

## **Deslocamento das posições obtidas via PPP – IBGE causado por alterações nos parâmetros de transformação entre IGB08 e SIRGAS2000**

**Displacement of the positions obtained with the PPP – IBGE caused by changes in transformation parameters between IGB08 and SIRGAS2000**

**Desplazamiento de posiciones obtenidas mediante PPP – IBGE por cambio en los parámetros de transformación entre IGB08 y SIRGAS2000**

Recebido: 10/03/2022 | Revisado: 17/03/2022 | Aceito: 02/04/2022 | Publicado: 09/04/2022

**Thiago Statella**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8656-9147>  
Instituto Federal do Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [t.statella@gmail.com](mailto:t.statella@gmail.com)

**Patrícia Regina da Silva Gonçalves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7140-3753>  
Instituto Federal do Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [pat.zaradam@gmail.com](mailto:pat.zaradam@gmail.com)

### **Resumo**

Neste trabalho investigou-se o impacto que a alteração nos parâmetros de transformação entre IGB08 e SIRGAS2000 podem causar nas coordenadas processadas pelo serviço PPP-IBGE antes de 17/05/2020, data em que IBGE adotou a modificação. Os parâmetros aplicados até a referente data consideravam 3 translações, 1 fator de escala e 3 rotações entre os dois sistemas de referência geodésicos. Os parâmetros adotados posteriormente a 17/05/2020, além de trazerem translações ligeiramente diferentes, consideram as rotações como nulas, isto é, adotam que os dois sistemas são paralelos. Para demonstração, foram adotadas posições processadas via PPP-IBGE em 2016, antes das mudanças nos parâmetros. Foram comparadas as coordenadas convertidas de IGB08 para SIRGAS2000 utilizando-se os dois conjuntos de parâmetros, e o deslocamento obtido foi de ~ 3 cm, dentro do esperado, segundo o IBGE. Portanto, para a maioria das atividades práticas, a depender da precisão exigida, as alterações podem ser negligenciadas.

**Palavras-chave:** ITRF; IGB08; Transformação de Helmert; Posicionamento por ponto preciso.

### **Abstract**

In this work we have investigated the displacement in coordinates processed by the PPP-IBGE before 17/05/2020, when the IBGE adopted new transformation parameters between IGB08 and SIRGAS2000. The parameters Applied until the former date considered 3 translations, 1 scale fator and 3 rotations between both geodetic reference systems. The parameters adopted after 15/05/2020 not only show slightly differences in translations but also adopted null rotations, that is, both systems were considered to be parallel. For demonstration purpose, we used data processed by the PPP-IBGE in 2016, before the change in parameters. The coordinates converted from IGB08 to SIRGAS2000 using both set of parameters were calculated and compared, and the resulting displacement was ~ 3 cm, as expected by the IBGE. Therefore, in all those cases in which the precision has not to be better than 3 cm the change in parameters can be neglected.

**Keywords:** ITRF; IGB08; Helmert transform; Precise point positioning.

### **Resumen**

Este trabajo investigó el impacto que el cambio en los parámetros de transformación entre IGB08 y SIRGAS2000 puede causar en las coordenadas procesadas por el servicio PPP-IBGE antes del 17/05/2020, fecha en que el IBGE adoptó la modificación. Los parámetros aplicados hasta la fecha consideraron 3 traslaciones, 1 factor de escala y 3 rotaciones entre los dos sistemas de referencia geodésica. Los parámetros adoptados después del 17/05/2020, además de traer traslaciones ligeramente diferentes, consideran las rotaciones como nulas, es decir, asumen que los dos sistemas son paralelos. Para fines de demostración, las posiciones procesadas vía PPP-IBGE fueron adoptadas en 2016, antes de los cambios en los parámetros. Las coordenadas convertidas de IGB08 para SIRGAS2000 fueron comparadas utilizando los dos conjuntos de parámetros, y el desplazamiento obtenido fue de ~ 3 cm, dentro de lo esperado, según el IBGE. Por lo tanto, para la mayoría de las actividades prácticas, dependiendo de la precisión requerida, los cambios pueden despreciarse.

