

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL NO POSICIONAMENTO RELATIVO COM O SOFTWARE LIVRE RTKLIB

Evaluation of positional quality in relative positioning with the free Rtklib Software

Diovanni Assunção Machado
Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Engenharia Civil – Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
E-mail: diovanni.machado@ufv.br

William Rodrigo Dal Poz
Universidade Federal de Viçosa

Departamento de Engenharia Civil – Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
E-mail: william.dalpoz@ufv.br

Paulo Augusto Ferreira Borges
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais

Setor de Agrimensura e Cartografia
E-mail: paulo.borges@ifsuldeminas.edu.br

Resumo:

A maioria dos programas de processamento de dados GNSS tem um alto custo para adquiri-los, principalmente por profissionais autônomos em início de carreira. Diante deste fato uma alternativa são os programas livres. Diferente do que ocorre para o posicionamento Por Ponto Preciso (PPP), onde existem programas online e livres, no caso do posicionamento relativo, a grande maioria dos programas são comerciais, apresentando alto custo para adquiri-los, além disso também se desconhece informações sobre os seus algoritmos implementados. E quando se busca por um posicionamento de precisão, o método de posicionamento relativo é uma das melhores opções, tendo em vista a possibilidade de eliminar ou minimizar uma série de erros. Atualmente existem programas livres que realizam o processamento relativo de dados GNSS, como exemplo o RTKLIB. Para avaliar a sua qualidade posicional em termos da sua precisão e discrepância posicional, foram processados dados rastreados das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), no método relativo estático, tomando para isso 10 linhas de base, englobando linhas de base curtas e médias (2,3 a 85,2 km), que foram processados para cada um dos 31 dias do mês de janeiro de 2022. Utilizando se destes dados considerando diferentes comprimentos de linhas de base e diferentes intervalos de tempo de rastreamento, foram realizadas estatísticas das incertezas e discrepâncias tridimensionais. Observou-se valores de discrepâncias de aproximadamente 0,9 m, com valores de RMSE na maioria das vezes decimétricos, enquanto o desvio padrão das incertezas foram de ordem centimétrica e até milímetros.

Palavras-chave: Posicionamento Relativo, precisão, discrepância, GNSS, RTKLIB.

Abstract:

Most GNSS data processing programs are expensive to acquire, especially for self-employed professionals at the beginning of their careers. Given this fact, one alternative is free programs. Unlike what happens with Precise Point Positioning (PPP), where there are online and free programs, in the case of relative positioning, the vast majority of programs are commercial, and expensive to acquire, and information about their implemented algorithms is also unknown. When looking for precision positioning, the relative positioning method is one of the best options, given the possibility of eliminating or minimizing a series of errors. There are currently free programs that perform relative processing of GNSS data, such as RTKLIB. To assess its positional quality in terms of its accuracy and positional discrepancy, data tracked from the RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems) stations were processed using the relative static method, taking 10 baselines, including short and medium baselines (2.3 to 85.2 km), which were processed for each of the 31 days of January 2022. Using these data, considering different baseline lengths and different tracking time intervals, statistics of three-dimensional uncertainties and discrepancies were performed. Discrepancy values of approximately 0.9 m were observed, with RMSE values mostly decimetric, while the standard deviation of the uncertainties was in the centimetric and even millimeter order.

Keywords: Posicionamento Relativo, precisão, discrepância, GNSS, RTKLIB.

1 INTRODUÇÃO

O posicionamento por GNSS (Global Navigation Satellite System), é uma técnica aplicada nas mais diversas atividades, englobando aplicações que demandam baixa e alta precisão, incluindo sua utilização no Cadastro Territorial Multifinalitário, principalmente na implantação de vértices de apoio geodésico e topográfico. Dependendo de qual técnica é empregada, do equipamento a ser utilizado e dos dados GNSS coletados, pode-se alcançar coordenadas geodésicas em que a qualidade posicional varia desde metros até milímetros.

Ao se trabalhar com o processamento de dados GNSS, sempre se procura atingir certos padrões de qualidade nos resultados, em função da execução do projeto. Para o posicionamento de precisão tem-se disponível o Serviço online para pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP), contudo, este método apresenta a desvantagem da necessidade de um tempo mínimo de rastreamento de uma hora para alcançar precisão de poucos centímetros, com o uso de receptores GNSS de duas frequências (IBGE, 2022). Como alternativa, para atingir precisão centimétrica com menores tempos de rastreamento, desde que o usuário tenha a sua disposição dados de uma estação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) ou uma estação passiva SATGPS, nas proximidades do local de coleta ou ainda, implantando-se uma base local a partir de duas ou mais estações da RBMC, o usuário pode processar os dados de acordo com o método de posicionamento relativo.

O conceito do posicionamento relativo estático é que dois ou mais receptores que rastreiam simultaneamente, os satélites visíveis por um período que pode variar de dezenas de minutos até algumas horas (MONICO, 2008).

