

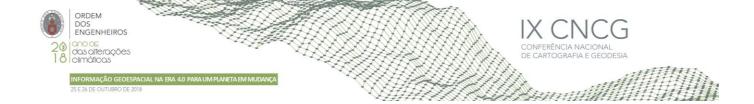
Implantação de Estrutura Geodésica para Apoio Topográfico no Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora

Raissa FERREIRA¹, *Alessandro CARVALHO²

1.2 Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (Brasil) (raissa.cruz@engenharia.ufjf.br; alessandro.carvalho@ufjf.edu.br)

Palavras-chave: GNSS, Sistema de referência, Posicionamento, Redução de coordenadas

Resumo: A tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) associada a diferentes técnicas de posicionamento, *softwares* e serviços de pós-processamento tem sido utilizada na obtenção de coordenadas geodésicas de pontos de apoio para execução de levantamentos georreferenciados. O objetivo deste estudo foi implantar 30 pontos geodésicos na UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora - Campus Juiz de Fora) e determinar suas coordenadas no referencial SIRGAS2000 (época 2000,4) com uso do serviço *online* IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) e de cinco diferentes tempos de coleta dos dados GNSS. A coleta dos dados nos pontos foi realizada com uso de receptores GNSS (L1/L2) por um período aproximado de 5 horas. Arquivos de sessão de observação de 1h, 2h, 3h, 4h e 5h foram gerados e enviados para processamento no IBGE-PPP para obtenção das coordenadas nos referenciais ITRF(IGS14) e SIRGAS2000 na época 2000,4. Para exemplificar os procedimentos adotados para mudança de referencial, redução das coordenadas e possibilitar o uso de diferentes serviços de posicionamento, *scripts* em linguagem computacional GNU Octave foram desenvolvidos. As coordenadas geodésicas obtidas no processamento dos dados coletados por 5h foram tomadas como referência para o cálculo das discrepâncias planimétricas e altimétricas. O aumento na duração da sessão de observação de 1h para 4h proporcionou melhora de 0,080 m e de 0,082 m nos valores dos EQM para planimetria e altimetria, respectivamente.



1.Introdução

A determinação de coordenadas geodésicas de pontos em um referencial global, como o empregado para o cálculo das efemérides precisas IGS (International GNSS Service), tem sido realizada com uso de diferentes serviços *online* de processamento de dados do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (Ozulu *et al.*, 2018), (Oclan *et al.*, 2013), (Jamieson *et al.*, 2018). Há serviços que possibilitam o posicionamento relativo ou por ponto preciso (PPP), tais como o OPUS-S (*Online Positioning User Service – Static*), AUSPOS *Online GPS Processing Service*, TrimbleRTX (Trimble Real Time eXtended), GAPS (GNSS Analysis and Positioning Software), APPS: Automatic Precise Positioning Service, *Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning* (CSRS-PPP) e o IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso).

Por possibilitar alcançar acurácia posicional ao nível do centímetro ou melhor, o PPP tem-se mostrado um importante método de posicionamento para aplicações geodésicas, geodinâmica, monitoramento de estruturas, deformação da crosta, levantamentos cadastrais e determinação de pontos de apoio para levantamentos topográficos georreferenciados (Alves, *et al.*, 2011).

Desde 29 de janeiro de 2017 o IGS emprega o sistema de referência IGS14 para alinhar seus produtos (efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites) ao ITRF2014 (Rebischung *et al.*, 2017). No Brasil, o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) em sua realização do ano 2000 (SIRGAS2000) passou a ser adotado em 25 de fevereiro de 2005 para determinação das coordenadas na época 2000,4 (IBGE, 2017).

As coordenadas provenientes dos serviços PPP *online* estão atreladas ao referencial das efemérides precisas e associadas à época da coleta dos dados. Desse modo, torna-se necessário aplicar a transformação de Helmert para mudar o referencial das coordenadas do ITRF2014 para SIRGAS2000 bem como reduzi-las da época da coleta dos dados para à época 2000,4. Caso as velocidades das estações não sejam conhecidas, recomenda-se, na área de abrangência do SIRGAS, o emprego do VEMOS (*Velocity Model for SIRGAS*) para determinação dessas velocidades (Drewes e Heidbach, 2012), (SIRGAS, 2018).