**Palabras clave:** ITRF; IGB08; Transformación de Helmert; Posicionamiento preciso de puntos.

## 1. Introdução

O método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) passou a ser difundido no Brasil a partir do momento em que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) passou a disponibilizar esse serviço online e gratuito. Este método consiste na realização do pós-processamento de um determinado vértice rastreado por GNSS (Global Navigation Satellite Systems), e o resultado determina a posição do marco rastreado de forma absoluta, sem a necessidade de uma rede de referência.

O PPP é um método de posicionamento absoluto, em que as coordenadas da estação são estimadas no sistema de referência adotado para os satélites, na época do rastreo. Portanto, após estimadas as coordenadas, faz-se necessário que elas sejam transformadas para o SIRGAS2000 (sistema oficial brasileiro) e reduzidas à época 2000,4 a fim de que sejam compatíveis com o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

As posições estimadas pelo IBGE-PPP usam como referencial o ITRF (Internacional Terrestrial Reference Frame) (Costa, 1999), que é a materialização do ITRS (Internacional Terrestrial Reference System), sistema de referência espacial que acompanha o movimento da terra e possui várias outras características objetivando precisão em levantamentos geocêntricos. Fazem parte do ITRF as estações do IGS (International GNSS Service), que possuem várias realizações, denominadas "IGS", que servem de referência para o posicionamento absoluto. A depender da data de levantamento, o usuário terá suas coordenadas finais no sistema adotado pelo IGS no momento. Estas coordenadas precisam ser transformadas para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). O IBGE-PPP realiza essas transformações de forma automática para o SIRGAS2000 (época 2000,4), de maneira que as coordenadas processadas sejam compatíveis com o SGB (Dalazoana, 2001; Dalazoana & Freitas, 2002).

Para processar os dados, o IBGE faz uso do programa GPS Precise Point Positioning (CSRS-PPP) desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN). Atualmente, o sistema de referência adotado é o IGB14 (ITRF2014/IGS2014). A partir de 17/05/2020 o IBGE passou a adotar novos parâmetros de conversão entre o SIRGAS2000 e ITRF (IGB00, IGS05, IGS08, IGB08, IGS14 e IGB14). Portanto, este trabalho tem por objetivo analisar quantitativamente (Pereira et al., 2018) as diferenças nas coordenadas do PPP ao se utilizarem diferentes parâmetros de transformação adotados pelo IBGE (antes e depois de 17/05/2020) entre os sistemas IGS e SIRGAS2000. Como estudo de caso, escolheu-se o marco SAT-99615 (do SGB), materializado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT, Campus Bela Vista. O rastreo ocorreu em abril de 2016 (no sistema de referência IGB08, com parâmetros anteriores aos estabelecidos em 17/05/2020), e a homologação pelo IBGE se deu em junho do mesmo ano (Oliveira & Statella, 2017).

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Sistemas de referência geodésicos

Um sistema de referência geodésico serve como origem para todas as posições estabelecidas para as estações que o compõem (Rapp, 1991a & 1991b). Os sistemas envolvidos neste artigo são geocêntricos, isto é, o centro geométrico do elipsoide adotado para representação da Terra (elipsoide de revolução) coincide com o centro de massa do planeta. Idealmente, o referencial deve ser inercial, ou quase-inercial (Monico, 2008; Seeber, 2003; Torge, 2001; Drewes et al., 1999; Bomford, 1971). Quando um referencial é definido e adotado por convenção, a etapa seguinte é caracterizada pela coleta de observações a partir de pontos sobre a superfície terrestre, devidamente materializados. Fazem parte, ainda, o processamento e análise, bem como a divulgação dos resultados, essencialmente, um conjunto de coordenadas associadas a uma época particular.

