
COMPARAÇÃO DE COORDENADAS DE ESTAÇÕES DA RBMC TRANSFORMADAS E ATUALIZADAS PARA ITRF2014

MARÍLIA SANGLARD ALMEIDA²

GABRIEL DINIZ DE OLIVEIRA^{2,3}

WILLIAM RODRIGO DAL POZ^{1,2}

Universidade Federal de Viçosa – UFV

Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG¹

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil²

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária³

Setor de Cartografia - INCRA/ES

marilia.almeida@ufv.br, gabriel.diniz@ufv.br, william.dalpoz@ufv.br

RESUMO - O ITRF2014 é a nova realização do ITRS, disponível desde janeiro de 2016. Esta realização traz como novidade a possibilidade de calcular a posição de uma estação afetada por deformações pós-sísmicas em uma época durante o período de relaxamento. Sabe-se que o processo de atualização de coordenadas pode envolver referenciais distintos, sendo que, neste caso, também se faz necessário compatibilizar o referencial no posicionamento geodésico. Neste trabalho foram transformadas e atualizadas as coordenadas referenciadas ao SIRGAS2000 (época 2000,4) de 25 estações ativas da RBMC-IBGE para o ITRF2014 (época 2010,0). Para as resultantes planimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE em SIRGAS2000 (época 2000,4) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0), verificou-se uma discrepância média de 0,129m. Já para as componentes altimétricas, discrepância média de 0,013m. Comparando as coordenadas das estações do IBGE atualizadas e transformadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0), teve-se para as resultantes planimétricas que 68% dos resultados obtidos apresentaram discrepância menor que 0,010m. Para as componentes altimétricas, apenas 40% dos resultados apresentam discrepância com valores abaixo de 0,010m. Destaca-se neste caso que nenhum valor de discrepância ultrapassou o valor de 0,030m.

ABSTRACT - The ITRF 2014 is a new realization of the ITRS, available since January 2016. The new in this realization is possibility of calculate station position affected by post-seismic deformations at an epoch in the period of relaxation. It is known that the coordinate update process may involve different references, thus, in this case, it is also necessary to make compatible the referential in the geodetic positioning. In this work we were transformed and updated SIRGAS2000 coordinates (epoch 2000.4) from 25 active stations of the RBMC-IBGE for ITRF2014 (epoch 2010.0). For the resultant in planimetry from discrepancies between the IBGE SIRGAS2000 coordinates (epoch 2000.4) and ITRF2014 reference coordinates (epoch 2010.), the average discrepancy obtained was 0,129m. For the ellipsoidal height, the average discrepancy obtained was 0,013m. Comparing coordinates of updated and transformed IBGE stations to ITRF2014 (epoch 2010.0) and ITRF2014 reference coordinates (epoch 2010.0), for the resultant in planimetry, 68% of the results show discrepancies smaller than 0.010m. For the ellipsoidal height, only 40% of the results show discrepancies smaller than 0.010m. In both, it has not obtained any value upper than 0.030 m.

1 INTRODUÇÃO

O processo de transformação e atualização de coordenadas é uma tarefa de extrema importância em aplicações geodésicas ou geodinâmicas em que são exigidas altas acurácias. Isto ocorre, principalmente, em função da contínua deformação da crosta terrestre, que faz com que as coordenadas que foram estimadas em uma determinada época, alterem com o tempo. Esta é uma das razões da disponibilidade de várias realizações do ITRS (*International Terrestrial Reference System*). O ITRS é considerado o referencial geodésico mais preciso atualmente. Este se enquadra como um Referencial Teórico. Sua realização é conhecida como ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) (MONICO, 2008).

O ITRS é materializado atualmente por um catálogo de coordenadas e de velocidades, para uma dada época. Em outras palavras, o ITRF é um grupo de coordenadas cartesianas tridimensionais de vértices que concretiza o ITRS. As velocidades das estações são incluídas, pois estas se deslocam principalmente devido às movimentações das placas tectônicas regionais.

Existem várias realizações ITRS, dentre elas pode-se citar: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, o ITRF2008, e mais recentemente o ITRF2014 (ALTAMIMI, *et al.*, 2011; ITRF, 2016a).

