ou http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/HTDP/. Pode-se também realizar o download do executável e utilizá-lo diretamente no computador.

2.2 Serviço de processamento de dados GPS online - AUSPOS

AUSPOS é um serviço de pós-processamento de dados GPS, gratuito, fornecido pela agência australiana de geociências que pode ser acessado em <<http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/auspos-online-gps-processing-service.html>>.

A determinação posicional no ITRF pelo AUSPOS é feita utilizando produtos IGS tais como: efemérides precisas, parâmetros de orientação da Terra, coordenadas e observáveis GPS das estações ativas da rede IGS (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2014).

O pós-processamento dos dados GPS é feito utilizando o método relativo estático em rede com o emprego do software Bernese GNSS, desenvolvido pela AIUB (*Astronomical Institute of the University of Bern*). Atualmente, para determinação das coordenadas no referencial ITRF2008 realizado pelo IGS, época média dos dados coletados, deve-se enviar, via *upload* ou *ftp* (*File Transfer Protocol*), as observáveis, no formato RINEX (*Receiver INdependent EXchange*), coletadas no modo estático, por receptores geodésicos de dupla frequência. Quando o arquivo de observações RINEX é submetido, até 15 estações ativas da rede IGS e APREF (*Asia-Pacific Reference Frame*) mais próximas ao ponto a ser determinado poderão ser utilizadas como estações de referência para o posicionamento relativo e ajustamento (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2014).

Nos processamentos, os efeitos das fontes de erros, tais como: erro do relógio dos receptores, troposfera e ionosfera são levados em consideração por meio da modelagem ou estimação dos parâmetros relacionados. Todos os cálculos são efetuados de acordo com as convenções do IERS <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/Conventions/conventions.html?__nnn=true>. Salienta-se que a correção do efeito devido a carga oceânica não é levada em consideração nos processamentos.

Para a realização do processamento o usuário deverá submeter ao serviço apenas os dados de observação GPS, o tipo e altura da antena utilizada e um e-mail para o recebimento do relatório de processamento. O intervalo de gravação

dos dados utilizadas no processamento é de 30s. São utilizados os parâmetros de calibração e nomenclatura das antenas empregados, respectivamente, pelo NGS (*National Geodetic Survey*) e pelo IGS. Podem ser submetidos arquivos de observação de até 20 estações. No relatório estão presentes as coordenadas no GDA94 e no ITRF2008, bem como informações referentes ao processamento e ajustamento dos dados.

2.3 Modelo de velocidade para a América do Sul e Caribe – VEMOS 2009

Quando for necessário a atualização das coordenadas das estações de uma época para outra e não se dispôr de suas velocidades, torna-se fundamental o conhecimento de um campo contínuo de velocidade (DREWES, HEIDBACH, 2012). O primeiro modelo do campo de velocidade desenvolvido para a placa Sul-Americana foi calculado em 2003 e desde então dados adicionais de vários projetos geodésicos e geodinâmicos tornaram-se disponíveis possibilitando a geração de modelos mais refinados.

O Modelo de Velocidade para a América do Sul e Caribe (VEMOS2009), o qual deverá ser utilizado na área de abrangência do SIRGAS, foi calculado em função das coordenadas SIRGAS95 e SIRGAS2000, e das velocidades das estações SIRGAS-CON determinadas pelo *IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS* (IGS-RNAAC-SIR) e de diferentes projetos geodinâmicos desenvolvidos na região (SÁNCHEZ et al., 2013). Ressalta-se que este modelo de velocidade está vinculado ao ITRF2005 (DREWES, HEIDBACH, 2012).

O VEMOS2009 corresponde a uma quadrícula de $1^\circ \times 1^\circ$ com velocidades horizontais, as quais podem ser interpoladas pelo programa VMS2009 disponível no sítio (<http://www.sirgas.org/index.php?id=54>) do SIRGAS. A Figura 1 ilustra o campo de velocidade para a área de abrangência do SIRGAS.