O sistema de referência oficial brasileiro é o SIRGAS2000 (em sua materialização à época 2000,4). O SIRGAS2000 é uma densificação do ITRF2000, que, por sua vez, materializa o CTRS (Conventional Terrestrial Reference System). A realização de um CTRS deve, de preferência, ser especificada em coordenadas cartesianas X, Y e Z. O eixo Z aponta na direção do CTP (Conventional Terrestrial Pole), o eixo X aponta na direção média do meridiano de Greenwich e o eixo Y é definido de modo a tornar o sistema dextrogiro. Se for necessário calcular latitudes e longitudes, o elipsoide definido pelo GRS80, Geodetic

Reference System 1980 (Lu & Qu, 2014; Gemael, 1999; Krakiwsky & Wells, 1971), deve ser adotado.

## 2.2 Transformação entre referenciais geodésicos

As coordenadas disponibilizadas no cálculo do IBGE-PPP estão nos sistemas de referência ITRF e SIRGAS2000, sendo ambos materializados através de suas redes de referência próprias. Entretanto, as soluções fornecidas pelo IBGE-PPP independem de soluções de redes e, portanto, fornecem soluções absolutas e independentes dessas materializações. Como as coordenadas determinadas pelo PPP estão originalmente em ITRF, é necessário transformá-las em SIRGAS2000, época 2000,4 através de parâmetros de transformação, que podem variar em função da data do levantamento (IBGE, 2022).

Para a compatibilização entre sistemas de referência geodésicos pode-se utilizar a transformação de Helmert com 7 parâmetros (três translações, três rotações e um fator de escala), conforme a Equação 1 (Sapucci & Monico, 2001; Vanicek & Krakiwsky, 1986). Note que as coordenadas são dadas no sistema cartesiano (Jekeli, 2006; Maling, 1922; Krakiwsky & Thomson, 1974).

$$\vec{X}_{ITRF-zz} = \vec{T}_x + (1 + s) \cdot (\varepsilon + I) \cdot \vec{X}_{ITRF-yy}. \quad (1)$$

Em que:

$\vec{T}_x$  é o vetor das coordenadas da origem da rede ITRF-yy na rede ITRF-zz na época  $t_0$ , ou seja, os parâmetros de translação;

$s$  é o fator diferencial de escala expresso em ppm ( $10^{-6}$ ) na época  $t_0$ ;

$\varepsilon$  é uma matriz de rotações diferenciais  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  e  $\varepsilon_z$  em radianos, em torno dos eixos X, Y, e Z, respectivamente, da rede ITRF-yy, para estabelecer paralelismo com a rede ITRF-zz na época  $t_0$ ;

$I$  é a matriz identidade.

Note-se que a equação (1) não considera a variação temporal das coordenadas. Quando este for o caso, deve-se adotar a transformação generalizada de Helmert.

## 2.3 Métodos de posicionamento por satélite

Existem vários métodos de posicionamento por GNSS (Global Navigation Satellite System), como por exemplo: relativo estático, estático rápido, semi-cinemático, cinemático e por ponto (absoluto). As coordenadas investigadas neste artigo foram levantadas pelo método absoluto de levantamento. Neste método, as coordenadas da estação são obtidas no sistema de coordenadas dos satélites e na época do levantamento. As posições em tempo real são obtidas pelas efemérides transmitidas em WGS84. Uma alternativa, é fazer o pós-processamento dos dados com efemérides precisas, fornecidas pelo IGS. Neste caso, o método é o de Posicionamento por Ponto Preciso.

### 2.3.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

O serviço PPP é disponibilizado online e gratuitamente pelo IBGE. As coordenadas da estação rastreada são convertidas para o SIRGAS2000 e reduzidas à época 2000,4 de forma automática.