O objetivo deste estudo foi implantar 30 pontos geodésicos na UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora - Campus Juiz de Fora) e determinar suas coordenadas geodésicas no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) SIRGAS2000 (época 2000,4) com uso do serviço *online* IBGE-PPP para processameto dos dados GNSS coletados com sessões de observação de 1h, 2h, 3h, 4h e 5h bem como avaliar as discrepâncias posicionais planimétricas e altimétricas (altitude elipsoidal) de cada uma destas sessões em relação às sessões de 5h. Para essas comparações, as coordenadas calculadas com sessões de observação de 5h foram tomadas como referência para o cálculo das discrepâncias pois não existem até o momento coordenadas mais precisas para estes pontos.

2. Mudança de referencial geodésico e redução das coordenadas

O ITRF (International Terrestrial Reference Frame) é a realização do sistema definido ITRS (International Terrestrial Reference System); a primeira materialização do sistema foi denominada de ITRF88 e a mais recente de ITRF2014 (Petit e Luzum, 2010), (ITRF, 2018). O SIRGAS foi criado em 1993 durante a conferência internacional para a definição do Sistema de Referência Geocêntrico Sul Americano, realizado em Assunção, Paraguai (SIRGAS, 2018). É um sistema de referência definido de forma idêntica ao ITRS e sua realização é uma densificação regional da rede de referência global ITRF na América do Sul (Fortes, 2000), (Sánchez et al., 2013).

A primeira realização do SIRGAS (SIRGAS 95) corresponde a densificação do ITRF94, época 1995,4, na qual foram utilizadas observações GPS de 58 estações distribuídas na América do Sul. Essa rede foi reocupada no ano 2000 estendendo-se aos países do Caribe e das Américas Central e do Norte, culminando na segunda realização do SIRGAS (SIRGAS2000) na qual utilizados dados de 184 estações GPS correspondendo a densificação ITRF2000, na época 2000,4 (Fortes, 2000) (Sánchez *et al.*, 2013). A terceira e atual realização do SIRGAS é obtida por meio de um rede ativa GNSS na América Latina a qual é denominada de SIRGAS-CON (Rede SIRGAS de Operação Contínua) (SIRGAS, 2018).

A mudança de referencial das coordenadas obtidas no PPP no ITRF(IGS14) e na época da coleta dos dados para o referencial SIRGAS2000 dotado no Brasil pode ser realizada por meio de uma transformação de 7 parâmetros (IBGE, 2017), (ITRF, 2018):

$$\begin{bmatrix}
Xd \\
Yd \\
Zd
\end{bmatrix}_{(t)} = \begin{bmatrix}
Xo \\
Yo \\
Zo
\end{bmatrix}_{(t)} + \begin{bmatrix}
Tx \\
Ty \\
Tz
\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}
D & -Rz & Ry \\
Rz & D & -Rx \\
-Ry & Rx & D
\end{bmatrix}_{(t)} \begin{bmatrix}
Xo \\
Yo \\
Zo
\end{bmatrix}_{(t)}$$
(1)

Onde: t: época da coleta dos dados; Xd, Yd, Zd: coordenadas cartesianas geocêntricas no referencial destino; Xo, Yo, Zo: coordenadas cartesianas geocêntricas no referencial de origem; Tx, Ty, Tz: translações; D: fator de escala; Rx, Ry, Rz: rotações diferenciais. Na aplicação dos parâmetros na equação 1, as translações deverão estar em metros; o fator de escala deverá ser dividido por um milhão; e as rotações dadas em milésimos de segundo de arco serão divididas por mil e transformadas de segundos de arco para radianos.

Os sete parâmetros de transformação empregados no IBGE-PPP e disponíveis no Quadro 1 foram estimados por meio de coordenadas de estações GNSS permanentes localizadas no continente Sul-Americano e presentes nas realizações ITRF e SIRGAS (IBGE, 2017).