O ITRF2014 é a nova realização do ITRS, disponível desde Janeiro de 2016(2016a). O ITRF2014 segue o procedimento já utilizado para os ITRF2005 e ITRF2008, utilizando como dados de entrada séries temporais de posições de estações de referência e parâmetros de orientação da Terra fornecidos pelas seguintes técnicas geodésicas espaciais: VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR (*Satellite Laser Ranging*), GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*). Com base em soluções reprocessadas dessas técnicas, o ITRF2014 está previsto para ser uma solução melhorada em comparação com ITRF2008 (ITRF, 2016a).

Dois inovações foram introduzidas no processamento ITRF2014, a saber:

- termos anuais e semi-anuais foram estimados para estações com intervalos de tempo suficientes para as referidas técnicas durante o processamento da série temporal correspondente;
- modelos de deformação pós-sísmica (PSD) foram determinados através do ajuste de dados GNSS/GPS (*Global Positioning System*) nas principais estações GNSS/GPS afetadas por terremotos. Os modelos PSD foram então aplicados às outras três técnicas (ITRF, 2016a).

Após a primeira campanha de reprocessamento realizada pelo *International GNSS Service* (IGS) em 2008, uma segunda campanha de reprocessamento (repro2) foi finalizada em 2015. Nove diferentes Centros de Análise reanalisaram os dados históricos GNSS coletados por uma rede global de rastreamento desde 1994 usando os mais recentes modelos e metodologias disponíveis, e forneceu soluções para o ITRF2014 entre outros produtos. O erro médio quadrático ponderado para os valores dos resíduos das combinações de processamento da segunda campanha, a nível global entre os centros de análise, foi avaliado como sendo 1,5 mm para as componentes horizontais e 4 mm para as componentes verticais das posições das estações utilizadas (REBISCHUNG *et al.*, 2016).

O ITRF2014 é definido de tal maneira que não há parâmetros de rotação para a época 2010,0 e as variações temporais de rotação entre o ITRF2014 e ITRF2008 são nulas. Os parâmetros de transformação entre ITRF2014 e ITRF2008, disponíveis no endereço eletrônico <http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/tp_14-08.php>, são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Parâmetros de transformação de ITRF2014 para ITRF2008, época 2010,0.

Fonte: (ITRF, 2016a)

	T_x	T_y	T_z	s	ε_x	ε_y	ε_z
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	10^{-9}	<i>mas</i>	<i>mas</i>	<i>mas</i>
	\dot{T}_X	\dot{T}_Y	\dot{T}_Z	\dot{s}	$\dot{\epsilon}_x$	$\dot{\epsilon}_y$	$\dot{\epsilon}_z$
	<i>mm/ano</i>	<i>mm/ano</i>	<i>mm/ano</i>	$10^{-9}/ano$	<i>mas/ano</i>	<i>mas/ano</i>	<i>mas/ano</i>
	1,6	1,9	2,4	-0,02	0,000	0,000	0,000
±	0,2	0,1	0,1	0,02	0,006	0,006	0,006
	0,0	0,0	-0,1	0,03	0,000	0,000	0,000
±	0,2	0,1	0,1	0,02	0,006	0,006	0,006

Onde, \vec{T} é o vetor das translações em X, Y e Z entre os dois referenciais, dadas em metros; ϵ é a matriz das rotações diferenciais em torno dos eixos X, Y e Z, dadas em radianos; s é o fator de escala entre os dois referenciais, adimensional, dado em ppm e \dot{T} e \dot{s} são as variações temporais em translação, rotação e fator de escala no ITRF com relação ao tempo.

Os 14 parâmetros de transformação, na época 2005,0, de ITRF2008 para ITRF2005 assim como na época 2000,0, de ITRF2005 para ITRF2000, podem ser obtidos em Altamimi *et al.*(2012) e Altamimi *et al.*(2007).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

O processo de atualização de coordenadas pode ou não envolver referenciais distintos. Quando é envolvido um mesmo referencial, o processo se resume em apenas atualizar as coordenadas (ALMEIDA & DAL POZ, 2015).