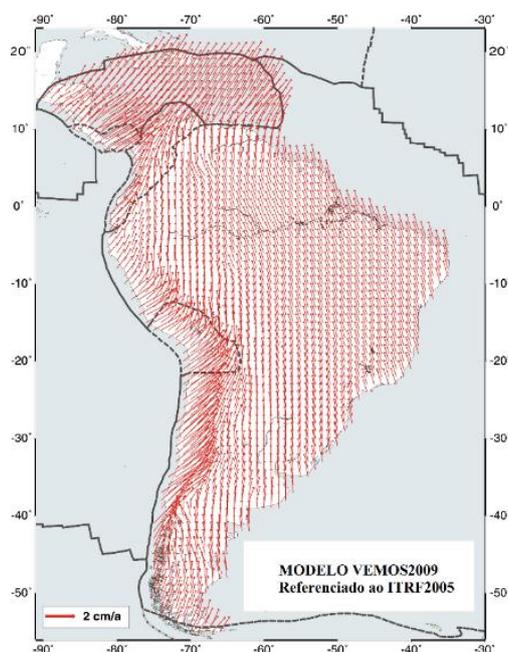


Figura 1 - Campo de velocidade para a América do Sul e Caribe.

Fonte: (DREWES, HEIDBACH, 2012).

A precisão média alcançada na estimação das velocidades com esse modelo é de 1,5 mm/ano (SÁNCHEZ et al., 2013). Porém, de acordo com Drewes e Heidbach (2012), os erros das velocidades variam dependendo da região, podendo variar de ± 1 mm/ano até ± 9 mm/ano em áreas de cobertura com observações esparsas.

3 REALIZAÇÕES DE SISTEMAS DE REFERÊNCIA TERRESTRES

O ITRS (*International Terrestrial Reference System*) se enquadra como um referencial teórico, pois é a definição do sistema de referência. É um sistema de referência tridimensional que gira com a Terra em seu movimento diurno no espaço. Nesse sistema, os pontos fixos à crosta da Terra sofrem pequenas variações com o tempo devido aos efeitos geofísicos (PETIT, LUZUM, 2010).

O ITRS é realizado e mantido pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) (ALTAMIMI; COLLILIEUX; MÉTIVIER, 2012). A realização mais atual é denominada de ITRF2008 e foi construída

com base em observações obtidas por técnicas geodésicas espaciais: VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR (*Satellite Laser Ranging*), DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) e GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (ITRF, 2014). O ITRF2008 é composto por 934 estações distribuídas em 580 localidades, na qual 463 estão localizadas no hemisfério norte e 117 no hemisfério sul (ALTAMIMI; COLLILIEUX; MÉTIVIER, 2012).

A realização ITRS pelo IGS é denominada de IGB08 e foi obtida com o emprego de observações GNSS. As efemérides precisas disponibilizadas pelo IGS estão, atualmente, vinculadas ao referencial IGB08 o qual é alinhado ao ITRF2008 (IGS, 2014).

A primeira realização do SIRGAS (SIRGAS95) corresponde ao ITRF94, época 1995,4. É dada por uma rede GPS de alta precisão, a qual é composta por 58 estações distribuídas na América do Sul. A segunda realização do SIRGAS (SIRGAS2000) inclui 184 estações, distribuídas nos países da América do Sul, Central e Norte bem como no Caribe, correspondendo ao ITRF2000, época 2000,4 (SÁNCHEZ et al., 2013; SIRGAS, 2014). Essa realização é empregada no Brasil para como referencial no posicionamento geodésico. A terceira realização do SIRGAS é dada como base na rede de operação contínua (SIRGAS-CON). Atualmente é composta de mais de 300 estações GNSS de funcionamento contínuo, das quais 58 pertencem a rede global do IGS. A rede SIRGAS-CON é calculada semanalmente pelos centros de processamento e combinação SIRGAS (SÁNCHEZ et al., 2013; SIRGAS, 2014). As soluções semanais das estações estão no IGB08, época média do período da coleta dos dados. Há também a solução multi-anual (SIR11P01) da rede SIRGAS-CON, na qual são fornecidas as coordenadas no ITRF2008, época 2005,0 e velocidades cartesianas geocêntricas no ITRF2005 das estações (SÁNCHEZ et al., 2013; SIRGAS, 2014).

3.1 Atualização de coordenadas

As coordenadas são expressas em função do tempo de modo a levar em consideração o movimento das placas litosféricas (SNAY, PEARSON, 2012). Desse modo, ao disponibilizar as coordenadas das estações deve-se também informar a época de sua determinação, pois conhecendo-se o vetor velocidade da estação, pode-se atualizá-la para uma época de interesse. Na área de abrangência do SIRGAS, recomenda-se a utilização do modelo de velocidade VEMOS2009 (SÁNCHEZ et al., 2013; SIRGAS, 2014).