Neste caso normalmente são utilizados softwares comerciais, como Topcon Tools e sua versão mais recente, o MAGNET Tools, ambos da empresa Topcon, Trimble Business Center da Trimble, LEICA Geo Office (LGO) da LEICA, Justin da JAVAD, dentre outros. São soluções cada vez mais completas que o setor privado apresenta no intuito de fornecer ao usuário um posicionamento preciso com a menor interferência do usuário. Como alternativa tem-se o programa livre, denominado RTKLIB (RTKLIB, 2022). O RTKLIB é um pacote de software de código aberto, com várias aplicações para posicionamento padrão e preciso com GNSS. O Software apresenta vários recursos, entre eles, o suporte para vários modos de posicionamento com GNSS para tempo real e pós-processamento: Absoluto, DGPS/DGNSS,

Cinemático, Estático, Linha de base móvel e fixo, PPP-Cinemático, PPP-Estático e PPP-Fixo (RTKLIB, 2022)..

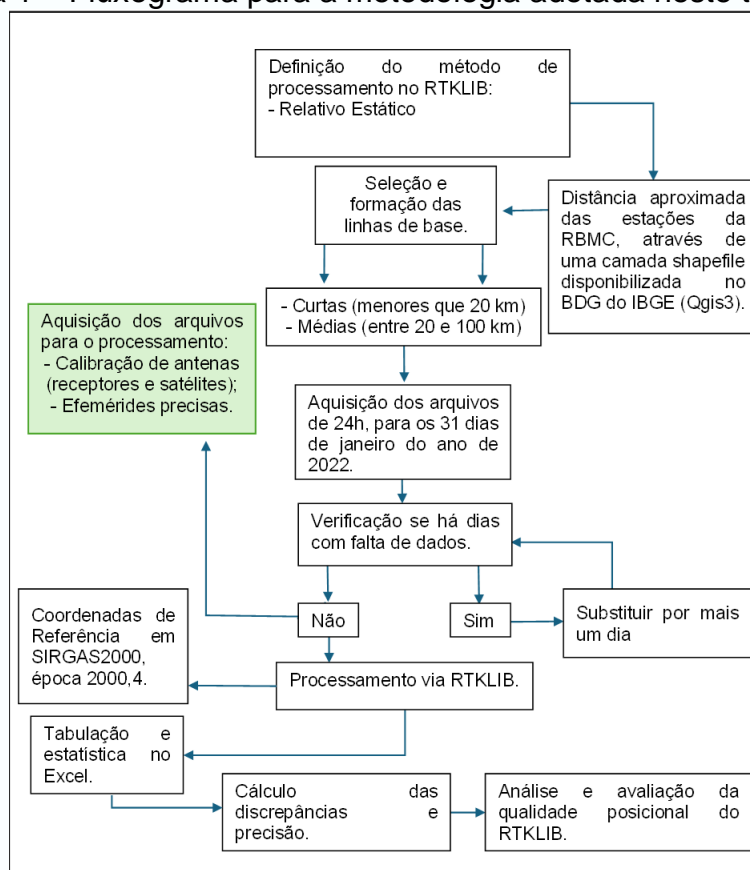
Neste contexto, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade posicional do RTKLIB, determinando para isso sua precisão e a discrepância posicional. Avaliou-se a discrepância posicional das coordenadas estimadas em função do intervalo de rastreamento (30, 60 e 90 minutos); e na sequência, a análise da qualidade posicional das coordenadas estimadas em função dos comprimentos das linhas de base, englobando linhas de base curtas e médias (2,3 a 85,3 km).

Diferentes estudos propuseram a utilização do Software RTKLIB porém não tiveram como objetivos avaliar os seus resultados sobre estações de referências conhecidas. Facin (2016) propôs o uso do software RTKLIB em conjunto com uma solução GNSS para posicionamento RTK de baixo custo, baseado em um receptor GPS u-blox (sinal L1 e constelação GPS). Os resultados indicaram que, dependendo da solução RTK empregada (fixa ou flutuante), o posicionamento alcançou uma precisão de menos de 1 metro e uma precisão dentro de uma faixa similar para linhas de base não superiores a 10 km. Conforme previsto, o desempenho se deteriorou com o aumento dos comprimentos da linha de base. As avaliações cinemáticas demonstraram uma precisão de até 1,5 metros e podem ser utilizadas como um produto para estimativa de rotas.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser representada pela Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma para a metodologia adotada neste trabalho



Fonte: Autores (2024).

Para este trabalho foram utilizados dados da RBMC, ao longo de 31 dias do mês de janeiro de 2022, entre estações que formaram linhas de base entre 2,3 e 85,3 km de extensão.