Quadro 1 - Parâmetros de transformação empregados no serviço IBGE-PPP para mudança de referencial geodésico

Realização	Tx (m)	Ty (m)	Tz (m)	D (ppb)	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)
ITRF(IGS14)→SIRGAS2000	0,0026	0,0018	-0,0061	-0,05	0,308	0,106	-0,096

Após a mudança de referencial das coordenadas foi possível reduzi-las para à época 2000,4 com uso das velocidades determinadas com uso do VEMOS2009 (Esse modelo foi calculado em função das coordenadas das realizações SIRGAS95, 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 (Drewes e Heidbach, 2012), (Sánchez *et al.*, 2013). As coordenadas cartesianas geocêntricas SIRGAS2000 na época da coleta dos dados obtidas com uso da equação (1) foram convertidas para geodésicas e empregadas no aplicativo VMS2009 (*grid* VEMOS2009) para interpolação das velocidades dos pontos de interesse. O VMS2009 com uso do VEMOS2009 fornece as velocidades de cada estação de interesse em termos de coordenadas geodésicas $V_{(Lat)}$, $V_{(Long)}$ e cartesianas geocêntricas V_X , V_Y , V_Z - em metros por ano. Neste trabalho, optou-se por reduzir as coordenadas geodésicas em vez das coordenadas cartesianas geocêntricas e, para isso, foram empregadas as equações de (2) e (3) (Torge, 2001) (SIRGAS, 2018).

$$\varphi(td) = \varphi(t) + (td - t) \left[(180/\pi) \left(V_{(Lat)}/M \right) \right] \tag{2}$$

$$\lambda(td) = \lambda(t) + (td - t) [(180/\pi)(V_{(Long)}/N\cos\varphi(t))]$$
(3)

Onde: $\varphi(td)$, $\lambda(td)$: latitude e longitude no SIRGAS2000 (época 2000,4), expressas em graus decimais; $\varphi(t)$, $\lambda(t)$: latitude e longitude no SIRGAS2000 (época da coleta dos dados), dadas em graus decimais; $V_{(Lat)}$, $V_{(Long)}$: velocidades dos pontos nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste, expressas em metros por ano; M: raio de curvatura da seção meridiana; N: raio de curvatura da seção primeiro vertical.

3. Metodologia

A estrutura geodésica foi implantada na UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) a qual está localizada na Cidade de Juiz de Fora, Sudeste do Estado de Minas Gerais, Brasil. Para materialização dos marcos geodésicos foram utilizados 30 corpos de prova de 10 X 20 cm nos quais foram realizados quatro furos para fixação de vergalhões de aço em forma de "L". Após essa etapa, foram feitas cavas em locais previamente estabelecidos nas quais foram colocadas camadas de argamassa de aproximadamente 2 cm e sobre as quais foram engastadas os corpos de prova. Dois receptores GTR-G2 (GPS + GLONASS) L1/L2 e duas antenas NovAtel GPS-702-GG foram empregadas no período de 10/05/2018 a 30/05/2018 para coleta dos dados em sessões de observação de 5h a taxa de 5s. Adotou-se em todos os pontos altura vertical da antena de 2m. A épocas das coletas dos dados nos marcos foram: M1, M2 (2018,36); M3, M4 (2018,37); M5, M6, M7, M8, M9, M10, M13, M14 (2018,38); M11, M12, M15, M16 (2018,39); M17, M18, M19, M20, M21, M22, M23, M24 (2018,40) e M25, M26, M27, M28, M29, M30 (2018,41). Com exceção dos marcos (M5, M6, M9 e M10) os quais as ocupações foram feitas individualmente, todos os demais foram executadas aos pares.

As Figuras de 1 a 4 ilustram as etapas seguidas na construção e materialização dos marcos em campo.