Quando são envolvidos diferentes referenciais, em épocas distintas, o processo envolve transformação e atualização de coordenadas. Neste caso, para compatibilizar diferentes referenciais, considerando a evolução temporal das coordenadas, necessita-se de uma transformação que aplica simultaneamente as translações, rotações, fator de escala e respectivas taxas de variação com relação ao tempo, além da velocidade da estação (SOUZA, 2008).

Há também uma segunda forma, que foi utilizada neste trabalho. Neste caso, para transformar e atualizar coordenadas, primeiramente deve-se atualizar os parâmetros de transformação para a época de interesse, para em seguida, realizar a transformação de coordenadas, e, por fim, atualizar as mesmas. Desta forma, neste trabalho, foram transformadas e atualizadas as coordenadas SIRGAS2000 dos descritivos de 25 estações ativas da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) para a mais nova realização do ITRS, o ITRF2014.

Para atualizar os parâmetros da época inicial t_0 para a época t , utiliza-se a seguinte expressão (ITRF, 2016b) e (MONICO, 2008);

$$P(t) = P_{t_0} + \dot{P}_{(t-t_0)} \Rightarrow \begin{pmatrix} T_X(t) \\ T_Y(t) \\ T_Z(t) \\ S(t) \\ e_X(t) \\ e_Y(t) \\ e_Z(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_X(t_0) \\ T_Y(t_0) \\ T_Z(t_0) \\ S(t_0) \\ \varepsilon_X(t_0) \\ \varepsilon_Y(t_0) \\ \varepsilon_Z(t_0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \dot{T}_X \\ \dot{T}_Y \\ \dot{T}_Z \\ \dot{S} \\ \dot{e}_X \\ \dot{e}_Y \\ \dot{e}_Z \end{pmatrix} (t - t_0) \quad (1)$$

Onde \dot{P} é variação temporal dos parâmetros. Após a atualização dos parâmetros, realiza-se a transformação entre os sistemas de referência, através da transformação de similaridade, por meio de três translações, três rotações e um fator de escala. O modelo matemático para transformar as coordenadas no sistema origem (o) para o sistema destino (d) é dado por (PETIT & LUZUM, 2010):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_d = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_o + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S & -\varepsilon_Z & \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z & S & -\varepsilon_X \\ -\varepsilon_Y & \varepsilon_X & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_o \quad (2)$$

É importante salientar que os sete parâmetros de transformação e as coordenadas dos pontos nos dois sistemas devem estar na mesma época.

A atualização das coordenadas das estações da época (t_0) para a época de interesse (t) pode ser realizada de acordo com as equações (3), (4) e (5) (SIRGAS, 2016):

$$X(t) = X(t_0) + V_X(t - t_0) \quad (3)$$

$$Y(t) = Y(t_0) + V_Y(t - t_0) \quad (4)$$

$$Z(t) = Z(t_0) + V_Z(t - t_0) \quad (5)$$

Em que: t é a época de interesse para a determinação das coordenadas; t_0 é a época de origem das coordenadas cartesianas geocêntricas; $X(t), Y(t), Z(t)$ são as coordenadas cartesianas geocêntricas de uma estação na época de destino e $X(t_0), Y(t_0), Z(t_0)$ são as 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 tectônica (CARVALHO & DAL POZ, 2014).

A base de dados utilizada nesta pesquisa foi um conjunto de estações ativas da RBMC, totalizando 25 estações. Utilizaram-se as coordenadas em SIRGAS2000, época 2000,4 dos descritivos das referidas estações, disponíveis no formato adobe PDF. Os arquivos mencionados são disponibilizados pelo IBGE, pelo seguinte endereço: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Também foram utilizadas as coordenadas das mesmas estações e suas respectivas componentes de velocidade, disponibilizadas em um arquivo no formato TXT, pelo ITRF Web Site no endereço <http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/doc/ITRF2014_GNSS.SSC.txt>. Neste arquivo, são disponibilizadas várias soluções de coordenadas e componentes de velocidade em ITRF2014, época 2010,0 para cada estação, que resultou em 77 soluções GNSS para as 25 estações selecionadas. Essas últimas serão consideradas as coordenadas de referência deste trabalho.

