

Comparação da aplicação dos modelos de calibração relativa e absoluta do centro de fase das antenas dos receptores GPS de simples frequência no posicionamento relativo

Maria Lígia Chuerubim¹

¹Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Caixa Postal 593 - 38408-100 - Uberlândia - MG, Brasil
marialigia@feciv.ufu.br

Abstract. This paper presents the results obtained from the experiment conducted along a stretch of State Highway BR497 that bisects the city of Uberlândia - MG, which were materialized and tracked two geodesic marks, at three different times and in a same period of the day, with receivers and antennas Global positioning System single frequency, by the method of static relative positioning. Data obtained via screening were georeferenced regarding station, belonging to the Brazilian Network for Continuous Monitoring, forming short baselines. For processing and adjustment of GPS data used the Topcon Tools software, which allows you to enter the parameters relative and absolute phase centers of the antennas of GPS receivers and their variations. The discrepancies between the solutions obtained from the solutions neglected compared to the results derived from models of absolute calibration and absolute maximum and minimum discrepancies presented was of approximately 0.008 to 0.024 meters to the X, 0.023 0.043 meters for the Y and from 0.011 to 0.014 meters to Z. While the discrepancies, among the solutions estimated using the calibration parameters were relative and absolute order of 0.000 to 0.048 meters to the X component, from 0.000 to 0.057 for the Y and 0.001 to 0.026 meters for the component Z. The geodetic coordinates of the stations obtained neglecting and applying the calibration parameters were relative and absolute order from 0.009 to 0.019 meters, 0.010 to 0.017 for components planimetric latitude and longitude, respectively, and for altimetric component stations accuracies were approximately 0.031 to 0.045 meters.

Palavras-chave: GPS, relative positioning, antennas Calibration.

1. Introdução

A qualidade do posicionamento *Global Navigation Satellite System* (GNSS) é dependente de critérios relacionados à aquisição e ao processamento dos dados, como duração da sessão, tipo de receptor (L1 ou L1/L2), do modelo da antena do receptor, da técnica de posicionamento empregada, como também do comprimento e do número de linhas de bases. As fontes de erros em equipamentos geodésicos podem ser divididas em três grupos principais: erros relacionados aos satélites, erros associados ao meio de propagação dos sinais GNSS e erros relacionados ao receptor.

O posicionamento por satélites pode ser realizado de forma pontual ou relativa. Em levantamentos geodésicos que envolvem linhas de bases longas (acima de 100 km) ou redes, o método de posicionamento mais indicado é o relativo estático, em virtude do período de ocupação das estações serem relativamente longo (no mínimo 20 minutos a algumas horas). Neste método são utilizadas as Duplas Diferenças (DDs) das observáveis, fase da onda portadora e/ou pseudodistância. Em geral, são usadas as DDs da fase da onda portadora por apresentarem melhor precisão, embora a utilização da pseudodistância seja de extrema relevância na fase de pré-processamento dos dados, para estimar o erro do relógio do receptor ou, ainda, calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo.

Dentre os erros presentes no posicionamento GNSS destaca-se o erro referente ao centro de fase da antena do receptor, que pode acarretar erros da ordem de até 10 centímetros nas componentes altimétricas e erros com magnitude de até 3 centímetros para as componentes planimétricas das estações (Mader, 1999; Seeber, 2003).

O erro referente ao centro de fase da antena do receptor ocorre em razão da não coincidência entre o centro de fase eletrônico, onde o sinal é registrado, com o centro geométrico da antena. É determinado em função do comprimento dos vetores das

componentes do deslocamento do centro de fase da antena (PCO – *Phase Center Offset*), pelas variações do centro de fase da antena (PCV – *Phase Center Variation*) e, ainda, pela influência de variáveis ambientais (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) e pelo efeito do multicaminho.