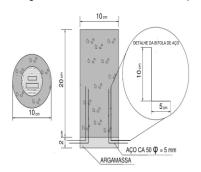






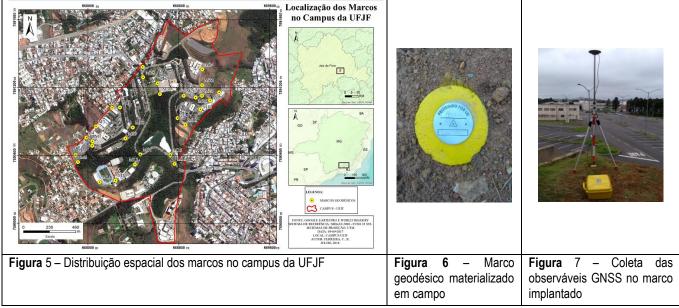
Figura 1 – Projeto de construção do marco com uso dos corpos de prova

Figura 2 – Fixação de vergalhões de aco com uso de adesivo epoxi

Figura 3 - Colocação da argamassa na cava

Figura 4 - Marcação do número do marco na chapa de identificação

As Figuras de 5 a 7 ilustram, respectivamente, a distribuição espacial dos pontos na área de estudo, o marco geodésico materializado e o receptor GTR-G2 instalado no marco.



Na Figura 5 o polígono em vermelho possui área igual a 1,394 km². Os valores de velocidades obtidos com uso do VEMOS2009 foram iguais a: $V_{(Lat)}$ = 0,0121 m/ano e $V_{(Long)}$ = -0,0036 m/ano; V_X = 0,0008 m/ano, V_Y =, -0.0057 m/ano, V_Z = 0,0112 m/ano. Os marcos possuem os mesmos valores de velocidades devido a proximidades destes na Placa Sul-Americana. A mudança de referencial geodésico e redução das coordenadas foram realizadas com *scripts* elaborados em linguagem GNU Octave v. 4.4 (20/04/2018).

Após a coleta e transferência dos dados, os arquivos brutos foram convertidos para o formato RINEX v. 2.1 e submetidos para processamento no IBGE-PPP. Este serviço empregou no processamento dos dados GNSS os parâmetros: modo de operação estático; observação processada código e fase; órbitas dos satélites - final; frequência processada L1&L2 (L3 - lono-free); intervalo de processamento de 5s e máscara de elevação de 10°.

As coordenadas cartesianas geocêntricas dos marcos no referencial SIRGAS2000 (época da coleta dos dados) foram calculadas com uso dos 7 parâmetros de transformação disponíveis no Quadro 1, da equação (1) e das coordenadas geocêntricas no ITRF(IGS14) obtidas no processamento dos dados GNSS. A redução das coordenadas geodésicas da época da coleta dos dados em cada marco para a época 2000,4 foi obtida com uso das equações (2) e (3).

A avaliação dos resultados foi realizada com base no cálculo das discrepâncias em termos lineares para as componentes latitude, longitude e altitude elipsoidal de um vetor posição com uso das equações (4), (5) e (6).

$$\Delta\varphi(m) = (\pi/180) \left| \left(\varphi_{(esti.)} - \varphi_{(ref.)} \right)_{araus} \right| M(\varphi_m)$$
 (4)

$$\Delta \lambda(m) = (\pi/180) \left| \left(\lambda_{(esti.)} - \lambda_{(ref.)} \right)_{graus} \right| N(\varphi_m) Cos(\varphi_m)$$
 (5)

$$\Delta h(m) = \left| h_{(esti)} - h_{(ref.)} \right| \tag{6}$$

Onde: o índice esti. (estimada) refere-se às coordenadas determinadas com uso de 1h, 2h, 3h e 4h de dados; já o índice ref. (referência) refere-se as coordenadas obtidas com uso das observações coletadas por 5 horas. φ_m : latitude média, calculada com as latitudes estimadas e de referência para cada ponto de interesse.

A resultante planimétrica (RP) proveniente das discrepâncias obtidas com emprego das equações (4) e (5) foi obtida com uso da equação (7):

$$RP = \sqrt{\Delta \varphi(m)^2 + \Delta \lambda(m)^2}$$
 (7)

A Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) das discrepâncias em termos de latitude, longitude, altitude elipsoidal e da resultante planimétrica foram calculadas com uso das equações (8) e (9) (Carvalho *et al.*, 2015).

$$REMQ_{\varphi} = \sqrt{\left(\sum \Delta \varphi(m)^{2}/N\right)}; REMQ_{\lambda} = \sqrt{\sum \Delta \lambda(m)^{2}/N}; REMQ_{h} = \sqrt{\sum \Delta h(m)^{2}/N}$$
 (8)

$$REMQ_{RP} = \sqrt{REMQ_{\varphi}^2 + REMQ_{\lambda}^2}$$
 (9)

Onde N: número de estações.