No HTDP para atualização das coordenadas de uma época de referência para outra deve-se especificar o sistema de referência, as coordenadas de entrada e sua época de referência bem como a época das coordenadas de saída. Desse modo, o HTDP calcula o vetor deslocamento de t_0 para t e adiciona esse vetor às coordenadas iniciais para sua determinação na época t . O modelo matemático utilizado é dado por:

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t_0) \\ y(t_0) \\ z(t_0) \end{bmatrix} + (t - t_0) \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}; \quad (1)$$

onde:

t : época de interesse para a determinação das coordenadas cartesianas;

t_0 : época de origem das coordenadas cartesianas;

$x(t)$, $y(t)$, $z(t)$: coordenadas cartesianas geocêntricas de uma estação na época de destino; e

$x(t_0)$, $y(t_0)$, $z(t_0)$: coordenadas cartesianas geocêntricas de uma estação na época de origem.

Esse procedimento permite que seja considerado o deslocamento da estação no intervalo de tempo dado entre a época de determinação das coordenadas e a época de interesse, devido ao movimento da placa litosférica.

3.2 Transformação de referencial das coordenadas e velocidades

Para realizar a mudança de referencial das coordenadas no HTDP deve-se especificar as coordenadas no referencial A e sua época; o referencial B e a época de interesse. Assim, o aplicativo realiza a atualização das coordenadas da época t_0 para a época t no referencial A; a atualização dos parâmetros de transformação da época t_k para a época t ; e transformação das coordenadas na época t no sistema de referência A para o referencial B na época t .

O modelo matemático utilizado para transformação das coordenadas do sistema referência de origem (A) para o sistema de referência destino (B) na época t pode ser expresso por (SOLER, SNAY, 2004; PEARSON, SNAY, 2013; SNAY, PEARSON, 2012):

$$\begin{aligned}
 x(t)_B &= T_x(t) + [1+s(t)].x(t)_A + R_z(t).y(t)_A - R_y(t).z(t)_A; \\
 y(t)_B &= T_y(t) - R_z(t).x(t)_A + [1+s(t)].y(t)_A + R_x(t).z(t)_A; \\
 z(t)_B &= T_z(t) + R_y(t).x(t)_A - R_x(t).y(t)_A + [1+s(t)].z(t)_A;
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

onde: (x, y, z) são as coordenadas cartesianas geocêntricas; $(T_x(t), T_y(t), T_z(t))$: são as translações ao longo dos eixos x, y e z , do referencial A para o referencial B; $(R_x(t), R_y(t), R_z(t))$ rotações anti-horárias em torno desses mesmos três eixos do referencial A em relação ao referencial B; e $s(t)$ é o fator diferencial de escala entre os referenciais A e B.

Cada um dos sete parâmetros de transformação é representado como função do tempo porque tecnologias geodésicas modernas têm permitido cientistas detectarem suas variações temporais (SNAY, PEARSON, 2012).

As variações temporais são utilizados para atualizar os parâmetros de transformação da época em que são calculados t_k para a época das coordenadas destino t . O modelo matemático empregado para esse procedimento é dado por (SNAY, PEARSON, 2012; PEARSON, SNAY, 2013; ITRF, 2014):

$$\begin{bmatrix} T_x(t) \\ T_y(t) \\ T_z(t) \\ S(t) \\ R_x(t) \\ R_y(t) \\ R_z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x(t_k) \\ T_y(t_k) \\ T_z(t_k) \\ S(t_k) \\ R_x(t_k) \\ R_y(t_k) \\ R_z(t_k) \end{bmatrix} + (t - t_k) \begin{bmatrix} \dot{T}_x \\ \dot{T}_y \\ \dot{T}_z \\ \dot{S} \\ \dot{R}_x \\ \dot{R}_y \\ \dot{R}_z \end{bmatrix};
 \tag{3}$$

onde: t é época de interesse dos parâmetros; t_k : época de referência dos parâmetros.

Nota-se que antes da utilização dos parâmetros de transformação serem utilizados em (2) os mesmos são atualizados da época t_k para t .