As distâncias foram definidas no programa QGIS, sobre uma camada shapefile de pontos com a localização geográfica dessas estações. Dados estes que fazem parte de um conjunto de informações sobre as estações de referência da RBMC, disponibilizado pelo IBGE. Após a conexão das feições pontuais, procedeu-se com a calculadora de campo pela tabela de atributos, determinando-se assim estas distâncias com auxílio da função length.

A Tabela 1 mostra os comprimentos das linhas de base em ordem crescente utilizadas no processamento via RTKLIB.

Tabela 1 – Linhas de base formadas e suas respectivas distancias aproximadas

Linhas de base curtas		Linhas de base médias	
Base – Rover	Distância aproximada (km)	Base – Rover	Distância aproximada (km)
IFSC – SCFL	2,30	POLI – EACH	24,94
UBE1 – MGUB	7,21	SPC1 – SPBP	55,54
RJNI – ONRJ	9,36	SPDR – PPTTE	74,41
MGJP – MGBH	10,80	SJSP – UBA1	82,57
APS1 – APMA	14,08	PBPT – PEAFF	85,24

Fonte: Autor

De acordo com a tabela 1, foram tomadas 5 linhas de base curtas (< 20 km) e 5 linhas de base médias (> 20 km e < 100 km).

Para verificar a qualidade no posicionamento do programa livre RTKLIB, as coordenadas estimadas foram comparadas com as coordenadas oficiais das estações rover da tabela 1, permitindo calcular as discrepâncias tridimensionais.

As coordenadas adotadas das estações bases da RBMC estão em SIRGAS2000, época 2000,4. Desta forma, as coordenadas estimadas no posicionamento relativo também estão referenciadas ao SIRGAS2000, época 2000,4. Deste modo não houve a necessidade de transformar o referencial e compatibilizar a época das coordenadas.

Os arquivos de observação com duração de 24 horas de rastreamento das estações da RBMC, para os 31 dias foram obtidos através do seguinte endereço eletrônico: <https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/dados/2022/>.

As efemérides precisas foram obtidas no seguinte endereço eletrônico: <<http://ftp.aiub.unibe.ch/>>. Para isso deve-se ter o conhecimento da semana GPS, que pode ser acessada no seguinte endereço eletrônico: <<https://www.gnsscalendar.com/>>. Há vários centros de análise que estimam as efemérides precisas dos satélites das constelações GPS e GLONASS. Neste trabalho optou-se em utilizar os mesmos produtos que são recomendados para utilização no processamento do programa científico Bernese, referência em pesquisas com GNSS.

Assim como os softwares comerciais, é possível importar e atualizar os arquivos de calibração das antenas dos receptores GNSS, obtendo-se uma listagem com os parâmetros de calibração para diversos fabricantes e diferentes modelos, no seguinte endereço eletrônico: <<https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/>>. Neste caso, deve-se

pesquisar pelo modelo da antena de acordo com a data do processamento. Essa informação pode ser obtida nos descritivos das estações da RBMC ou diretamente nos arquivos RINEX de observação.

Os arquivos de calibração das antenas dos satélites foram acessados no seguinte endereço eletrônico: <https://files.igs.org/pub/station/general/pcv_archive/>. Onde foi buscado pelo arquivo mais recente, para a presente data de processamento, o igs14_2194.atx, que teve sua última modificação em 2022-01-24 15:25.

Como mostra a figura 01, para correção da troposfera, foi aplicado o modelo de Saastamoinen. Foram utilizados dados das duas portadoras L1 e L2, o que permitiu configurar no processamento dos dados a combinação linear livre dos efeitos da ionosfera (Iono_Free). Foram processados dados das constelações GPS e GLONASS e foi adotada máscara de elevação igual a 15 graus.

Deste modo procedeu se com o posicionamento relativo estático com variações de 30, 60 e 90 minutos nos intervalos de rastreamento. Como foram processadas 10 linhas de base, englobando todos os 31 dias de janeiro de 2022, chegou se em um total de 930 processamentos. Na sequência, as informações referentes aos resultados do processamento foram tabuladas em planilhas eletrônicas.

Segundo Galo e Camargo (1994), a verificação da qualidade pode ser obtida por análise de precisão e da discrepância para então examinar a qualidade.

As discrepâncias foram obtidas segundo as equações (1) e (2), pela diferença das coordenadas estimadas em relação as de referência presentes nos descritivos das estações rover do IBGE.

$$(d_x, d_y, d_z) = (X_{RTKLIB} - X_{Ref}, Y_{RTKLIB} - Y_{Ref}, Z_{RTKLIB} - Z_{Ref}) \quad (1)$$

Em que:

$X_{RTKLIB}, Y_{RTKLIB}, Z_{RTKLIB}$: coordenadas cartesianas geocêntricas estimadas com o RTKLIB;

d_x, d_y, d_z : discrepância para cada componente;

$X_{Ref}, Y_{Ref}, Z_{Ref}$: coordenadas cartesianas de referência;

Assim chega se a discrepância 3D pela Equação 6 a seguir;

$$d_{3D} = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2} \quad (2)$$

Na sequência, podem ser estimadas a média e o RMS das discrepâncias como mostram as equações (3) e (4).

$$\overline{d_{3D}} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{3D}}{n} \quad (3)$$

$$RMS_{3D} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (d_{3D})^2} \quad (4)$$

Onde, n é o número de elementos da amostra e $\overline{d_{3D}}$, a média das discrepâncias 3D.