A precisão posicional absoluta refere-se a resultante planimétrica e é calculada conforme equação (10) (Almeida e Dal Poz, 2016):

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_{\varphi(m)}^2 + \sigma_{\lambda(m)}^2} \tag{10}$$

Onde σ_P : precisão posicional planimétrica; σ_{φ} : desvio padrão para latitude; σ_{λ} : desvio padrão para longitude.

Os desvios padrão $(\sigma \varphi, \sigma \lambda, \sigma h)$ representam a confiabilidade interna do processamento dos dados e foram calculados considerando nível de confiança de 95%. A confiabilidade externa, denominada de acurácia é uma forma de avaliar a qualidade das coordenadas. Essa métrica pode ser calculada conhecendo-se as coordenadas dos pontos geodésicos determinadas com uma técnica mais refinada, ou seja, de qualidade superior (IBGE, 2017).

4. Resultados e discussão

No Quadro 2 encontram-se as precisões e acurácias médias para planimetria e altimetria esperadas com a variação da duração sessão de observação e uso do IBGE-PPP para determinação das coordenadas com uso de receptores GNSS de dupla frequência e taxa de coleta de 15s (IBGE, 2017).

Quadro 2 – Variação das precisões e acurácias em função da duração da sessão de observação no processamento (fonte: IBGE, 2017)

Duração da coleta dos dados	Pred	isão	Acurácia		
,	σ_P (m)	σh (m)	RP	Δh	
Após 1 hora	0,041	0,042	0,039	0,033	
Após 2 hora	0,017	0,018	0,019	0,021	
Após 4 hora	0,009	0,010	0,011	0,013	
Após 6 hora	0,005	0,008	0,009	0,011	

No Quadro 3 estão presentes as discrepâncias das altitudes elipsoidais e as resultantes planimétricas calculadas para os 30 pontos tomando-se como referência as coordenadas obtidas com uso da sessão de coleta de 5 horas. Em termos de discrepância altimétrica detectou-se melhora superior a 63%, 76% e 86% para 2h, 3h e 4h em relação a 1h, respectivamente. Para planimetria, houve melhora superior a 48%, 71% e 88% para 2h, 3h e 4h em relação a 1h, respectivamente. Foi verificado também que as discrepâncias são maiores para a componente longitude do que para latitude, fato que também ocorre no experimento realizado por IBGE (2017).

Quadro 3 – Estatísticas para as discrepâncias posicionais para 1h, 2h, 3h e 4h em relação a 5 horas de dados

Estatisticas\ Duração sessão	1h		2h		3h		4H	
	$\Delta h(m)$	RP(m)						
REMQ (m)	0,095	0,090	0,035	0,046	0,022	0,026	0,009	0,013
Máximo (m)	0,281	0,271	0,108	0,149	0,050	0,079	0,028	0,036
Mínimo (m)	0,001	0,009	0,000	0,003	0,001	0,003	0,000	0,000
Média (m)	0,066	0,059	0,023	0,030	0,017	0,017	0,006	0,009

As figuras 8 e 9 ilustram as resultantes planimétrica e altimétrica calculadas para todos os 30 marcos geodésicos com uso de diferentes durações das sessões de observação. A maior variabilidade das discrepâncias refere-se ao uso de sessão de 1h, resultando em valores máximos de 0,271 m e 0,281 m para planimetria e altitude elipsoidal, respectivamente. Vale salientar que os locais de implantação dos marcos M11, M17 e M28 são próximos de edificações e árvores, o que justifica de certo modo as maiores discrepâncias posicionais, pois pode existir efeito de multicaminhamento dos sinais ou obstrução dos mesmos. Porém, nota-se que o aumento da duração da coleta dos dados diminui a variabilidade das discrepâncias posicionais como pode ser observado nas estações supracitadas.