Para que o HTDP realize a mudança de referencial das velocidades de uma estação P entre os referenciais A e B, deve-se especificar os vetores de velocidade e posição no sistema de referência origem (A) e o sistema de referência destino (B) (SOLER, SNAY, 2004; PEARSON, SNAY, 2013; SNAY, PEARSON, 2012):

$$\begin{aligned}
 (v_x)_B &= (v_x)_A + \dot{T}_x + \dot{s}.(x)_A + \dot{R}_z.(y)_A - \dot{R}_y.(z)_A; \\
 (v_y)_B &= (v_y)_A + \dot{T}_y - \dot{R}_z.(x)_A + \dot{s}.(y)_A + \dot{R}_x.(z)_A; \\
 (v_z)_B &= (v_z)_A + \dot{T}_z + \dot{R}_y.(x)_A - \dot{R}_x.(y)_A + \dot{s}.(z)_A;
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

onde: (x, y, z) são as coordenadas cartesianas geocêntricas de uma estação p no referencial A; $(\dot{T}_x, \dot{T}_y, \dot{T}_z)$ são as variações temporais das três translações do referencial B em relação ao referencial A; $(\dot{R}_x, \dot{R}_y, \dot{R}_z)$; são as três variações temporais das rotações do referencial B em relação ao referencial A; e \dot{s} é a variação temporal do fator de escala do referencial B em relação ao referencial A.

De acordo com Snay e Pearson (2012), os parâmetros de transformação e respectivas variações temporais implementadas no HTDP para mudança de referencial das coordenadas e velocidades entre as realizações ITRF2000, ITRF2005 e ITRF2008 foram obtidos em Boucher, Altamimi e Sillard (1999); Altamimi et al. (2007) e Altamimi et al. (2011).

4 EXEMPLO PRÁTICO

Os dados GPS da estação RECF (Recife, PE), a qual utiliza o receptor TRIMBLE NETR8 e a antena GNSS CHOKE RING (TRM59800.00) foram coletados no dia 13/06/2014, referente ao dia do ano 164. Encontra-se localizada na parte sul da lage de concreto da biblioteca central da Universidade Federal de Pernambuco e pertence à rede de densificação do IGS e à rede de referência do SIRGAS (RBMC).

A determinação posicional foi determinada com o emprego do serviço AUSPOS o qual retorna após o processamento e ajustamento as coordenadas no ITRF2008 (IGb08) e na época da coleta dos dados. A ferramenta HTDP foi utilizada para transformação do referencial das velocidades obtidas com o VEMOS2009 e das coordenadas provenientes do AUSPOS. As precisões adotadas para as coordenadas no ITRF2000 (SIRGAS2000) são as obtidas com o AUSPOS, pois o HTDP não realiza propagação de variâncias na atualização e mudança de referencial das coordenadas e velocidades.

No processamento dos dados GPS, o AUSPOS utilizou 14 estações base pertencentes à rede IGS e efemérides precisas finais. (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2014). Todas as coordenadas foram determinadas na realização IGS do ITRF2008, época 2014,447. As precisões das coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) são dadas ao nível de confiança de 95%.

A Figura 2 ilustra a distribuição espacial aproximada das estações IGS e da RBMC utilizadas no pós-processamento. Os triângulos representam as estações base da rede IGS e o círculo a estação da RBMC utilizada neste trabalho.

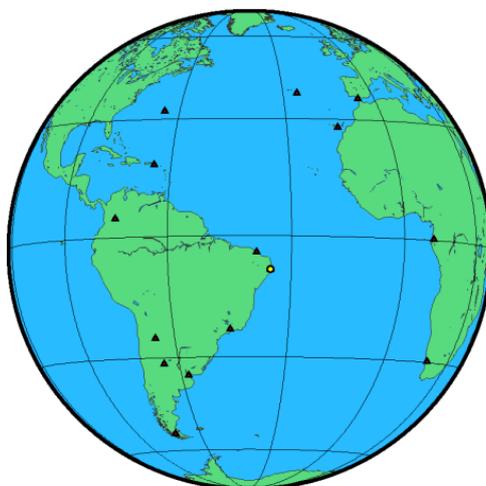


Figura 2 - Distribuição espacial aproximada das estações utilizadas nos processamentos.

Fonte: Adaptado de (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2014).