Em posse das coordenadas obtidas nos descritivos das estações RBMC selecionadas e de suas respectivas velocidades em ITRF 2014, foi possível realizar a atualização e transformação de tais coordenadas. Os parâmetros de transformação e o modelo matemático utilizados foram os recomendados pelo IERS, disponibilizados pelo ITRF através do endereço: <http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php>.

Tal modelo foi implementado no *software* Matlab, versão R2012b, licença do Departamento de Engenharia Civil (DEC), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e obtiveram-se então as coordenadas dos descritivos do IBGE (SIRGAS2000, época 2004,0) atualizadas e transformadas para ITRF2014, época 2010,0. O processo de transformação dos referenciais e atualização de coordenadas também foi realizado na página da EUREF *Permanent Network* em:

<http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/> para fins de comparação. Os resultados foram compatíveis a nível submilimétrico.

A Figura 1 ilustra o esquema de transformação de referencial e atualização de coordenadas adotado neste trabalho. Salienta-se que foi considerada a compatibilidade entre o SIRGAS2000 e o ITRF2000. É importante destacar que o SIRGAS2000 como um sistema de referência é idêntico a um ITRS. Além disso, o SIRGAS2000 é uma densificação regional do ITRF2000 (SIRGAS, 2015). Desta forma, neste trabalho será utilizado o termo ITRF2000 ao invés de SIRGAS2000.

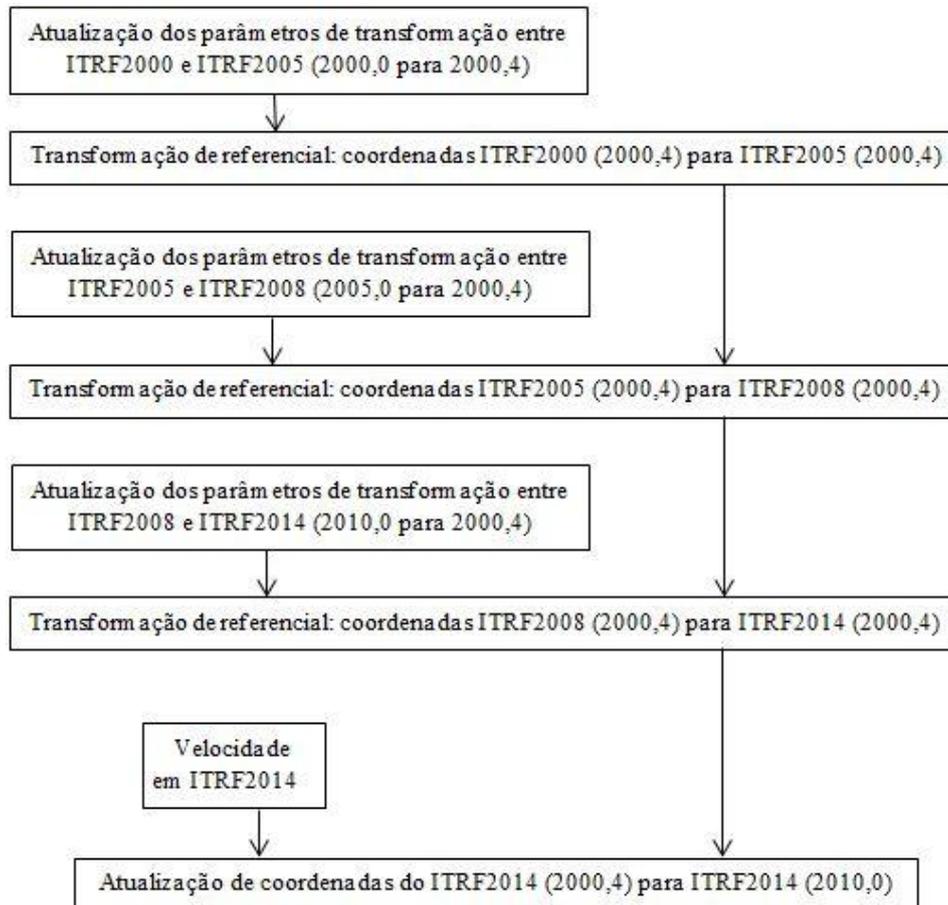


Figura 1 - Esquema realizado para transformação e atualização das coordenadas.