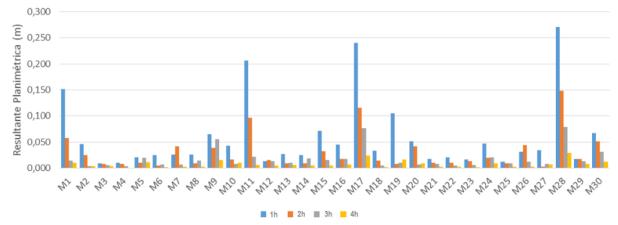


Figura 8 – Resultantes planimétricas para diferentes durações da sessão de coleta dos dados

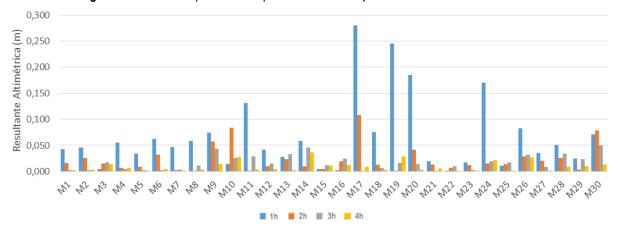


Figura 9 – Resultantes altimétricas (altitude elipsoidal) para diferentes durações da sessão de coleta dos dados As Figuras 10 e 11 ilustram as variações das precisões posicionais com uso de diferentes durações das sessões de observação no processamento dos dados.

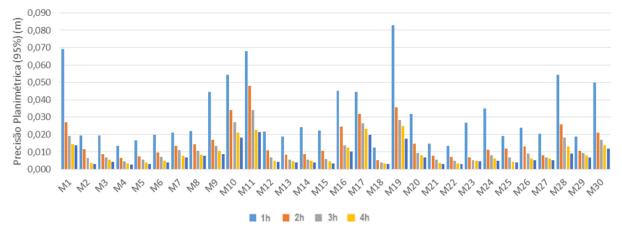


Figura 10 - Variação da precisão posicional planimétrica em função da duração da coleta dos dados

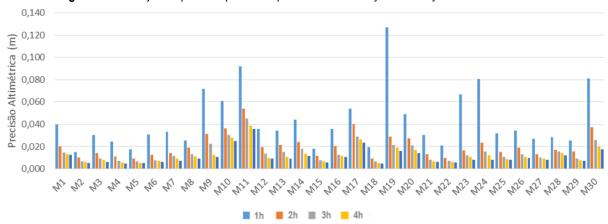


Figura 11 – Variação da precisão altimétrica em função da duração da coleta dos dados

No Quadro 4 encontram-se as precisões planimétricas e altimétricas com a variação do tempo de coleta dos dados empregados no processamento.

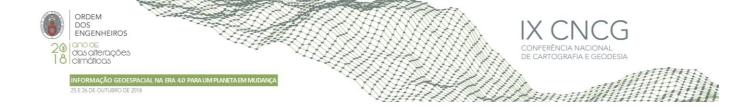
Quadro 4 – Estatísticas pa	ra as precisões posicionais p	oara 1h, 2h, 3h, 4h e 5 h.

Estatisticas\	1h		2h		3h		4h		5h	
Duração sessão	σ_P (m)	σh (m)								
Média	0,032	0,043	0,016	0,020	0,011	0,015	0,009	0,012	0,007	0,011
Maximo	0,083	0,127	0,048	0,054	0,034	0,045	0,025	0,039	0,021	0,036
Mínimo	0,013	0,015	0,005	0,009	0,004	0,007	0,003	0,005	0,003	0,005
Melhoria (%) - Média	-	-	50,0	53,5	65,6	65,1	71,9	72,1	78,1	74,4

Houve melhoria média de 78% para precisão planimétrica e de 74,4% para altimetria quando se utiliza 5 horas de dados em relação a 1h. Comparando-se os valores das precisões planimétricas e altimétricas presentes nos Quadros 2 e 4 verifica-se a concordância dos mesmos para as durações das sessões correspondentes.

5. Considerações Finais

A determinação das coordenadas SIRGAS2000 (época 2000,4) dos marcos que compõem a estrutura geodésica estabelecida no campus da UFJF com uso de diferentes durações de coleta de dados foi executada com sucesso. Foi possível verificar a variação da qualidade posicional com aumento da duração da sessão de observação. Como esperado, pode-se observar melhor qualidade posicional para planimetria do que para altimetria.