As estações base pertencentes à rede do IGS utilizadas como referência no posicionamento relativo para determinação posicional da estação RECF foram: BOGT, BRFT, BRMU, CHPI, CORD, CRO1, LPGS, MAS1, NKLK, PARC, PDEL, SBOK, SFER e UNSA.

Na Tabela 1 encontram-se as coordenadas e precisões da estação RECF determinadas no ITRF2008, época 2014,447.

Tabela 1 - Coordenadas e Precisões (95%) da estação RECF obtida com o uso do AUSPOS.

Coordenadas (ITRF2008, época 2014,447)	Sigmas (95%)	
X (m)	5.176.588,601	-
Y(m)	-3.618.162,204	-
Z (m)	-887.363,731	-
Latitude (φ)	-08°03'03,46370"	0,005 m (Norte)
Longitude (λ)	-34°57'05,46118"	0,006 m (East)
Altitude elipsoidal (h)	20,135	0,012 m (Up)

Antes da utilização do aplicativo VMS2009 para determinação do vetor velocidade da estação foi empregado a função *Interactively transform positions between reference frames and/or dates* do HTDP para transformar o referencial das coordenadas da estação RECF do ITRF2008 para ITRF2005, ambos na época 2014,447.

Na figura 3 encontram-se os valores de entrada e saída do HTDP. Como as épocas de referência das coordenadas são iguais não é necessário inserir as velocidades da estação RECF no referencial ITRF2008.

HTDP Output

```

*****
HTDP (version 3.2.3) OUTPUT

TRANSFORMING POSITIONS FROM ITRF2008 or IGS08      (EPOCH = 06-13-2014 (2014.447))
                    TO ITRF2005 or IGS05      (EPOCH = 06-13-2014 (2014.447))

          INPUT COORDINATES      OUTPUT COORDINATES      INPUT VELOCITY

RECF
LATITUDE      8 03  3.46371 S      8 03  3.46385 S      0.00 mm/yr north
LONGITUDE     34 57  5.46118 W      34 57  5.46116 W      0.00 mm/yr east
ELLIP. HT.                20.134                20.143 m      0.00 mm/yr up
X                5176588.601                5176588.608 m      0.00 mm/yr
Y                -3618162.204                -3618162.208 m      0.00 mm/yr
Z                -887363.731                -887363.737 m      0.00 mm/yr
    
```



Figura 3 – Coordenadas de entrada no ITRF2008 e saída no ITRF2005, ambas na época 2014,447.

A partir das coordenadas geodésicas no ITRF2005 (2014,447) foi utilizado o programa VMS2009 (VEMOS2009) para obtenção das velocidades no ITRF2005. As componentes do vetor velocidade da estação RECF no ITRF2005 são iguais a:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{ITRF2005} = \begin{bmatrix} -0,4 \\ -3,5 \\ 11,6 \end{bmatrix} \frac{\text{mm}}{\text{ano}}$$

Foi utilizado a função *Interactively transform velocities between reference frames* do HTDP para realizar a mudança de referencial das velocidades obtidas com o VMS2009 do ITRF2005 para ITRF2008. Para isso, empregou-se as velocidades e coordenadas da estação RECF no ITRF2005. As componentes do vetor velocidade da estação RECF no ITRF2008 são iguais a:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_{ITRF2008} = \begin{bmatrix} -0,7 \\ -3,5 \\ 11,6 \end{bmatrix} \frac{\text{mm}}{\text{ano}}$$

A partir do conhecimento das coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas via AUSPOS e velocidades da estação no ITRF2008, utiliza-se a função *Interactively transform positions between reference frames and/or dates* do HTDP, na qual foram especificados os referenciais e época de entrada e saída das coordenadas e velocidades no referencial ITRF2008. Na figura 4 encontram-se as coordenadas de entrada da estação RECF no ITRF2008 (2014,447) e as de saída no SIRGAS2000(ITRF2000), na época 2000,4.

HTDP Output

```

*****
HTDP (version 3.2.3) OUTPUT

TRANSFORMING POSITIONS FROM ITRF2008 or IGS08      (EPOCH = 06-13-2014 (2014.447))
      TO ITRF2000 or IGS00/IGb00      (EPOCH = 05-26-2000 (2000.400))

      INPUT COORDINATES      OUTPUT COORDINATES      INPUT VELOCITY

REFC
LATITUDE      8 03  3.46371 S      8 03  3.46942 S      11.69 mm/yr north
LONGITUDE     34 57  5.46118 W      34 57  5.45976 W      -3.27 mm/yr east
ELLIP. HT.           20.134              20.147 m      -0.21 mm/yr up
X              5176588.601            5176588.616 m      -0.70 mm/yr
Y             -3618162.204            -3618162.161 m      -3.50 mm/yr
Z             -887363.731             -887363.906 m      11.60 mm/yr

```



Figura 4 – Coordenadas de entrada e velocidades no ITRF2008 (2014,447) e saída no ITRF2000 (2000,4).

