

RECEPTORES DE SINAIS DO SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE SUBMETIDOS A INTERFERÊNCIAS FÍSICAS

JOÃO LUIZ JACINTHO¹, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ², LUCAS SANTOS SANTANA³, PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO FERRAZ⁴

¹ Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG, Campus Araçuaí BR 367, km 278, s/n - Zona Rural, 39600-000, Araçuaí - MG, Brasil. joao.jacinto@ifnmg.edu.br.

² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Aqueanta Sol, 3037, 37200900, Lavras - MG, Brasil. gabriel.ferraz@ufla.br.

³ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Aqueanta Sol, 3037, 37200900, Lavras - MG, Brasil. lucas.santana1@estudante.ufla.br.

⁴ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Aqueanta Sol, 3037, 37200900, Lavras - MG, Brasil. patricia.ponciano@ufla.br.

RESUMO: Incertezas são encontradas em trabalhos com receptores do Sistema Global de Navegação por Satélite GNSS. Diante disso, objetivou-se com este estudo investigar a influência de obstáculos físicos nos erros de acurácia e precisão em levantamentos com receptores GNSS e suas aplicações agrícolas. Foram implantados quatro pontos de controle rastreados no modo estático (base) e oito pontos de estudos rastreados no modo cinemático em tempo real (RTK) e Estático Rápido (ER), utilizando um par de receptores GNSS e um par de receptores GNSS-RTK. Os níveis de acurácia e precisão foram avaliados em oito pontos obtidos por rastreios do tipo ER e RTK. Combinados com quatro bases fixas, alocados de três formas: mínima, média e alta interferência física. Pontos provenientes do levantamento RTK, apresentaram diferenças na ordem de milímetros a centímetros, quando comparados às coordenadas obtidas do levantamento (ER). Para os níveis de obstrução, a mínima interferência apresentou erro dentro dos limites estipulados pelo equipamento, a máxima interferência apresentou menor acurácia. O efeito do multipercurso do sinal foi o fator mais determinante para a redução da acurácia das coordenadas dos pontos. Recomenda-se a aplicação do levantamento RTK para trabalhos onde a precisão das coordenadas seja mais relevante que a acurácia.

Palavras-chaves: Geodésia, levantamento planialtimétrico, acurácia, precisão.

GLOBAL SATELLITE NAVIGATION SYSTEM RECEIVERS SUBMITTED TO PHYSICAL INTERFERENCES

ABSTRACT: Uncertainties are found in works with Global Navigation Satellite System receivers (GNSS). Therefore, this study aimed to investigate influence physical obstacles on accuracy and precision errors in surveys with GNSS receivers and their agricultural applications. Four control points tracked in static (base) mode and eight study points tracked in a kinematic mode in real-time (RTK) and Fast Static (ER) were implemented, using a pair of GNSS receivers and pair of GNSS-RTK receivers. Accuracy levels and precision were evaluated at eight points obtained by ER and RTK, combined with four fixed bases, allocated in three ways: minimal, medium and high physical interference. RTK survey points showed differences order millimeters to centimeters when compared to the survey (ER) coordinates. The obstruction levels, interference minimum, had an error within limits stipulated by equipment, interference maximum showed low accuracy. RTK survey is recommended for jobs where the coordinate precision is more relevant than accuracy.

Keywords: Geodesy, planialtimetric survey, accuracy, precision.

1 INTRODUÇÃO

Obtenção de medidas por meio do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) tem se tornado usual para vários profissionais e pesquisadores, trazendo ao campo da altimetria e planimetria soluções de alta precisão. Quando comparados a ferramentas convencionais de topografia, equipamentos de geolocalização vêm ganhando espaço. O grupo GNSS atualmente em atividade reúne o Sistema de Posicionamento Global GPS dos Estados Unidos, a Órbita da Federação Russa GLONASS, o GALILEO da Europa, o BEIDOU da China e o Sistema Regional de Navegação por Satélite (IRNSS) da Índia. (XIE et al., 2018 e ODOLINSKI et al., 2015).

Diante das várias aplicações, os receptores GNSS tendem a ser aprimorados, com melhorias no processo de coleta e aumento de acurácia, como a correção dos dados em tempo real (CELLMER et al., 2013). O levantamento RTK é uma técnica que utiliza dois receptores GNSS: um estático estacionado em uma base conhecida e um móvel (BERBER e ARSLAN (2013). Esse levantamento consiste na integração de múltiplas observações do sistema GNSS, onde os dados coletados pela estação estática permitem a correção simultânea dos dados coletados pelo equipamento móvel em tempo real (PAZIEWSKI e WIELGOSZ 2017).