A principal característica do PPP é a adoção de efemérides precisas para estimativa das coordenadas da estação (além de correções aos relógios dos satélites, modelos e mapas globais de ionosfera e modelos de correção do centro de fase de antenas). Estas efemérides estão associadas ao referencial adotado à época do levantamento pelo IGS, e são fornecidas em três precisões, conforme a Tabela 1. Uma vez que as efemérides são pós-processadas, existe uma latência na sua disponibilidade. Como se

percebe, pela Tabela 1, se o usuário quiser adotar o produto de maior precisão (órbitas finais) ele terá que esperar, no mínimo, 11 dias.

**Tabela 1** – Precisão e disponibilidade das efemérides IGS.

| Órbita       | Tempo após rastreamento | Precisão |
|--------------|-------------------------|----------|
| Ultrarrápida | 01:30 h – 02:30 h       | ± 15 cm  |
| Rápida       | 12:00 h – 36:00 h       | ± 5 cm   |
| Final        | 11 – 17 dias            | ± 2 cm   |

Fonte: Autores.

Atualmente, a realização adotada pelo IGS é a IGB14, ou seja, devido a diferença de referenciais e épocas das coordenadas, faz-se necessário a realização de transformações para que as coordenadas sejam projetadas para o mesmo referencial e mesma época. A seguir, na Tabela 2, apresentam-se as soluções IGS utilizadas no PPP-IBGE.

**Tabela 2** – Soluções IGS para diferentes épocas.

| Data do rastreamento GNSS | Realização IGS |
|---------------------------|----------------|
| 25/01/2005 – 04/11/2006   | IGb00          |
| 05/11/2006 – 16/04/2011   | IGS05          |
| 17/04/2011 – 06/10/2012   | IGS08          |
| 07/10/2012 – 28/01/2017   | IGb08          |
| 29/01/2017 – 16/05/2020   | IGS14          |
| 17/05/2020 - presente     | IGb14          |

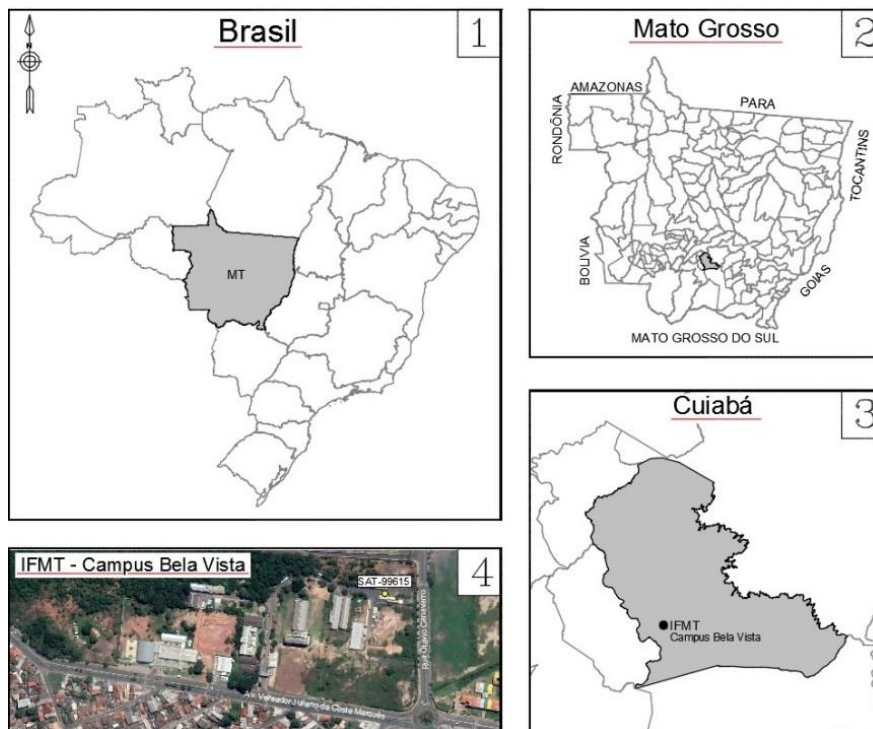
Fonte: Autores.