A modelagem do erro do centro de fase da antena dos receptores é feita por meio da aplicação de modelos de calibração relativa ou absoluta estimados para cada modelo de antena GNSS pelo *National Geodetic Survey* (NGS), uma vez que cada antena apresenta características próprias de construção e, conseqüentemente, recebem o sinal vindo do satélite de formas distintas. Os métodos de calibração são classificados quanto à localidade das medições (laboratório ou campo), quanto ao tipo de sinal utilizado (artificial ou real) e quanto à necessidade da utilização de uma antena de referência, o que determinará se o método será relativo ou estático.

Os modelos de calibração relativa dos centros de fase das antenas dos receptores assumem as PCVs da antena de referência como nulas, o que torna inviável a correta determinação do centro de fase da antena no processamento de linhas de bases longas. Estes modelos não permitem uma distribuição homogênea das observações em relação ao hemisfério da antena e nem a determinação das PCVs para ângulos inferiores a 10° graus de elevação, como também desconsideram as PCVs para diferentes satélites. Nas correções relativas observa-se uma linha de base curta (poucos metros) formada por duas estações de referência conhecidas por um longo período de rastreamento. Em uma das extremidades da linha de base tem-se a estação que opera a antena de referência e na outra extremidade a antena a ser calibrada (MADER, 1999).

A metodologia de calibração absoluta em campo permite a determinação das PCVs em função da elevação e do azimute dos satélites GNSS, com precisão de poucos milímetros; a cobertura homogênea de observações no horizonte da antena; a redução do efeito de multicaminho; a determinação das PCVs para ângulos de até 0° graus de elevação; e a realização de experimentos com antenas em ambientes abertos, o que resulta em valores mais realísticos.

Neste contexto, pretende-se com este trabalho avaliar o impacto do negligenciamento e aplicação dos modelos de calibração absoluta do centro de fase das antenas dos receptores GPS no posicionamento geodésico de alta precisão, utilizando-se como estratégias a utilização de receptores e antenas de um mesmo fabricante, coleta de observações sob as mesmas condições ambientais e no mesmo intervalo do dia, visando a autocorrelação dos erros e analisar o efeito do multicaminhamento em função da época, hora do dia e condições de rastreamento.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Trabalho

Para a realização do experimento envolvendo linhas de bases curtas (menores que 100 km) adotou-se como estudo de caso a Rodovia Estadual BR497 (Figura 1). Podem-se verificar por meio da Figura 1 que foram implantados dois marcos ao longo da BR497.

Os locais para fixação dos marcos ao longo das rodovias foram determinados de acordo com a distância do marco geodésico à estação de referência mais próxima pertencente à RBMC. Neste trabalho, adotou-se como estação de referência a MGUB, pertencente à RBMC e localizada no Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia.