Posteriormente foram calculadas as resultantes tridimensional das discrepâncias e o desvio padrão das discrepâncias, para analisar a precisão das coordenadas, que é dado pelas equações (5) e (6):

$$\sigma_{3D} = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 + (\sigma_z)^2} \quad (5)$$

$$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\sigma_{3Dj} - \overline{\sigma_{3Dj}})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Onde:

DPD: desvio padrão das discrepâncias tridimensionais;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Valor das incertezas nas componentes x, y e z;

σ_{3Dj} : Valor da precisão na posição j do conjunto de dados;

$\overline{\sigma_{3Dj}}$: Média aritmética do conjunto de dados.

Convém destacar que, embora as análises tenham sido realizadas a partir das coordenadas cartesianas geocêntricas tridimensionais, estas podem ser facilmente convertidas para o Sistema Geodésico Local (SGL) ou ainda para Latitude e Longitude e posteriormente para o um Plano Topográfico Local (PTL), sendo o PTL e SGL mais utilizados em aplicações do cadastro territorial multifinalitário.

Salienta-se que em todos os dias para todas as estações GNSS os dados estavam disponíveis no IBGE. No próximo tópico serão mostrados os resultados obtidos, bem como a análise e discussão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados obtidos, foram calculados, para cada intervalo de tempo e para cada estação (rover), considerando as discrepâncias estimadas, a amplitude da resultante, valor máximo (Max), valor mínimo (Min), a média (Média) e o RMSE. Na última coluna são ilustrados os desvios padrões das discrepâncias (DPD) das resultantes tridimensionais estimadas pelo RTKLIB (Tabela 2). Nesta tabela são apresentados os resultados em ordem crescente referente as linhas de base curtas (<20 km).

Tabela 2 - Linhas de base curtas em ordem crescente (< 20 km).

Tempo (min)	Estação	Amplitude (metros)	Min (metros)	Max (metros)	Média (metros)	RMSE (metros)	DPD (metros)
30	SCFL (2,3 km)	0,306	0,024	0,330	0,088	0,103	0,014
60		0,129	0,016	0,145	0,064	0,069	0,008
90		0,097	0,016	0,112	0,056	0,061	0,006
30	MGUB (7,2 km)	0,809	0,030	0,839	0,155	0,237	0,027
60		0,465	0,014	0,480	0,107	0,157	0,006
90		0,347	0,019	0,366	0,079	0,101	0,007
30	ONRJ (9,4 km)	0,204	0,031	0,235	0,089	0,099	0,021
60		0,110	0,005	0,115	0,054	0,060	0,008
90		0,113	0,016	0,129	0,050	0,057	0,006
30	MGBH (10,8 km)	0,256	0,042	0,298	0,110	0,126	0,012
60		0,082	0,018	0,099	0,056	0,061	0,007
90		0,084	0,021	0,105	0,047	0,051	0,004
30	APMA (14,1 km)	0,496	0,022	0,519	0,124	0,154	0,021
60		0,159	0,026	0,185	0,072	0,078	0,004
90		0,099	0,025	0,124	0,061	0,067	0,005

Fonte: Autores (2024)

Pela tabela 2, percebe-se que os DPDs não ultrapassam 3,0 cm. Em todas as linhas de base, a partir do processamento com 60 minutos de intervalo de coleta, o valor do DPD melhora uma ordem de magnitude centímetro para milímetro.

Embora os resultados considerem a componente altimétrica, as discrepâncias obtidas estão compatíveis com o levantamento cadastral territorial para registro público, conforme ABNT NBR 17.047 (2022), que estabelece uma precisão horizontal de 0,08 m ou discrepância horizontal de 0,24 m entre dois levantamentos para fins de georreferenciamento de imóveis urbanos. Considerando-se ainda o Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA, aplicado ao cadastro rural, os resultados também se apresentam suficientes, uma vez que foi estabelecida uma precisão horizontal melhor ou igual a 0,50 m para vértices situados em limites artificiais; melhor ou igual a 3,00 m para vértices situados em limites naturais e melhor ou igual a 7,50 m para vértices situados em limites inacessíveis, com tolerância admitida de até três vezes o valor da precisão para o tipo de limite, entre os valores de coordenadas de um ou mais vértices da parcela certificada em relação ao valor apurado por outro credenciado (INCRA, 2022).