### 3. Materiais e Método

#### 3.1 Localização da estação SAT-99615

Como estudo de caso, adotou-se a estação SAT-99615, implantada no campus Bela Vista do IFMT, e homologada pelo IBGE em 2016 (Oliveira & Statella, 2017). A Figura 1 mostra o mapa de localização da referida estação.

**Figura 1** - Localização da Área de Estudo.



Data: Maio/2021 Sistema de Coordenadas: UTM  
Datum: Sirgas2000 Fonte dos Dados: IBGE

Fonte: Autores.

Na Figura 2 é apresenta-se parte do Relatório de Estação Geodésica IBGE, com informações complementares e pertinentes à materialização.

**Figura 2** - Relatório de Estação Geodésica IBGE.

| Localização   |  |
|---|--|
| No Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Bela Vista, Cuiabá-MT, Avenida Vereador Juliano da Costa Marques s/nº, Bairro Bela Vista-CEP 78050-560. No canteiro de divisa do pátio do estacionamento. |  |
| Descrição   |  |
| Marco piramidal de concreto medindo 0,18 cm x 0,18 cm de topo, aflorando 0,20 cm de uma base quadrangular de 0,50 cm x 0,50 cm, possui uma base proteção adicional e uma chapa no topo com a inscrição IFMT SAT CW7-F9N                 |  |
| Observação  |  |
| Homologação marco Geodésico   |  |
| Foto(s)   |  |

Fonte: <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg>.