As coordenadas do IBGE em ITRF2000, época 2000,4, foram transformadas e atualizadas para ITRF2014 (época 2010,0), que é o referencial e a época das coordenadas disponibilizadas pelo *site* do ITRF (coordenadas de referência). Dessa forma, foi possível compará-las.

As soluções do ITRF são especificadas para coordenadas cartesianas, com isso, para representar as componentes planimétrica e altimétrica é necessário transformá-las em coordenadas elipsoidais.

Para analisar as discrepâncias, e consequentemente avaliar a tendência dos resultados, as coordenadas cartesianas obtidas dos descritivos do IBGE em ITRF2000 (época 2004,0), as coordenadas cartesianas transformadas e atualizadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0), foram convertidas para coordenadas elipsoidais utilizando o método direto, proposto por Bowring (1976). A nota técnica nº 36 do IERS *Conventions 2010* recomenda que esta transformação seja feita para o elipsoide GRS80 com semi-eixo maior (a) = 6378137,0 metros e achatamento (f) = 1/298,257222101 (PETIT & LUZUM, 2010). Posteriormente foram calculadas as discrepâncias planimétrica e altimétrica, da seguinte forma:

$$\Delta\phi_{rad} = |\phi_{calc} - \phi_{ref}| \quad (6)$$

$$\Delta\lambda_{rad} = |\lambda_{calc} - \lambda_{ref}| \quad (7)$$

$$\Delta h_{(m)} = |h_{calc} - h_{ref}| \quad (8)$$

Onde, $\Delta\phi_{rad}$, $\Delta\lambda_{rad}$ e $\Delta h_{(m)}$ são as discrepâncias referentes às componentes latitude, longitude e altitude geométrica, respectivamente; ϕ_{ref} e λ_{ref} são as coordenadas elipsoidais de referência, em radianos; ϕ_{calc} e λ_{calc} são

as coordenadas geodésicas calculadas, em radianos; h_{ref} são as altitudes geométricas de referência, em metros; e h_{calc} são as altitudes geométricas calculadas, em metros. Para a conversão das unidades para metros, pode-se fazer (TORGE, 2001):

$$\Delta\phi_{(m)} = M * \Delta\phi_{rad} \quad (9)$$

$$\Delta\lambda_{(m)} = N * \Delta\lambda_{rad} * \cos \phi \quad (10)$$

Em seguida, calcularam-se as resultantes planimétricas da discrepância da seguinte maneira:

$$T = \sqrt{\Delta\phi_{(m)}^2 + \Delta\lambda_{(m)}^2} \quad (11)$$

Onde T é a resultante planimétrica das discrepâncias, em metros. A componente altimétrica é o próprio $\Delta\lambda_{(m)}$ em metros, como mostra a expressão 8.

A Figura 2 ilustra um resumo da metodologia realizada neste trabalho, desde a transformação e atualização das coordenadas do IBGE até as resultantes planimétricas e componentes altimétricas finais obtidas.