Aplicação de receptores GNSS aos sistemas de navegação e geolocalização moderna oferecem oportunidades de gerenciamento preciso em vários seguimentos, principalmente em agricultura (KABIR et al., 2016). A integração de informações georreferenciadas tem se tornado importante em operações agrícolas. Comumente utilizadas na análise de variabilidade espacial, demarcação de áreas agricultáveis, definição de curvas de nível, averbação de áreas urbanas e rurais, locação de construções e empreendimentos rurais (KUMHÁLOVÁ e MOUDRÝ 2014). Nesse contexto, emerge um

modelo agrícola moderno denominado Agricultura de Precisão (AP). Definido como um conjunto de técnicas e tecnologias que incluem sistemas de monitoramento de produtividade, aplicações em taxas variáveis nos sistemas de fertilização, sistemas de navegação para veículos (piloto automático) e sistemas de controle de monitoramento de semeadura georreferenciada (XIANG et al., 2016).

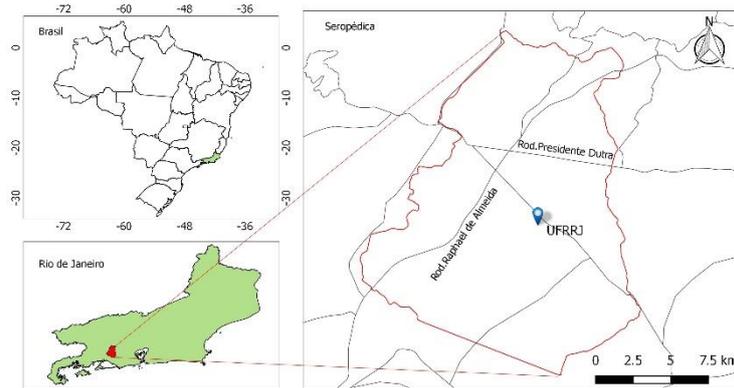
Apesar da alta precisão apresentada em levantamentos em modo cinemático, algumas considerações devem ser feitas sobre esse tipo de levantamento. Considerado um método rápido na coleta de dados, alguns profissionais ignoram a importância da conexão com a base, comprometendo seus valores de acurácia por não se atentar a barreiras físicas e interferências externas, como prédios, árvores, linhas de transmissão entre outros. O método de posicionamento RTK tem sido amplamente empregado e é capaz de proporcionar ao usuário um posicionamento na ordem de poucos centímetros (BARBOSA, 2010; MONICO, 2008).

O Brasil é considerado uma fronteira agrícola mundial e depende do aperfeiçoamento de processos para alcançar agilidade nos processos gerenciais. Os sistemas GNSS se apresentam como ferramenta de inovação, principalmente na melhoria dos processos agrícolas e no ordenamento territorial. A interferência de sinais por barreiras físicas pode comprometer o desempenho em algumas operações cinemáticas reduzindo a precisão dos levantamentos que utilizam o GNSS. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a técnica de posicionamento RTK em situações de obstáculos e suas aplicações agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus Seropédica (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização (UFRRJ) Campus Seropédica – Rio de Janeiro.



Considerando a necessidade de simular situações próximas à realidade agrícola, o local escolhido para o estudo possuía construções que se aproximam de residências de até dois pavimentos, cercado de vegetação e instalações elétricas. A avaliação ocorreu no entorno do Instituto de Tecnologia da (UFRRJ), onde seus prédios serviram de obstáculos para a linha base dos levantamentos (Figura 2). Nessa área, foram avaliados possíveis locais para materialização dos pontos, com objetivo de garantir a análise de interferência entre a estação estática e a móvel. Divididos em pontos

de controle (E) e pontos de estudo (L), foram materializados quatro pontos de controle (E00, E01, E03 e E04) e oito pontos de estudos (L01, L02, L03, L04, L05, L06, L07 e L08).

A proximidade das construções e das árvores pode servir como agravante no efeito multipercurso, possibilitando análise da qualidade dos dados compilados. Descrito por Chen (2018), o efeito de multipercurso é um fenômeno que desvia os sinais de rádio, considerado um fator importante no desempenho do receptor GNSS.

Figura 2. Localização dos pontos no Campus Seropédica (UFRRJ).



No levantamento, foram utilizados dois receptores GNSS, modelo HiPer Lite+ com precisão no modo estático de 3 mm + 0,5 ppm, modelo Promark 200, com precisão de 10 mm + 1 ppm no modo cinemático em tempo real, com conjunto de comunicador de rádio modelo Pacific Crest. Foi necessário o uso de distintos aparelhos, pois para utilização de Estação Geodésica SAT 93819, foi utilizado o receptor GNSS, modelo Hiper Lite+ fixo, operando simultaneamente com um receptor idêntico configurado para o levantamento relativo estático e para o levantamento estático rápido. O conjunto de receptores GNSS, modelo Promark 200, operou no modo cinemático em tempo real (RTK).