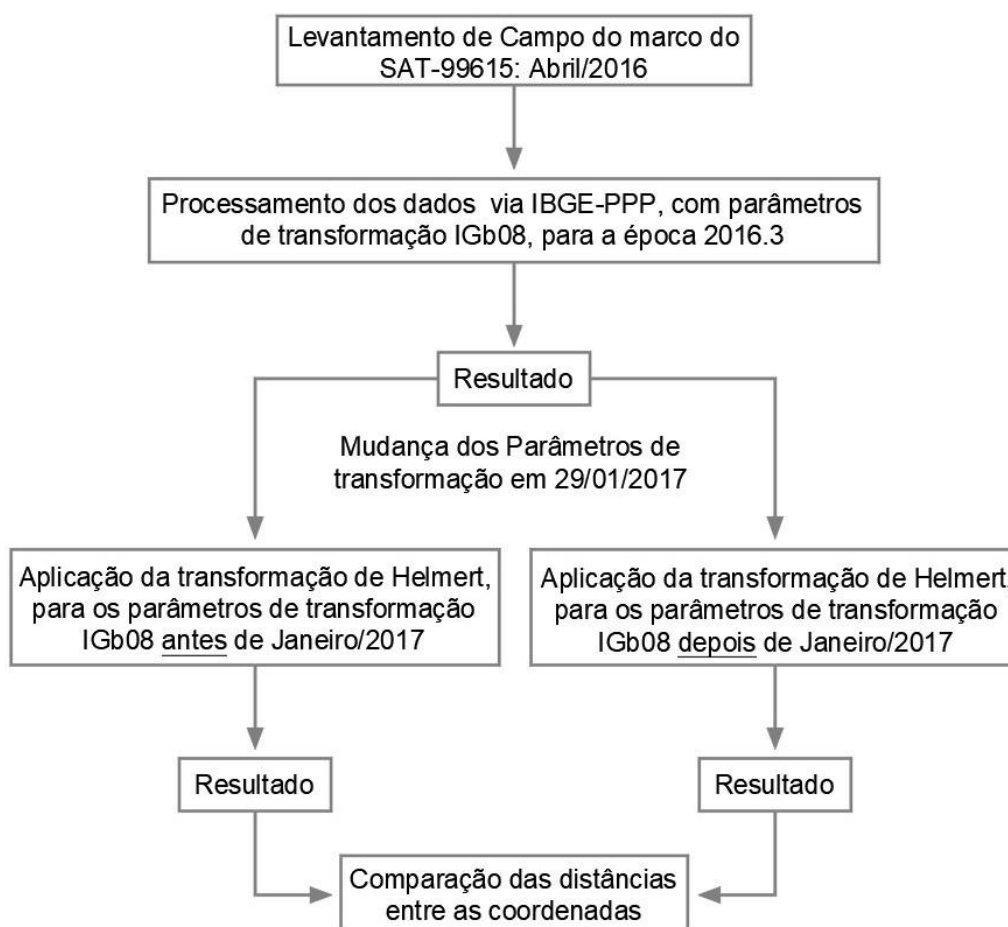
### 3.2 Materiais

Foram utilizados os dados dos rastreios do SAT- 99615, realizados em abril de 2016, com o receptor GNSS Hiper II, marca Topcon, de dupla frequência, além dos relatórios de PPP feitos à época, antes da alteração dos parâmetros de transformação entre SIRGAS2000 e IGS.

### 3.3 Método

Exibe-se, na Figura 3, um fluxograma com a metodologia utilizada, desde o levantamento dos dados de campo até comparação dos resultados.

**Figura 3** – Fluxograma que ilustra a metodologia empregada.



Fonte: Autores.

## 4. Resultados e Discussão

Para realização dos cálculos foram utilizadas as coordenadas cartesianas ITRF (IGb08) disponíveis no relatório de processamento (.SUM) inicial gerado pelo IBGE-PPP do marco SAT- 99615, ou seja, abril de 2016, como apresentado na Tabela 3:

**Tabela 3** – Coordenadas Cartesianas do SAT-99615 em 05/2016 em IGB08, época 2016,3.

| X (m)          | Y (m)           | Z (m)           |
|----------------|-----------------|-----------------|
| 3.431.204,9534 | -5.098.431,3726 | -1.701.992,0140 |

Fonte: Autores.

Estas coordenadas estão em IGB08 (época 2016,3) e precisam ser transformadas para SIRGAS2000 (época 2016,3). A transformação entre ITRF e SIRGAS2000 adotada pelo IBGE desde 17/05/2020 considera 4 parâmetros: três translações e uma escala. Estes parâmetros, exibidos na Tabela 4, foram estimados a partir de observações feitas em estações GNSS que fizeram parte das realizações dos dois sistemas, ITRF e SIRGAS2000.

**Tabela 4** – Parâmetros de Transformação adotados a partir de 17/05/2020.

| Parâmetros de Transformação entre sistema de referência<br>ITRF (IGb08) > SIRGAS2000 na época 2016,3 |        |        |              |                |    |    |
|--|--------|--------|--------------|----------------|----|----|
| Translações (cm)   |        |        | Escala (ppb) | Rotações (mas) |    |    |
| Tx   | Ty     | Tz     | S            | Rx             | Ry | Rz |
| -0,340   | -0,540 | -0,880 | 1,570        | 0              | 0  | 0  |

Fonte: Autores.

Os valores apresentados na Tabela 4 foram modificados a partir de 17/05/2020. Em processamentos anteriores a esta data, os parâmetros incluíam, além de translações e escala, rotações nos eixos X, Y e Z (atualmente consideradas nulas), conforme apresenta-se na Tabela 5. Ao se compararem os dois conjuntos de parâmetros, percebe-se que, atualmente, os dois sistemas de referência são considerados paralelos entre si, além de terem sofrido pequenas alterações no vetor de translação.

De acordo com o IBGE, esta alteração foi necessária para reduzir os impactos causados pelas mudanças dos referenciais ocorridas ao longo do tempo. Com isso, a estimativa dos parâmetros que relacionam as realizações dos ITRF ao SIRGAS2000 se tornou mais homogênea.