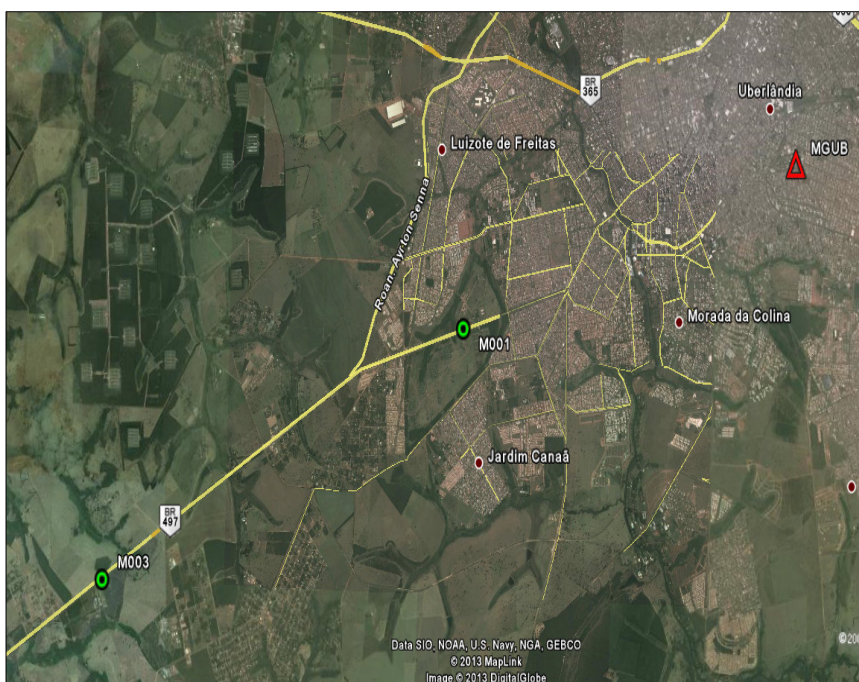


Figura 1. Localização da estação de referência MGUB e dos marcos M001 e M003 na BR497.

Na Figura 1 verifica-se simbolizada por um triângulo na cor vermelha a estação de referência MGUB, em amarelo as vias de acesso à cidade de Uberlândia/MG, dentre estas a BR497 e simbolizados por círculos na cor verde os marcos geodésicos materializados nesta rodovia.

A materialização dos marcos ocorreu às margens destas rodovias no dia 05 de maio de 2013, utilizando-se corpos de prova em concreto disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Para tanto, adotou-se a Norma de Padronização de Marcos recomendada pelo IBGE (IBGE, 2008), optando-se pela materialização dos marcos por meio de corpos de concreto com chapa incrustada no seu topo.

2.2 Materiais e Métodos

Os marcos foram implantados visando à formação de linhas de bases curtas em relação à estação de referência, ou seja, vetores menores que 100 km. A distância dos marcos geodésicos M001 e M003 em relação à estação de referência MGUB da RBMC (localizada no campus Santa Mônica da UFU) é de, respectivamente, 2 km e 8 km, aproximadamente.

O rastreamento dos marcos M001 e M003 foi realizado no mesmo intervalo do dia no período matutino, nos dias 02/05/13 (Dia GPS 122), 07/05/13 (Dia GPS 127) e 08/05/13 (Dia GPS 128), com receptores GPS Promark100 de simples frequência (L1) e com o modelo de antena ASH111660, ambos da marca ASTECH e disponíveis no Laboratório de Topografia da FECIV. Para tanto, utilizou-se o método de posicionamento relativo estático, com duração de, respectivamente 20 minutos e 1 hora.

A antena dos receptores em todos os rastreios foi mantida verticalizada, a uma altura de 2 metros e voltada para o norte verdadeiro, tomando como referência o norte verdadeiro referente ao modelo de antena dos receptores utilizado no experimento (NGS, 2013). Assegurando que as antenas estejam voltadas sempre para a mesma direção, ameniza-se o erro do centro de fase através da diferenciação.

Para verificar os parâmetros específicos de cada modelo de antena dos receptores GNSS, basta consultar o site do NGS no seguinte endereço: <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>> (NGS, 2013).

Foram utilizados, também termômetro e barômetro com o intuito de se identificar as variações de temperatura e pressão no início e ao final de cada rastreamento, bem como a variação destes parâmetros em função da localização geográfica e geometria local da estação.

2.3 Estratégia de rastreamento dos marcos

Os marcos geodésicos M001 e M003 foram rastreados com modelos de receptores e antenas GPS idênticos, visando identificar as influências do multicaminhamento, da variação da geometria dos satélites e das variáveis ambientais, considerando-se as mesmas condições de rastreamento e influência da localização geográfica para linhas de bases curtas.

Os rastreios dos marcos M001 e M003 iniciaram-se, respectivamente, por volta das 08:00 horas e 10:00 horas da manhã e tiveram a duração de, respectivamente, 20 minutos e 1 hora. Os receptores foram configurados com máscaras de elevação de 15° graus, ou seja, observações oriundas de satélites com ângulos de elevação abaixo da máscara de corte pré-estabelecida foram descartadas.