Os piores resultados ocorrem na estação MGUB, o que não era esperado, pois formou com a estação base a segunda menor linha de base (7,2 km). Nesta estação com 30 minutos de processamento ocorreram os maiores valores de DPD (0,027m), de RMSE (0,237 m) e o maior valor de amplitude das discrepâncias (0,809 m). Em contrapartida, com intervalo de processamento de 60 minutos, o DPD estimado é de apenas 0,006 m, compatível com todas as outras linhas de base. Porém, o RMSE continua sendo o maior valor (0,157 m) em comparação com as outras linhas de base com intervalo de 60 minutos, indicando provável efeito sistemático residual no processo de modelagem dos erros. Mesmo considerando o intervalo de processamento igual a 90 minutos, a estação MGUB continuou apresentando RMSE decimétrico, ao contrário das outras linhas de base, que apresentaram RMSE centimétrico.

Em termos do DPD percebe-se que com apenas 30 minutos de processamento, o menor valor encontrado foi na estação MGBH, igual a 0,012 m.

Nota-se que o menor valor para o desvio padrão de todas as estações foi a de 0,004 m para estação APMA, com intervalo de 60 minutos de processamento de dados e não com 90 minutos, e cuja extensão é cerca de 14,08 km.

Na tabela 3 são apresentados os resultados para as linhas de base de comprimento médio (> 30km e <100 km) em ordem crescente.

Observa-se neste caso que os DPDs, se comportam de maneira muito próxima as linhas de base curtas. Do mesmo modo, todos valores de DPD foram menores que 3,0 cm. Contudo, a partir da linha de base de 74,4 km e com intervalos de 60 e 90 minutos, em todos os casos, os DPDs são centimétricos (considerando o arredondamento da estação UBA1 com 90 minutos de processamento – 0,009 para 0,010 m).

Tabela 3 - Linhas de base médias em ordem crescente (24,9 a 85,3 km).

Tempo (min)	Estação	Amplitude (metros)	Min (metros)	Max (metros)	Média (metros)	RMSE (metros)	DPD (metros)
30	EACH (24,9 km)	0,141	0,030	0,171	0,099	0,105	0,014
60		0,356	0,015	0,371	0,088	0,108	0,004
90		0,158	0,013	0,171	0,065	0,074	0,005
30	SPBP (55,5 km)	0,482	0,050	0,532	0,138	0,165	0,016
60		0,175	0,024	0,200	0,104	0,111	0,004
90		0,290	0,026	0,317	0,104	0,118	0,005
30	PPTTE (74,4 km)	0,834	0,039	0,873	0,194	0,241	0,029
60		0,327	0,051	0,378	0,118	0,133	0,012
90		0,276	0,042	0,318	0,114	0,128	0,011
30	UBA1 (82,6 km)	0,792	0,814	0,022	0,172	0,224	0,018
60		0,252	0,260	0,008	0,114	0,130	0,013
90		0,180	0,199	0,019	0,089	0,098	0,009
30	PEAF (85,2 km)	0,497	0,050	0,548	0,149	0,179	0,014
60		0,193	0,025	0,218	0,115	0,126	0,013
90		0,231	0,024	0,255	0,100	0,113	0,010

Fonte: Autores (2024)

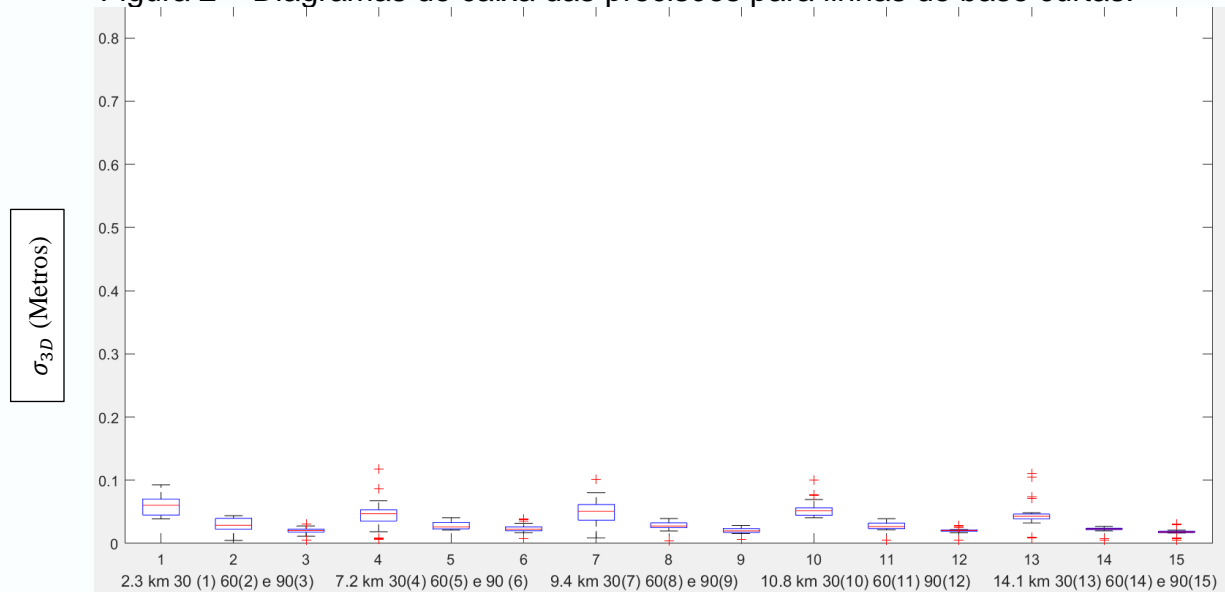
Nas linhas de base curtas, dos 15 valores de RMSE, em 9 casos seus valores foram centimétricos, enquanto nas linhas de base médias apenas em dois casos foram centimétricos. Porém, o maior valor de RMSE ocorreu com a estação MGUB, igual a 0.237 m (a segunda menor linha de base – 7,2 km). Os valores médios de discrepância em 4 situações foram decimétricos para as linhas de base curtas, enquanto no caso das linhas de base médias em 11 situações foram decimétricas.