O trabalho de campo teve início com a implantação de pontos de controle (Figura 2) e suas coordenadas foram obtidas por meio do levantamento relativo estático, utilizando um par de receptores GNSS modelo Hiper Lite+,

com um período de ocupação mínimo de 60 minutos em duas séries, utilizando como base o ponto planimétrico SAT 93819. Essas coordenadas serviram como valores de referência para analisar os resultados encontrados no levantamento cinemático em tempo real e no levantamento estático rápido.

A utilização de diferentes pontos como base objetivou avaliar a influência da distância entre base e pontos de estudo, e também verificar o efeito de obstáculos próximos aos pontos observados. Para isso, foram selecionados pontos com diferentes situações de obstáculos, classificados em três níveis de presença de obstáculos: mínimo, médio e máximo. Com intuito de observar diferenças entre os níveis de interferências, foram alocados oito pontos de estudo, (Figura 2) (L01, L02, L03, L04, L05, L06, L07 e L08), para posteriormente realizar os levantamentos estático rápido e cinemático em tempo real.

Tabela 1. Distância (m) entre pontos de estudo (L) e pontos de controle (E).

	E00	E01	E03	E04
L01	66,692	8,618	96,525	166,809
L02	64,208	6,435	94,267	164,856
L03	61,542	4,617	91,775	162,656
L04	59,068	3,801	89,525	160,705
L05	32,744	30,603	60,477	133,485
L06	30,310	32,783	58,401	131,812
L07	27,836	34,793	56,625	130,492
L08	25,386	37,001	54,716	128,984

Foram realizados com as mesmas configurações do relativo estático utilizado na estação estática, mas com tempo de rastreamento inferior, proporcionando ganho de tempo nos trabalhos em campo. Na coleta de dados, utilizou-se um par de receptores GNSS modelo Hiper Lite+. Esse levantamento se difere do relativo estático pelo tempo de ocupação que é, no mínimo, 20 minutos em duas séries Simões et al. (2017).

Para a primeira série de levantamento estático rápido, a estação estática foi o ponto E00, com visibilidade para todos os pontos de estudo. Para a segunda série de levantamento, a estação estática foi o ponto E01, que possui visibilidade com os pontos de estudo L01, L02, L03 e L04. Para a terceira série de levantamento, a estação estática foi o ponto

E03, sem visibilidade dos pontos de estudo. Para a quarta série de levantamento estático rápido, a estação estática foi o ponto de estudo E04, sem visibilidade dos pontos de estudo.

Pelo método cinemático em tempo real (RTK), foram efetuados quatro levantamentos dos pontos de estudo, alterando os quatro pontos de controle como bases. A taxa de coleta dos dados foi de 30 leituras consecutivas (ocorrendo em aproximadamente 2 s) e a máscara de elevação de 15°.

Os pontos L05, L06, L07 e L08 foram enquadrados na situação mínima de presença de obstáculos, visto que não se encontram tão próximos dos edifícios do local de estudo; L01 e L02 foram enquadrados na situação média de presença de obstáculos, visto que se encontram próximos apenas de uma árvore de pequeno a

médio porte; L03 e L04 foram colocados na situação máxima de presença de obstáculos, visto que se encontram a poucos metros de uma árvore de pequeno a médio porte e de uma construção de um pavimento.

Para o processamento dos dados adquiridos, foram utilizados os softwares DATAGEOSIS versão 2.3, GNSS SOLUTIONS versão 3.60, AUTOCAD MAP 3D versão 2012. Os ajustes dos dados coletados pela estação estática ocorreram pelo Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), em que os dados são enviados para o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para serem geoposicionados aumentando a precisão e acurácia. Em seguida, os pontos coletados pela estação móvel foram ajustados manualmente no software TOPCON TOOLS versão 8.2, eliminando os alguns erros de rastreamento e realocando as coordenadas com a estação estática pós-processada pelo IBGE. As coordenadas foram processadas no Datum

SIRGAS 2000 e projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, zona 23 S.

Com intuito de analisar o efeito da distância entre a estação estática e a estação móvel nas coordenadas dos pontos de estudo, foram calculadas as variações dos vetores e as diferenças entre as coordenadas obtidas pelas diferentes metodologias (ER) e (RTK) para cada nível de interferência de obstáculos (mínima, média e máxima). Para a análise do efeito do multipercurso, foram calculadas as médias dos vetores e a diferença para cada estação estática conforme os seus níveis de interferência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os erros de desvios padrão para o levantamento (RTK). Diante das variações entre centímetros e milímetros é possível atestar a baixa interferência da distância e obstáculos em relação à precisão dos resultados.