Os valores observados para o fator de degradação posicional determinado em função do número de satélites rastreados (PDOP - *Dilution Of Precision*) para os dias em que foram realizados os rastreios. A magnitude dos PDOP para os dias de realização do rastreamento foram da ordem de 1,961 a 3,017, estando de acordo com as recomendações da NTGIR (2010). Além disso, pode-se observar que os maiores valores foram constatados para o dia GPS 127, para ambos os marcos.

Os dados meteorológicos registrados nos locais onde foram realizados os experimentos são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1. Dados meteorológicos registrados *in loco*.

Marcos	Dia de rastreamento	Intervalo do dia (horas)	Duração (horas)	Precipitação	Temperatura Externa		Pressão (hPa)	
					Inicial	Final	Inicial	Final
M001	02/05/2013	08:24 - 08:45	00:21:15	0	25,0°C	28,5°C	930	932
M001	07/05/2013	08:20 - 08:41	00:21:15	0	23,8°C	29,0°C	931	931
M001	08/05/2013	07:43 - 08:05	00:22:00	0	20,0°C	18,0°C	933	933
M003	02/05/2013	10:48 - 11:49	01:00:45	0	40,0°C	44,0°C	932	933
M003	07/05/2013	10:15 - 11:16	01:01:00	0	36,9°C	38,0°C	931	931
M003	08/05/2013	09:48 - 10:48	01:00:45	0	22,9°C	28,8°C	933	933

Observa-se por meio da Tabela 1 que as temperaturas médias coletadas *in loco* para os dias referentes à realização dos experimentos foram de, respectivamente, 28,10° C e de 31,05° C e para a pressão atmosférica de, aproximadamente, 930 hPa. Além disso, verifica-se que para o período analisado não foram registradas precipitações.

As temperaturas e pressões registradas para o M002 durante o início e o final dos rastreios, atingiram valores médios de, respectivamente, 22,93°C a 25,17° C e de 931,33 hPa a 932 hPa. Para o M003 os valores registrados apresentaram magnitudes maiores sendo da ordem de 33,27° C a 36,93°C para a temperatura e de 932 hPa a 932,33 hPa.

2.4 Processamento e ajustamento dos dados

Para o processamento e ajustamento dos dados GPS foram adotadas três diferentes estratégias: negligenciando-se as informações referentes às antenas dos receptores; aplicando-se os parâmetros de calibração absoluta; e os parâmetros de calibração relativa do centro de fase das antenas dos receptores GPS, com a finalidade de se avaliar o impacto desta

metodologia no posicionamento tridimensional envolvendo linhas de bases curtas, dados coletados nas mesmas condições de rastreamento (período do dia), em épocas distintas e utilizando-se modelos idênticos de receptores e antenas GPS.

Para tanto os dados GPS foram convertidos de seu formato nativo para o formato padrão *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX) e, posteriormente, para que pudessem ser processados e ajustados no *software* Topcon Tools, juntamente com os arquivos da estação base (MGUB), disponibilizados gratuitamente, no formato RINEX, no site do IBGE no seguinte endereço: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>.

O *software* Topcon Tools permite a inserção dos parâmetros rigorosos dos modelos de calibração do centro de fase das antenas para as portadoras L1 e L2 dos receptores GNSS como os valores de PCO e PCV, obtidos junto ao NGS no endereço <<http://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/>>, (NGS, 2013).

Para que, desta forma, as características referentes ao centro de fase das antenas fossem devidamente consideradas nos processamentos.

Segundo as recomendações da NTGIR, para linhas de base curtas é facultativa a utilização de efemérides precisas e transmitidas (NTGIR, 2010). De acordo com a literatura, erros orbitais e inerentes à propagação do sinal (ionosfera e troposfera) podem ser negligenciados para linhas de base curtas (menores que 100 km) por apresentarem alta correlação. Nesta etapa foram utilizadas as efemérides transmitidas para o processamento dos dados, como recomenda a NTGIR (2010).