Nota-se que a maior amplitude é de 0,834 m, para a estação PPTTE (74,4 km), com 30 minutos de dados processados. Valor muito próximo também a maior amplitude (0,809 m) que é encontrada no processamento de linhas de base curtas (MGUB, 7,2 km, com 30 minutos de intervalo de rastreamento).

Conforme supracitado, o resultado que mais chamou a atenção se refere a estação MGUB, pois apresentou um dos piores resultados. Destaca-se que neste caso, os modelos de receptores e antenas utilizados são diferentes (UBE1 e MGUB). Além disso, em nenhuma das estações tem antena do tipo chock ring instalada. Esses modelos de antenas foram construídos com o objetivo de tentar rejeitar sinais refletidos (multicaminho). Diante do exposto, os efeitos residuais das duplas diferenças podem ter sido aumentados, comprometendo a acurácia do posicionamento.

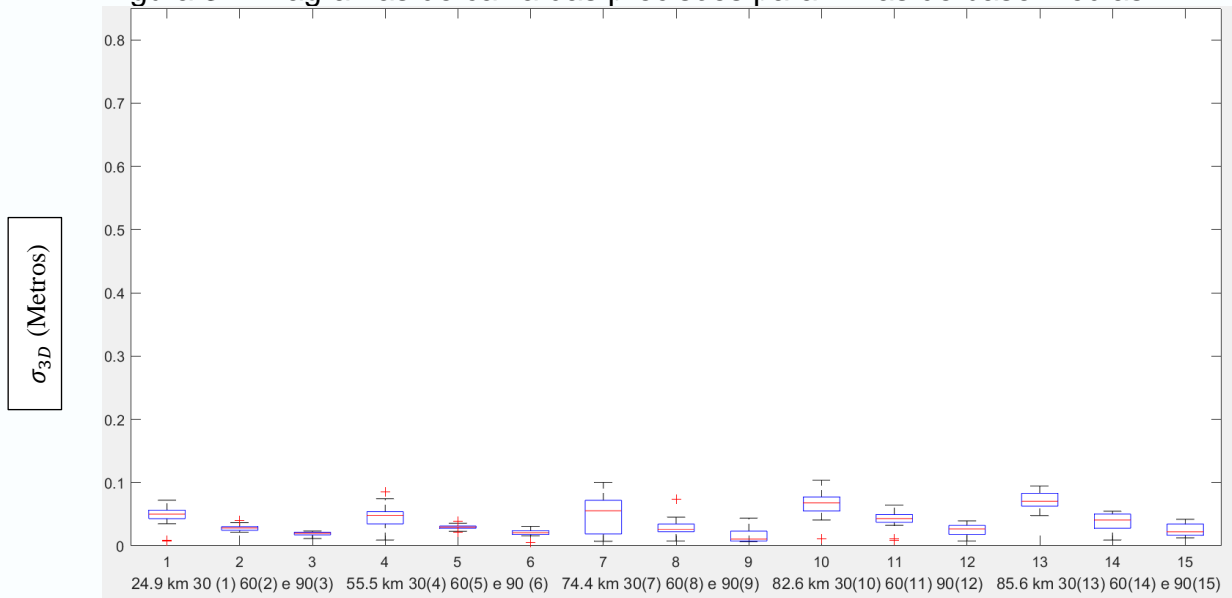
As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, os diagramas de caixas (box plot) das precisões tridimensionais para linhas de base curtas e médias. No eixo x são identificadas as linhas de base em ordem crescente em função dos comprimentos das linhas de base (de acordo com a tabela 02). Também são indicados os comprimentos das linhas de base e os tempos de rastreamento (30, 60 e 90 minutos). As escalas adotadas são as mesmas que foram adotadas para as discrepâncias posicionais (Figura 5 e 6), permitindo, desta forma, uma análise comparativa mais adequada.