Na Tabela 2 encontram-se as coordenadas e precisões da estação RECF determinadas no SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4.

Tabela 2 - Coordenadas da estação RECF após transformações e atualização.

Coordenadas (SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4)	Sigmas (95%)
X (m)	5176588,616
Y(m)	-3618162,161
Z (m)	-887363,906
Latitude (φ)	-08°03'03,46942"
Longitude (λ)	-34°57'05,45976"
Altitude elipsoidal (h)	20,147

As coordenadas da estação RECF em SIRGAS2000, época 2000,4 disponíveis na Tabela 3 foram extraídas de seu descritivo fornecido pelo IBGE.

Tabela 3 - Coordenadas cartesianas, geodésicas e precisões da estação RECF.

Coordenadas (SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4)	Sigmas
X (m)	5176588,653
Y(m)	-3618162,163
Z (m)	-887363,920
Latitude (φ)	-08°03'03,4697"
Longitude (λ)	-34°57'05,4591"
Altitude elipsoidal (h)	20,18

As coordenadas presentes na Tabela 3 foram utilizadas como referência para o cálculo das discrepâncias posicionais. A partir do aplicativo ProGrid disponibilizado no portal do IBGE (ftp://geofp.ibge.gov.br/aplicativos/transformacao_coordenadas/) foram determinadas as coordenadas planas no sistema de projeção UTM e calculadas as discrepâncias posicionais. Na Tabela 4 são apresentadas as coordenadas planas UTM (E, N), meridiano central -33°, e altitude elipsoidal (h) bem como respectivas discrepâncias posicionais.

Tabela 4 – Coordenadas e discrepâncias posicionais da estação RECF.

Coordenadas Planas UTM e Altitude elipsoidal	E (m)	N (m)	h (m)
SIRGAS2000 (ITRF2000) – época 2000,4	284.931,023	9.109.554,903	20,15
Descritivo (RBM) – SIRGAS2000, época 2000,4	284.931,043	9.109.554,895	20,18
Discrepâncias	-0,02	0,008	-0,03

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As componentes do vetor velocidade das estações obtidas com o emprego do VEMOS2009 estão no ITRF2005 e deverão ser transformadas para o ITRF2008 de modo que seja possível atualizar as coordenadas no ITRF2008 da época da coleta dos dados para a época 2000,4.

Salienta-se que o HTDP não realiza a propagação de covariâncias na atualização de coordenadas e na transformações entre sistemas de referência e também não permite inserção de parâmetros de transformação estimados por instituições diferentes das utilizadas.

Foram verificadas discrepâncias posicionais em SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4 para a estação RECF de -0,02 m para E (Este), 0,008 m para N (Norte) e -0,03 m para h (altura elipsoidal). A discrepância planimétrica da determinação posicional para a estação RECF foi de 0,022 m. Desse modo, evidencia-se a potencialidade dessas ferramentas e serviços gratuitos em aplicações geodésicas nas quais são requeridas coordenadas em SIRGAS2000 (ITRF2000), época 2000,4.

Conclui-se que a metodologia descrita e exemplificada permite aos usuários de quaisquer serviços de posicionamento online, que realizem o posicionamento relativo GPS e utilizem efemérides precisas no ITRF2008(IGb08), a execução da mudança de referencial do ITRF2008(IGb08) para SIRGAS2000 (ITRF2000) bem como a atualização das coordenadas da época da coleta dos dados para a época de referência 2000,4. Salienta-se esta metodologia também pode ser empregada para qualquer serviço de Posicionamento por Ponto Preciso online.