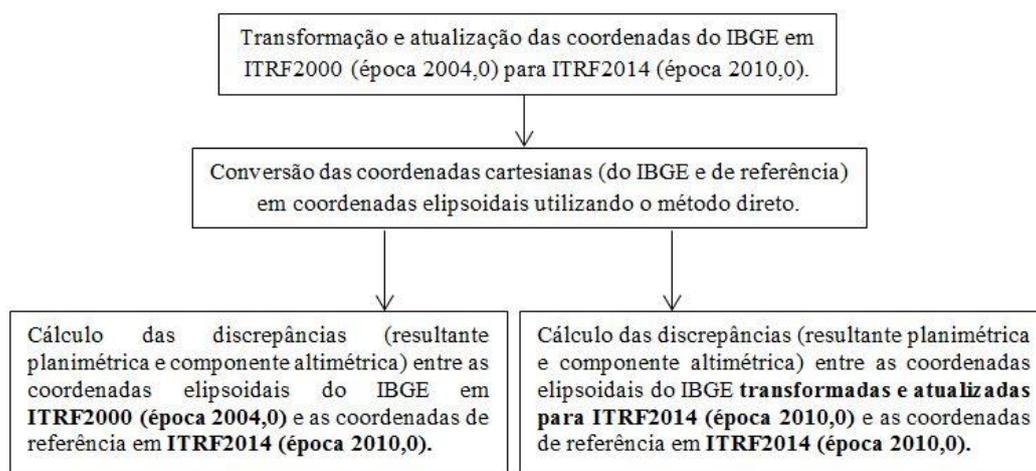


Figura 2 - Fluxograma contendo a metodologia realizada no presente trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 e 4 ilustram as resultantes planimétricas e componentes altimétricas respectivamente, resultantes da comparação entre as coordenadas das estações do IBGE em **ITRF2000 (época 2004,0)** e as coordenadas de referência em **ITRF2014 (época 2010,0)**.

Como já mencionado, o *site* do ITRF fornece várias soluções GNSS para cada estação. Por isso, foi calculada a média dos resultados obtidos para cada estação GNSS.



Figura 3 – Resultantes planimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE em ITRF2000 (época 2000,4) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0)

Para as resultantes planimétricas apresentadas na Figura 3, verificou-se uma discrepância média de 0,129m, variando de 0,113m na estação NAUS a 0,141m na estação BELE.

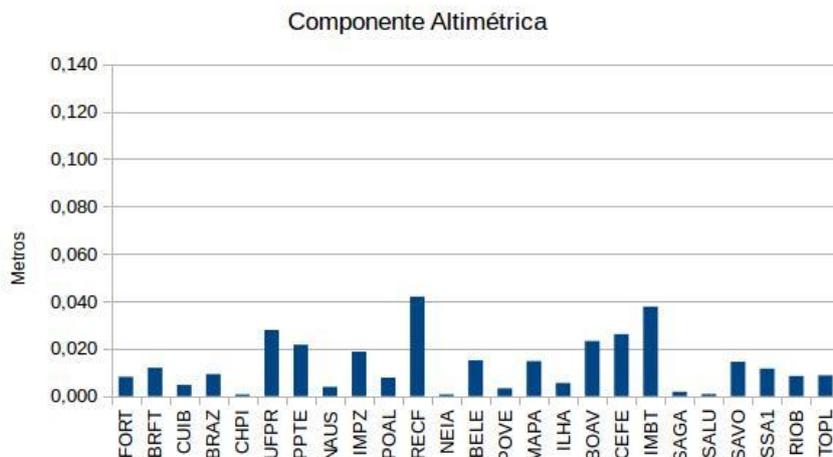


Figura 4 – Componentes altimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE em ITRF2000 (época 2000,4) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0)

Para as componentes altimétricas apresentadas na Figura 4, verificou-se uma discrepância média de 0,013m, variando de 0,001m nas estações SALU, CHIP e NEIA a 0,042m na estação RECF.

Analisando ainda as Figuras 3 e 4 verifica-se que as resultantes planimétricas tiveram maiores valores de discrepância se comparadas às componentes altimétricas, pois o movimento tectônico é predominantemente horizontal (com exceção nas bordas de placas).

As figuras 5 e 6 ilustram as resultantes planimétricas e componentes altimétricas respectivamente, resultantes da comparação entre as coordenadas das estações do IBGE atualizadas e transformadas para **ITRF2014 (época 2010,0)** e as coordenadas de referência em **ITRF2014 (época 2010,0)**.