Figura 2 – Diagramas de caixa das precisões para linhas de base curtas.



Fonte: Autores (2024)

Figura 3 – Diagramas de caixa das precisões para linhas de base médias

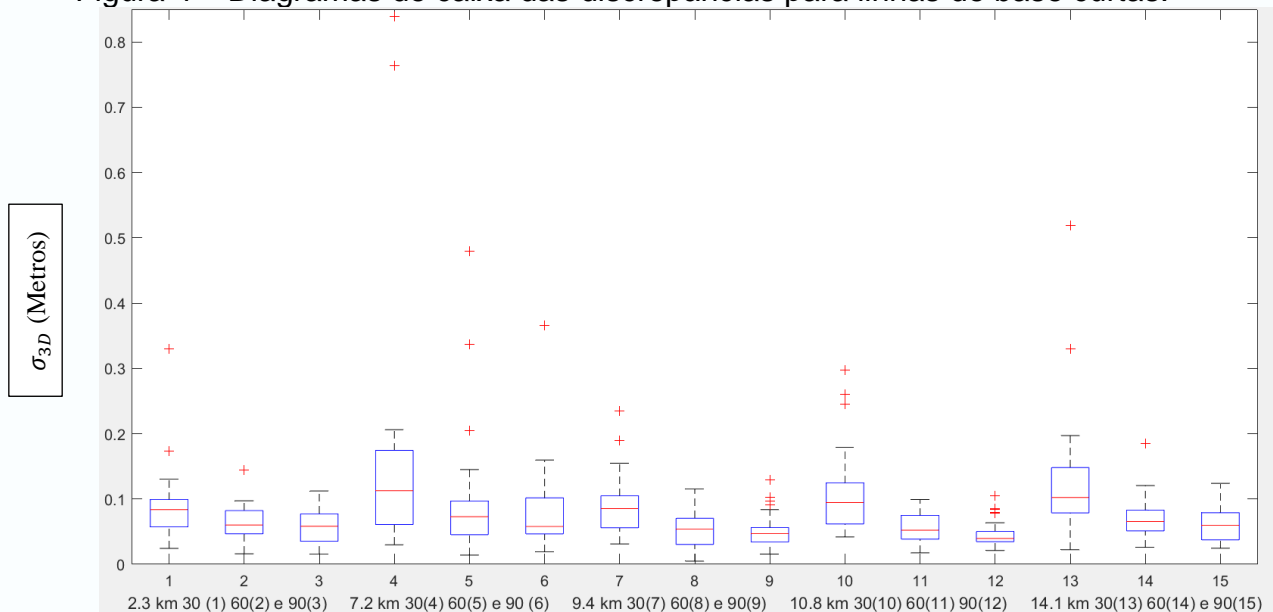


Fonte: Autores (2024).

De acordo com os resultados apresentados nas figuras 2 e 3, nota-se claramente o efeito do intervalo de processamento na precisão do posicionamento, principalmente no caso das linhas de base curtas. Verifica-se também a existências de poucos outliers embora as linhas de base curtas apresentam mais outliers do que as linhas de base médias.