REFERÊNCIAS

- ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; LEGRAND, J.; GARAYT, B.; BOUCHER, C. ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters. **Journal of Geophysical Research**, V. 112, Issue B9, P. 1-19, 2007.
- ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; METIVIER, L. ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. **Journal of Geodesy**, V. 85, Issue 8, p. 457-473, 2011.
- ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. **Analysis and results of ITRF2008 - IERS Technical Note No. 37**. IERS. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, p. 54. 2012.
- BOUCHER, C.; ALTAMIMI, Z.; SILLARD, P.: The International Terrestrial Reference Frame (ITRF97). (**IERS Technical Note; 27**) Paris: Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, 1999. ii, 192 p.
- DREWES, H.; HEIDBACH, O. The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), **Geodesy for Planet Earth**, IAG Symposia, V.136, p. 657-664, 2012.
- HTDP - Horizontal Time-Dependent Positioning Software. Disponível em http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/HTDP/. Acesso em 30 de junho de 2014.
- GEOSCIENCE AUSTRALIA. Australian Government - <http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/auspos-online-gps-processing-service.html>. 2014. Acesso em: 22 jan. 2014.
- GHODDOUSI-FARD, R.; DARE, P. Online GPS processing services: an initial. **GPS Solutions**, 0, 2006. 10 - 20. Disponível em: <http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/Online_GPS_positoning_services.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- GOMEZ, M. E.; COGLIANO, D.; TELLO, M. N. R. Análisis de la performance de tres servicios de posicionamiento GPS online en Argentina. **Geoacta**, Argentina, 38, n. 2, 2013. 95-106. Disponível em: <<http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/geoacta/index>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- IBGE. **Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 8. 2005.
- IGS. International GNSS Service, 2014. Disponível em: <<http://igsb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 18 jan. 2014.
- ITRF. International Terrestrial Reference Frame, 2014. Disponível em: <<http://itrf.ensg.ign.fr/>>. Acesso em: 22 jan. 2014.
- SÁNCHEZ, L.; SEEMÜLLER, W.; DREWES, H.; MATEO, L.; GONZÁLEZ, G.; SILVA, A.; PAMPILLÓN, J.; MARTÍNEZ, W.; CIOCE, V.; CISNEROS, D.; CIMBARO, S.: **Long-Term Stability of the SIRGAS Reference Frame and Episodic Station Movements Caused by the Seismic Activity in the SIRGAS Region**. In: Altamimi Z.

and Collilieux X. (Eds.): Reference Frames for Applications in Geosciences, IAG Symposia V. 138, p. 153-161, Springer Berlin Heidelberg, 2013.

OCCALAN, T.; ERDGAN, B.; TUNALIOGLU, N. Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, 19, n. 2, abr-jun 2013. 191-207. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg>>. Acesso em: 22 jan. 2014.

PEARSON, C.; SNAY, R. Introducing HTDP 3.1 to transform coordinates across time and spatial reference frames. **GPS Solutions**, V.17, p. 1-15, 2013.

PETIT, G.; LUZUM, B. **IERS Conventions (2010) - IERS Technical Note 36**. IERS. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, p. 179. 2010.

REBISCHUNG, P. et al. IGS08: the IGS realization of ITRF2008. **GPS Solutions**, 16, 2012. 483-494.

REBISCHUNG, P. [IGSMail - 6663] IGS08: an update on IGS08. Disponível em: <<http://igscb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2012/007853.html>>. Acesso em: 22 fev. 2014.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications**. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co, 2003. 589p.

SNAY, R. Using the HTDP software to transform spatial coordinates across time and between reference frames. **Surveying and Land Information Systems**, V. 59, N° 1, p. 15-25, 1999.

SNAY, R.; PEARSON, C. HTDP User's Guide. Disponível em < <https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Htdp/HTDP-user-guide.pdf>>. Acesso: 30 de junho de 2014.

SIRGAS. Sistema de referência geocêntrico para as Américas. Disponível em: < <http://www.sirgas.org/index.php?id=15>>. Acesso em 30 de junho de 2014.

WESTON, N.; SOLER, T. Rigorous Geodetic Positioning in the Americas. In: **8th. FIG Regional Conference 2012**. Montevideo, Uruguay, 26-29 November 2012. Disponível em < <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Articles/Weston-SolerFIG-2012-Montevideo.pdf>>. Acesso em 30 de junho de 2014.

SOLER, T; SNAY, R. A. Transforming positions and velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 e North American datum of 1983. **Journal of Surveying Engineering**. v. 130, n° 2 p. 49-55, May 1, 2004.