Utiliza-se, em geral, durante o processamento ou mesmo durante a coleta de dados, uma máscara de elevação abaixo da qual não se considera as observações. Em geral, adota-se o valor de 10° ou 15°, o que minimiza problemas com dados que apresentam ruído elevado e cujos valores são compatíveis aos modelos da troposfera e ionosfera implementados nos *softwares* comerciais.

Neste trabalho adotou a máscara de elevação de 15°. Vale ressaltar que o uso de máscaras de elevação menores proporcionam melhores condições na estimativa das coordenadas tridimensionais, em especial para linhas de base longas.

Ademais, foram estabelecidos os limites de precisão horizontal e vertical dos vértices da classe C1 da NTGIR (2010), ou seja, vértices que partem diretamente de uma estação de controle, como forma de avaliar a qualidade dos resultados obtidos e de gerar colaborações e esclarecimentos aos trabalhos executados no país.

3. Resultados

Para a análise dos resultados considerou-se as especificações de controle de qualidade da NTGIR: precisão horizontal menor ou igual a 0,10 metros e precisão vertical menor ou igual a 0,30 metros, para os vértices da classe C1, ou seja, irradiados a partir de uma estação da RBMC (NTGIR, 2010).

Dados relativos ao comprimento da linha de base, diluição de precisões (PDOP), leituras meteorológicas, tempo de rastreamento e máscara de elevação foram utilizados para verificação dos fatores que influenciam as precisões do posicionamento tridimensional utilizando satélites artificiais.

As soluções obtidas, em termos das coordenadas geodésicas, apresentaram precisões da ordem de 0,009 a 0,019 metros para a latitude, de 0,010 a 0,017 metros para a longitude e de 0,031 a 0,045 para a altitude elipsoidal, como ilustra a Figura 2.

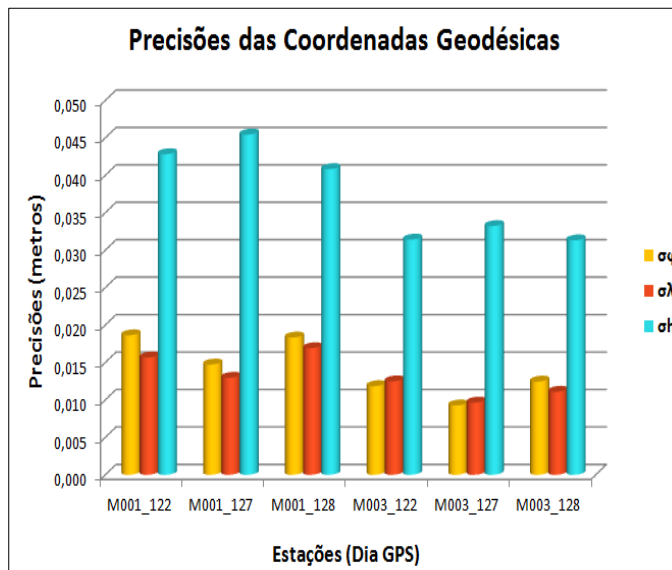


Figura 2. Precisões das Coordenadas Geodésicas obtidas para os marcos M001 e M003.

Estas precisões foram observadas para as três estratégias de processamento e ajustamento propostas neste trabalho, ou seja, negligenciando-se e adotando-se os parâmetros de calibração relativa e absoluta do centro de fase das antenas dos receptores.

Analisando as discrepâncias entre as estratégias propostas em termos das coordenadas cartesianas foram obtidos os ilustrados nas Figuras 3, 4 e 5.