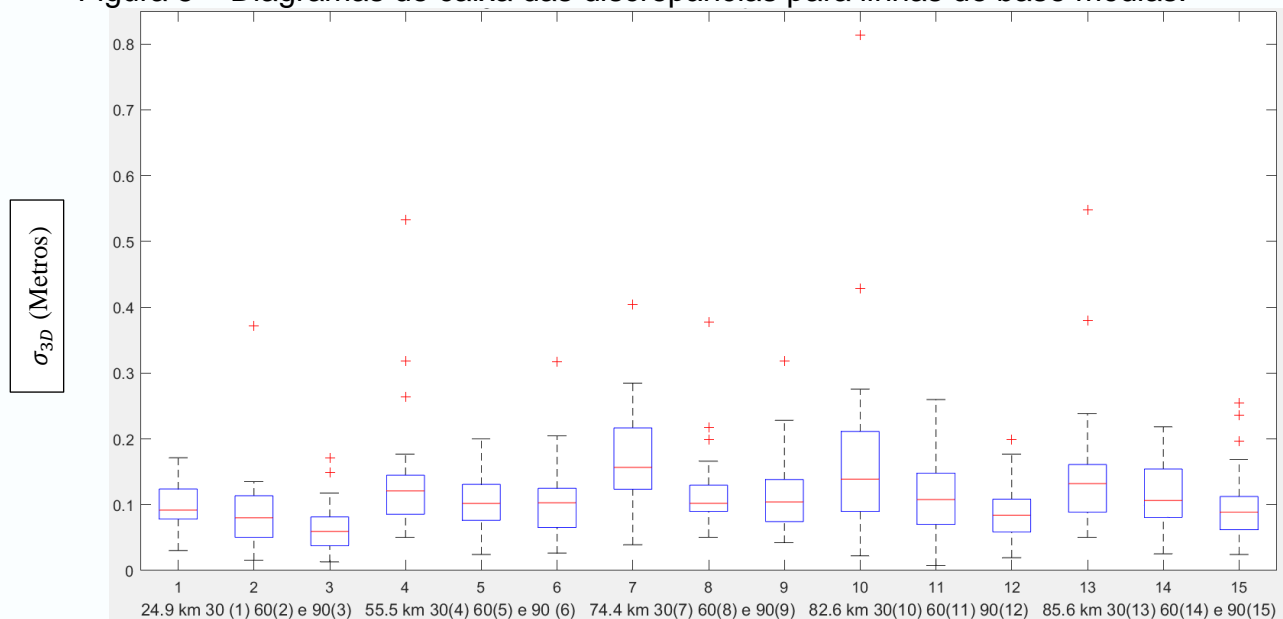
As Figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, os diagramas de caixas (box plot) das discrepâncias tridimensionais para linhas de base curtas e médias.

Figura 4 – Diagramas de caixa das discrepâncias para linhas de base curtas.



Fonte: Autores (2024).

Figura 5 – Diagramas de caixa das discrepâncias para linhas de base médias.



Fonte: Autores (2024).

De acordo com os resultados dos diagramas de caixa das discrepâncias, verifica-se um aumento significativo de outliers, bem como maior variabilidade dos valores quando comparados com a precisão. Considerando todas as linhas de base, foram identificados 6 outliers maiores do que 0.50 m.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para este trabalho de avaliação da qualidade do programa RTKLIB, percebe-se como que é importante uma análise separada da discrepância e da precisão. De fato, os resultados mostram que neste caso, as discrepâncias são mais significativas do

que as precisões que o programa fornece ao fim de cada processamento. Além disso, foi possível notar uma precisão muito boa trabalhando nestas condições impostas ao programa, visto que foi muito pequena variabilidade das incertezas, variando bem menos do que as discrepâncias.

Conclui-se que o RTKLIB é uma boa alternativa para posicionamento relativo com GNSS, com compatibilidade para processamento de dados GNSS aplicados ao Cadastro Territorial, visto que se trata de um programa livre. Apresenta possibilidades de alteração na estratégia de processamento, o que é atrativo para os usuários com uma compreensão mais avançada acerca do posicionamento com GNSS.

Conforme supracitado, a precisão é um tanto otimista se comparada com a discrepância elevada percebida em vários casos aqui estudados, o que revela a possível influência de erros sistemáticos residuais no processamento. Contudo, diante dos resultados obtidos, a partir de 60 minutos de intervalo de coleta, na maioria dos casos, as discrepâncias são centimétricas.

Recomenda-se para trabalhos futuros comparar os resultados fornecidos pelo RTKLIB com programas comerciais de processamento de dados e também outros softwares científicos de alta precisão para o processamento de dados GNSS, como o GNSS-UFV que se encontra disponível na página <<http://gnss.ufv.br>>. Neste caso com aplicação de testes de hipóteses ou de correlação entre as amostras proporcionadas pelos programas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17.047: Levantamento cadastral territorial para registro público — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2022.

FACIN, P. L. M. **Análise da Acurácia e da Precisão do Posicionamento RTK Utilizando o Receptor U-Blox Lea-6t e o Software RTKLIB**. São Paulo, 2016. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **O uso de GPS no controle de qualidade de cartas**. 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Santa Catarina, Brasil, 1994.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more**. New York: Springer-Verlag, 516p, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, - RBMC - Rede brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico.html>>. Acessado em 13 de julho. 2022

IBGE – **Recomendações Para Levantamentos Relativos Estáticos**. Retirado de: <https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf>. Acessado em: 19/07/2022

IBGE – **IBGE-PPP: Serviço on-line para pós-processamento de dados GNSS**. Rio de Janeiro, RJ. 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>>. Acessado em: 19/07/2022

INCRA. **Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília, 2022.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamento e Aplicações. 2 ed, São Paulo- SP, Editora UNESP, 2008.

RTKLIB – on line – endereço eletrônico: <https://rtklib.com/>, acessado em julho de 2022.
Takasu T and Yasuda A. Development of the low-cost RTKGPS receiver with an open source program package RTKLIB. In: International Symposium on GPS/GNSS, Jeju, Korea, 4–6 November 2009.

WELLS, D. et al. Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1986.