Ressalta-se a importância e necessidade de se realizar a mudança de sistema de referência das coordenadas obtidas no ITRF2014 para o referencial oficial adotado pelo (SGB) Sistema Geodésico Brasileiro, bem como reduzir as coordenadas da época da coleta dos dados para a época de realização do SIRGAS2000.

Para trabalho futuro será realizado o processamento relativo considerando estações de referência pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) para determinação posicional dos marcos geodésicos, pois segundo (Almeida e Dal Poz, 2016) o posicionamento relativo com uso da combinação linear L3, independente do número e dimensões dos vetores linhas de base envolvidas e da duração da coleta dos dados, proporciona maior acurácia posicional do que o uso do PPP. Assim, será possível realizar uma analise externa da qualidade das coordenadas obtidas com uso do IBGE-PPP para as diferentes durações das sessões de coleta dos dados empregadas nesse trabalho.

Referências Bibliográficas

- Almeida, M.S; Dal Poz, W. R. (2016). Posicionamento por ponto preciso e Posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente? Boletim de Ciências Geodésicas, Vol. 22, No. 1, Págs. 175-195. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/bcg/v22n1/1982-2170-bcg-22-01-00175.pdf>. Consultada em 18 de julho de 2018.
- Alves, C.M.D; Monico, J.F.G; Romão, V.M.C. (2011). Análise da acurácia no PPP a partir da solução de ambiguidades GPS em curtos períodos de ocupação. Revista Brasileira de Cartografia, Vol. 63, No.5, Págs .589-600 .Disponível em: < http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/409 > . Acesso em: 28 nov. 2014.
- Carvalho, A. S.; Dal Poz, W. R. (2015). Análise estatística do posicionamento relativo a partir do AUSPOS. Boletim de Ciências Geodésicas, Vol. 21, No. 1, Págs. 03-25. Disponível em: < https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/40436 >. Consultada em 18 de julho de 2018.
- Drewes, H. and O. Heidbach (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, Argentina. August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia Series. Fortes, L. P. S. (2000).
- IBGE (2017). Manual do Usuário Aplicativo *Online* IBGE-PPP Versão: Abril de 2017. Disponível em < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Consultada em 18 de julho de 2018.
- International Terrestrial Reference Frame (ITRF), http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php, consultada em 18 de julho de 2018.
- Jamieson, M.; Gillins, D. (2018). Comparative Analysis of *Online* Static GNSS Postprocessing Services: Case Study. Journal of Surveying Engineering. Vol. 144. No.4. Disponível em < https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29SU.1943-5428.0000256 >. Consultada em 18 de julho de 2018.
- Oclan, T.; Erdgan, B.; Tunalioglu, N. (2013). Analysis of web-based online services for GNSS relative and precise point positioning techniques.Boletim de Ciências Geodésicas, Vol. 19, No. 2, Págs. 191-207. Disponível em: http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcq. Consultada em 18 de julho de 2018.
- Ozulu, I. M.; Ilçi, V.; Erol, S. Alkan, R. M. (2018). Kinematic PPP Positioning Using Different Processing Platforms. Disponível em:http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2018/papers/ts04e/TS04E_ozulu_ilci_et_al_9535.pdf. Consultada em 18 de julho de 2018.
- Petit, G.; Luzum, B. (2010). IERS Conventions IERS Technical Note 36. IERS. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Págs. 179.
- Rebischung, P.; Schimid, R.; Craddock, A. (2017). IGS14 Reference Frame Transition, http://www.igs.org/news/igs14-reference-frame-transition, consultada em 18 de julho de 2018.
- Sánchez L.; Seemüller, W.; Drewes, H.; Mateo, L.; González, G.; Silva, A.; Pampillón, J.; Martínez, W.; CIOCE, V.; Cisneros, D.; Cimbaro, S. (2013). Long-Term Stability of the SIRGAS Reference Frame and Episodic Station Movements Caused by the Seismic Activity in the SIRGAS Region.
- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), http://www.sirgas.org/pt/, consultada em 18 de julho de 2018. Torge, W. (2001). Geodesy, 3rd completely rev. and extended ed., Berlin; New York: de Gruyter.