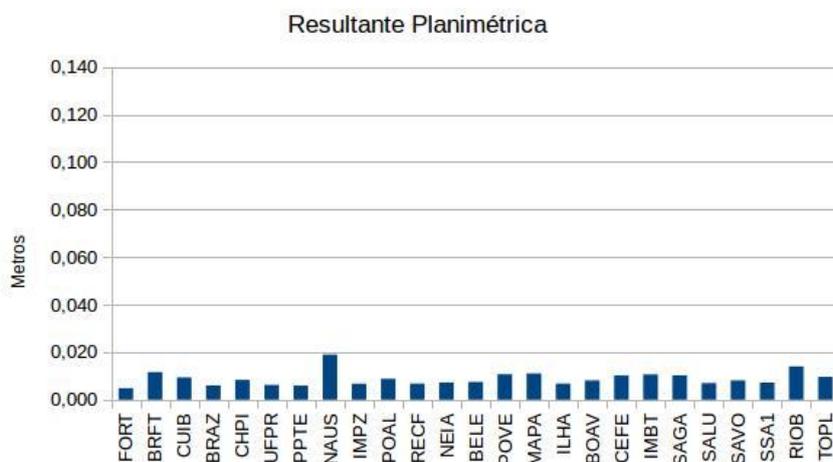


Figura 5 - Resultantes planimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE atualizadas e transformadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0).

Para as resultantes planimétricas apresentadas na Figura 5, verificou-se uma discrepância média de 0,009m, variando de 0,005m na estação FORT a 0,019m na estação NAUS.

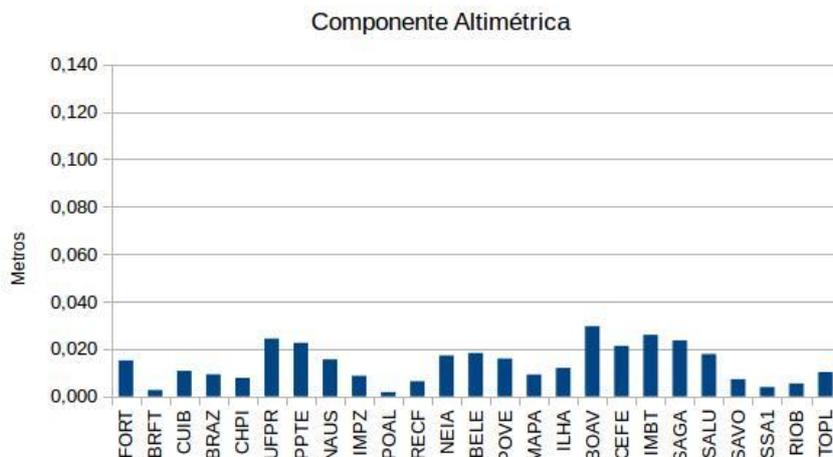


Figura 6 - Componentes altimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE atualizadas e transformadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0).

Para as componentes altimétricas apresentadas na Figura 6, verificou-se uma discrepância média de 0,014m, variando de 0,002m na estação POAL a 0,030m na estação BOAV.

Com o objetivo de auxiliar nas análises dos resultados apresentados nas Figuras 5 e 6, a Figura 7 apresenta um resumo destes através de dois histogramas referente às resultantes planimétricas e componentes altimétricas das discrepâncias, resultantes da comparação entre as coordenadas das estações do IBGE atualizadas e transformadas para **ITRF2014 (época 2010,0)** e as de referência em **ITRF2014 (época 2010,0)**.

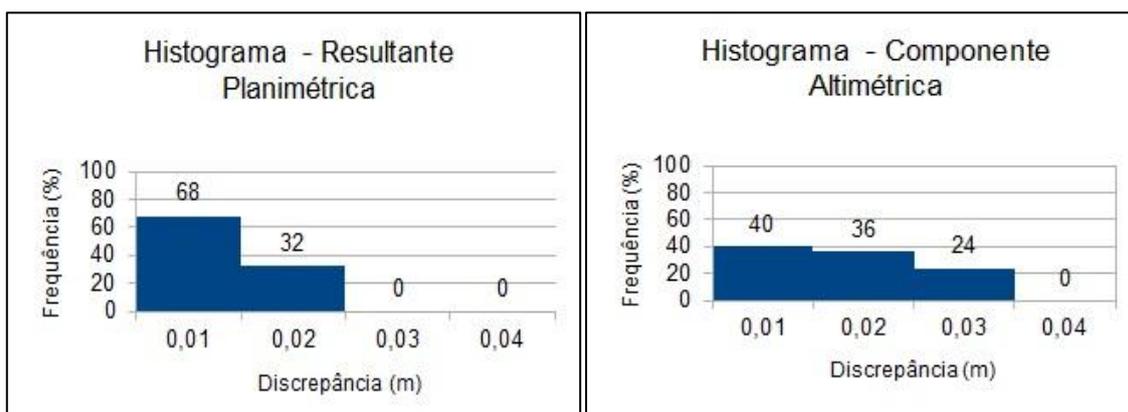


Figura 7 – Histograma das resultantes planimétricas e componentes altimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE atualizadas e transformadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0).