**Tabela 5** – Parâmetros de Transformação anteriores a 17/05/2020.

| Parâmetros de Transformação entre sistema de referência<br>ITRF (IGb08) > SIRGAS2000 na época 2016,3 |       |       |              |                |        |       |
|--|-------|-------|--------------|----------------|--------|-------|
| Translações (cm)   |       |       | Escala (ppb) | Rotações (mas) |        |       |
| Tx   | Ty    | Tz    | S            | Rx             | Ry     | Rz    |
| 0,200  | 0,410 | 0,390 | -1,000       | 0,170          | -0,030 | 0,070 |

Fonte: Autores.

Os dois conjuntos de parâmetros, aqui descritos como Conjunto 1 (anteriores a 17/05/2020) e Conjunto 2 (posteriores a 17/05/2020) foram aplicados para a conversão das coordenadas da estação de IGB08 para SIRGAS2000 (épocas 2016,3). As equações 2 e 3 exibem a transformação de Helmert e os conjuntos (1 e 2) de parâmetros empregados nos cálculos.

$$\vec{X}_{ITRF-zz} = \begin{bmatrix} 0,002 \\ 0,004 \\ 0,004 \end{bmatrix} + (1 - 10^{-9}) \cdot \left( \begin{bmatrix} 8,24 & 0 & 0 \\ 0 & -1.45 & 0 \\ 0 & 0 & 3.39 \end{bmatrix} \cdot 10^{-10} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \vec{X}_{ITRF-yy} \quad (2)$$

$$\vec{X}_{ITRF-zz} = \begin{bmatrix} -0,003 \\ -0,005 \\ -0,009 \end{bmatrix} + (1 - 2 \cdot 10^{-9}) \left( \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \vec{X}_{ITRF-yy} \quad (3)$$

Após a aplicação da transformação de Helmert, foram calculadas as discrepâncias entre os valores resultantes das coordenadas do Conjunto 1 e do Conjunto 2, como apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6** – Resultados Transformação de Helmert e cálculo das discrepâncias.

| Coordenadas       | X [m]                   | Y [m]                  | Z [m]                  |
|-------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Conjunto 1</b> | 3.431.204,9743          | -5.098.431,3437        | -1.701.992,0106        |
| <b>Conjunto 2</b> | 3.431.204,9749          | -5.098.431,3670        | -1.701.992,0271        |
| $\Delta(x, y, z)$ | $-5,9026 \cdot 10^{-4}$ | $2,3345 \cdot 10^{-2}$ | $1,6497 \cdot 10^{-2}$ |

Fonte: Autores.

A discrepância resultante foi calculada a partir da equação 4:

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} = \sim 0,03 \text{ m} \quad (4)$$

Segundo o IBGE, os deslocamentos nas coordenadas, causados pela adoção de novos parâmetros de transformação, podem variar até 2 cm na componente planimétrica, e 3 cm na componente vertical, resultando em ~4 cm de deslocamento total esperado.

De acordo com o resultado da equação 4, no presente caso, o deslocamento resultante (3 cm) foi menor que o máximo esperado pelo IBGE. Para a maioria das atividades de levantamento, esta distorção pode ser considerada desprezível. Entretanto, nos levantamentos de alta precisão, como no monitoramento de deformações, por exemplo, o deslocamento não pode ser negligenciado. Nestes casos, os arquivos devem ser reprocessados pelo IBGE.

O posicionamento pelo PPP realizado neste estudo de caso utilizou as efemérides rápidas, com precisão de  $\pm 5$  cm. Com a finalidade de averiguar a melhoria no cálculo das posições, também se realizou o PPP com efemérides finais, com  $\pm 2$  cm de precisão. A discrepância entre o PPP com efemérides rápidas e finais foi de  $\sim 3$  cm, o que condiz com a diferença de precisão entre as efemérides precisas.