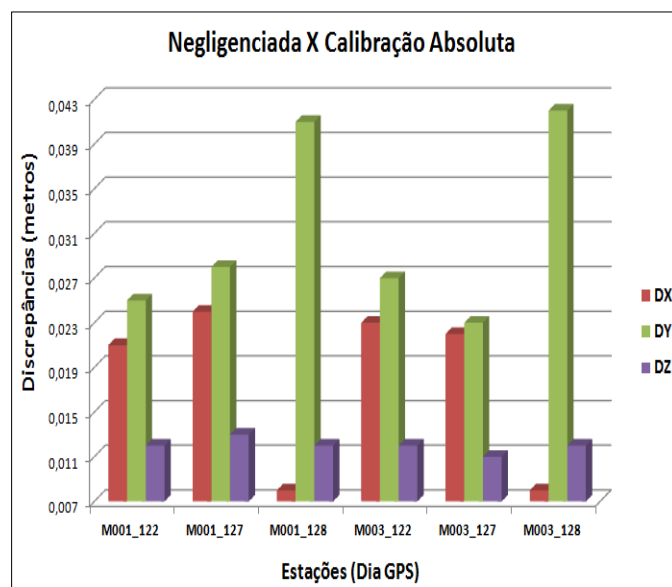


Figura 3. Discrepâncias, em metros, entre as soluções negligenciadas e adotando-se com parâmetros de calibração absoluta das antenas GPS.

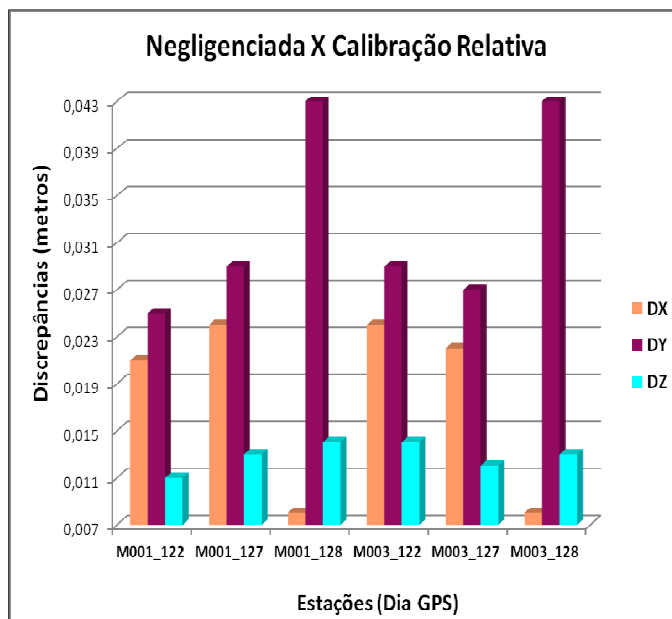


Figura 4. Discrepâncias, em metros, entre as soluções negligenciadas e adotando-se com parâmetros de calibração relativa das antenas GPS.

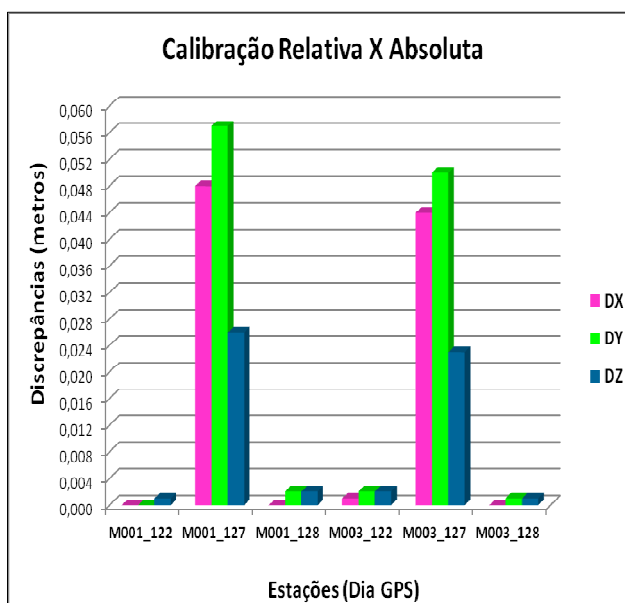


Figura 5. Discrepâncias, em metros, entre as soluções obtidas com os parâmetros de calibração relativa e absoluta das antenas GPS.