Percebe-se, pela Figura 7, que através do histograma de frequências das resultantes planimétricas, 68% dos resultados obtidos apresentam discrepância na ordem de milímetros. Já para as componentes altimétricas, apenas 40% dos resultados apresentam discrepância com valores abaixo de 0,010m e ainda, em ambos, não foi obtido nenhum valor acima de 0,030m.

4 CONCLUSÕES

A atualização e transformação de coordenadas são realizadas em função da necessidade de compatibilização entre sistemas e épocas de referência das coordenadas. Caso não seja considerado este efeito de deslocamento de placas tectônicas, bem como a mudança de referencial no posicionamento geodésico, os resultados podem ser precisos, porém não acurados. Isso pôde ser observado quando foram comparadas as coordenadas em ITRF2000 (época 2000,4) com as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0).

Em relação às resultantes planimétricas das discrepâncias entre as coordenadas do IBGE em SIRGAS2000 (época 2000,4) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0), a discrepância média obtida foi 0,129m variando de 0,113m a 0,141m. Para as componentes altimétricas, discrepância média obtida foi 0,013m variando de 0,001m a 0,042m.

Destaca-se neste trabalho que ao comparar as coordenadas das estações do IBGE atualizadas e transformadas para ITRF2014 (época 2010,0) e as coordenadas de referência em ITRF2014 (época 2010,0), 68% das resultantes planimétricas apresentaram discrepância menor que 0,010m, e em 76% das componentes altimétricas os resultados apresentaram discrepância com valores abaixo de 0,020m.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa teve o incentivo da Universidade Federal de Viçosa através do Departamento de Engenharia Civil, curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil que disponibilizou seus equipamentos, instalações e aplicativos computacionais.

Ao apoio financeiro que foi dado pela CAPES através do consentimento da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. **Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?** Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 22, núm. 1, enero-marzo, 2016, pp. 175-195 Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2016.

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**, J. Geophys. Res., 112, B09401, doi:10.1029/2007JB004949. 2007.

ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. **Analysis and results of ITRF2008**. (IERS Technical Note ; 37) Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 54 pp., ISBN 978-3-86482-046-5 (print version), 2012.

ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. **ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame**. J Geod (2011) 85.457-473. DOI 10.1007/s0011-0444-4. 2011.

BOWRING, B.R. **Transformation from spatial to geographical coordinates**. Survey Review, XXIII, 181, July, 1976.

CARVALHO, A., S.; DAL POZ, W., R. **Posicionamento geodésico referenciado ao SIRGAS2000 (ITRF2000) com base em serviços e ferramentas gratuitas disponíveis na internet**. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 12- 14 de Nov de 2014.

FERNANDES, V. O.; NOGUEIRA, R. E. **Consequências da mudança de datum na representação cartográfica direcionada para ambiente SIG**. Portal de Cartografia das Geociências, v. 3, n. 1, 2010.

ITRF (2016a). **International Terrestrial Reference Frame**. Disponível em: < http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/ >. Acesso em: 27/05/2016.

ITRF (2016b). **International Terrestrial Reference Frame**. Disponível em: < http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt >. Acesso em: 27/05/2016.

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

PETIT, G; LUZUM, B. (IERS Technical Note ; 36) **Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie**, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6. Disponível em< http://www.iers.org/nn_11216/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn36.html>. Acesso em: 27/05/2016.

REBISCHUNG, P.; ALTAMIMI, Z.; RAY, J.; GARAYT, B. **The IGS Contribution to ITRF2014**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

SIRGAS (2016). **Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas**, 2014. Disponível em: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=15>>. Acesso em: 27/05/2016.

SOUZA, E. M. **Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

TORGE, W. **Geodesy**. 3rd completely ver. And extended ed. Berlin; New York: de Gruyter, 2001.