Por fim, com o intuito de se demonstrar a necessidade de se fazer a redução das posições à época 2000,4, calculou-se o deslocamento entre as posições em SIRGAS2000, época 2016,3 e SIRGAS2000, época 2000,4. A resultante do deslocamento



foi de ~ 20 cm, ou ~1,25 cm/ano. O IBGE adota, como padrão, informar as posições nas duas épocas: do levantamento e do SIRGAS2000. Entretanto, ao se utilizar outros serviços PPP disponíveis, essa redução ficará a cargo do usuário, e deverá levar em conta as velocidades das estações envolvidas, bem como o modelo generalizado de Helmert.

#### 4. Conclusão

Conforme os resultados apresentados, o deslocamento causado pela alteração dos parâmetros de transformação entre IGB08 e SIRGAS2000 foi de ~3 cm. Tal distorção fica dentro do esperado pelo IBGE, que cita um deslocamento de ~ 2 cm na componente horizontal e ~3 cm na componente vertical. A depender da finalidade do levantamento, este erro pode ser negligenciável. Caso contrário, os dados devem ser novamente enviados para processamento no IBGE-PPP.

Ainda, fica evidente a necessidade de se proceder à redução das coordenadas para a época de materialização do SIRGAS2000, ou seja, 2000,4. Ao não se considerar as velocidades das estações, os erros sistemáticos serão significativos a ponto de inviabilizar a aderência da estação rastreada ao Sistema Geodésico Brasileiro.

#### Referências

- Bomford, G. (1971). *Geodesy*. Oxford.
- Costa, S. M. A. (1999). *Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres*. Tese de Doutorado. CPGCG – UFPR.
- Dalazoana, R. (2001). *Implicações na cartografia com a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e futura adoção do SIRGAS*. Dissertação de Mestrado. CPGCG – UFPR.
- Dalazoana, R. & Freitas, S. R. C. (2002). Efeitos na cartografia devido à evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e adoção de um referencial geocêntrico. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2 (4), 66-76.
- Drewes, H.; Dodson, A.; Fortes, L. P. S.; Sánche, L. & Sandoval, P. (1999). *Vertical reference systems*, IAG Series 124. Springer.
- Gemael, C. (1999). *Geodésia física*. UFPR.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). IBGE-PPP: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>.
- Jekeli, C. (2006). *Geometric Reference Systems in Geodesy*. The Ohio State University.
- Krakiwsky, E. J. & Wells, D. E. (1971). *Coordinate Systems in Geodesy*. University of Brunswick.
- Krakiwsky, E. J. & Thomson, D. B. (1974). *Geodetic position computations*. University of Brunswick.
- Lu, Z. & Qu. Y. (2014). *Geodesy: introduction to Geodetic datum and Geodetic Systems*. Springer-Verlag.
- Maling, D. H. (1992). *Coordinate Systems and Map Projections*. Oxford.
- Monico, J. F. G. (2008). *Posicionamento pelo GNSS, descrição, fundamentos e aplicações*, 2° Ed. Unesp.
- Oliveira, A. P. & Statella, T. (2017). Implantação de estação planimétrica geodésica nas dependências do campus Bela Vista do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT). *Revista Brasileira de Geomática*, 5 (4), 543-560.
- Pereira A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*.
- Rapp, R. H. (1991a). *Geometric Geodesy, Part 1*. The Ohio State University.
- Rapp, R. H. (1991b). *Geometric Geodesy, Part 2*. The Ohio State University.
- Sapucci, L.F. & Monico, J. F. G. (2001). Transformação de Helmert Generalizada no Posicionamento de Alta Precisão: Fundamentação Teórica e Exemplicações. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18 (12), 161-172.
- Seeber, G. (2003). *Satellite geodesy: foundations, methods and applications*. Walter de Gruyter.
- Torge, W. (2001). *Geodesy*. Walter de Gruyter.
- Vanicek, P. & Krakiwsky, E. J. (1986). *Geodesy: the concepts*. Elsevier.