Por meio da Figura 3 que as discrepâncias obtidas para as coordenadas cartesianas estimadas negligenciando-se e adotando-se os parâmetros de calibração absoluta, em metros, foram da ordem de 0,008 a 0,024 metros para a componente X, de 0,023 a 0,042 para a componente Y e de 0,011 a 0,013 para a componente Z. Entre as soluções obtidas negligenciando-se e adotando-se os parâmetros de calibração relativa (Figura 4) foram de, respectivamente, em metros de 0,008 a 0,024 para a componente X, de 0,025 a 0,043 para a componente Y e de 0,011 a 0,014 para a componente Z.

Verifica-se, portanto, que os resultados obtidos comparando-se as soluções negligenciadas com as obtidas com os parâmetros de calibração relativa e absoluta foram praticamente iguais. Por sua vez, a comparação entre as discrepâncias obtidas entre as soluções com a adoção de parâmetros de calibração absoluta e relativa (Figura 5) foram da

ordem de 0,000 a 0,048 metros para a componente X, de 0,000 a 0,057 metros para a componente Y e de 0,001 a 0,026 para a componente Z.

Portanto, as piores precisões foram observadas para a componente Y das estações. Contudo, sugere-se analisar estas precisões em termos de suas coordenadas locais para verificar o erro realístico, associado à gravidade nos locais de estudo.

Das três épocas analisadas o dia GPS 127 foi o que apresentou as maiores discrepâncias, em termos das coordenadas tridimensionais, para os marcos M001 e M003. Tal constatação pode estar associada à influência da refração troposférica na estimativa das coordenadas das estações e ao comprimento das linhas de base (2 km e 8 km, respectivamente, para os marcos M001 e M003), uma vez que este compreende o dia que apresenta o maior índice de umidade relativa do ar (70%), como ilustra a Tabela 1.

Além disso, o dia GPS 127 encontra-se entre os dias de realização do experimento de maior variação de temperatura para o marco M001 (23,8° C a 29°C), fator que influencia os efeitos da refração ionosférica, troposférica e do multicaminho.

Para o marco M003 o dia GPS 127 embora apresente temperatura elevada, não apresenta variações bruscas da mesma quando comparado aos demais dias de experimento para o mesmo ponto. Todavia, a temperatura elevada aliada a alta umidade do ar e ao comprimento da linha de base (8 km), quando combinados tendem a degradar a precisão dos resultados e a tornar a discrepância entre as soluções obtidas mais significantes.

4. Conclusões

Embora o experimento tenha resultado em precisões que se enquadram dentro dos padrões pré-estabelecidos pela NTGIR, ressalta-se a importância da aplicação destes parâmetros no processamento e ajustamento de dados GNSS, em especial em trabalhos geodésicos de alta precisão e que envolvam linhas de bases longas (acima de 100 km).

Aos compararmos os parâmetros medidos em campo (Tabela 2) com os dados fornecidos pela estação meteorológica da UFU (Tabela 1) verifica-se uma grande correlação entre os valores fornecidos pela estação com a distância (linha de base) formada entre os marcos e a estação base. Para o M002, marco mais próximo da UFU, os valores foram mais convergentes, enquanto que para o M003 os valores foram mais discrepantes.

Tais observações comprovam a influência dos efeitos locais e sazonais no posicionamento geodésico que associados a outros efeitos como refração ionosférica, troposférica, multicaminhamento e PDOP que degradam ainda mais as precisões das coordenadas estimadas.

5. Referências bibliográficas

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Padronização de marcos geodésicos**. Diretoria de Geociências (DGC) e Coordenação de Geodésia (CGED). Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

Mader, G. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. *GPS Solutions*, Vol. 3., N°1, p.50-58, 1999.

NGS. National Geodetic Survey. Antenna Calibrations. Disponível em <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>>. Acesso: set/2012.

NTGIR. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2ª edição. Fevereiro, 2010.

Seeber, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 589 p., 2003.