Tabela 2. Desvio padrão das coordenadas dos pontos de estudo.

Ponto de estudo	Desvio Padrão	
	σ_N (m)	σ_E (m)
L01	0,010	0,009
L02	0,013	0,008
L03	0,014	0,010
L04	0,011	0,012
L05	0,015	0,014
L06	0,010	0,005
L07	0,016	0,010
L08	0,008	0,008

As variações encontradas nas estações estáticas estão dentro da tolerância nominal do equipamento na ordem de 1 a 2 cm, podendo ser desconsideradas influências de distância entre a estação estática e a estação móvel. Variações como essas podem ser desconsideradas para efeito da influência da distância entre as estações estáticas e móveis, visto que as flutuações podem ocorrer de forma aleatória. Os resultados apresentados por Dong et al., (2016) asseguram que o efeito de multipercurso é o gargalo no atual posicionamento de alta precisão do GNSS, pois diante das características do ambiente em que se faz o

rastreamento, seus resultados podem se comportar de forma aleatória.

As coordenadas dos pontos de estudo (L), provenientes do levantamento cinemático em tempo real (RTK), apresentaram diferenças na ordem de milímetros a centímetros, quando comparadas com as coordenadas obtidas do levantamento estático rápido (Tabela 3). Diante disso, atesta-se o levantamento do tipo RTK pode substituir o estático rápido (ER) em algumas operações que não exigem precisões milimétricas, como também possuem operações eficientes por conta da rapidez na coleta de dados.

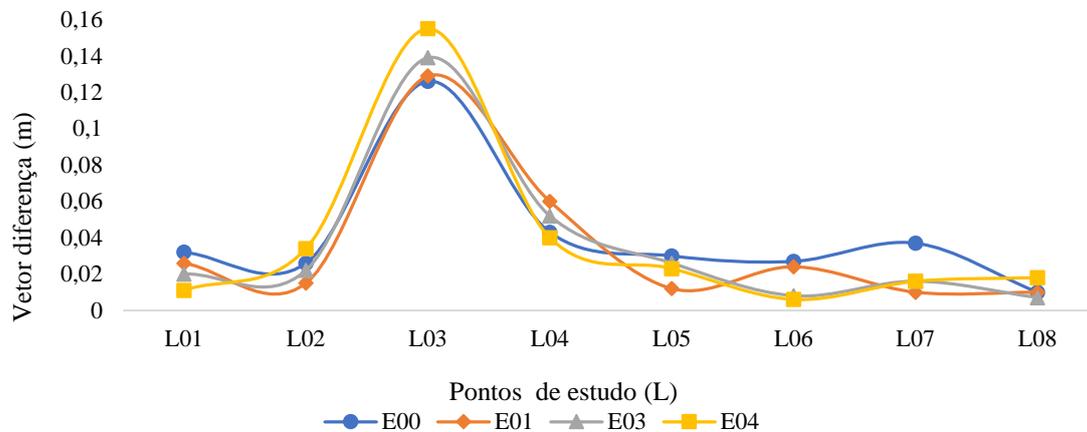
Tabela 3. Diferenças (m) entre coordenadas norte (N) e leste (E), variação por eixo do levantamento cinemático em tempo real (RTK) em relação ao levantamento estático rápido (ER).

	(base E00)		(base E01)		(base E03)		(base E04)	
	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)
L01	+0,030	-0,012	+0,025	-0,004	+0,020	+0,003	+0,007	+0,008
L02	+0,017	-0,020	-0,004	-0,014	-0,011	-0,019	-0,010	-0,033
L03	-0,089	-0,090	-0,107	-0,072	-0,112	-0,083	-0,122	-0,096
L04	-0,037	+0,022	-0,059	+0,011	-0,052	+0,008	-0,039	-0,007
L05	+0,030	+0,002	+0,010	+0,005	-0,005	-0,026	+0,022	-0,005
L06	+0,025	+0,011	+0,023	+0,008	+0,008	+0,001	+0,006	0,000
L07	+0,037	+0,005	0,000	+0,010	+0,011	-0,011	+0,015	-0,006
L08	+0,010	+0,001	-0,009	+0,007	-0,002	-0,002	+0,003	-0,013

Diante dos resultados apresentados na Figura 3, observa-se que o ponto L03 foi o menos acurado seguido do ponto L04. Isto pode ter ocorrido porque esses pontos estão em locais considerados com máxima obstrução do sinal, evidenciando que a obstrução dos sinais pode ocorrer em rastreios do tipo RTK. Quando

considerado o vetor diferença para cada estação estática (E00, E01, E03 e E04), observa-se que a menor dispersão ocorreu para a estação E01, seguida de E03 e E04. Os resultados mais dispersos foram obtidos na estação estática E00.

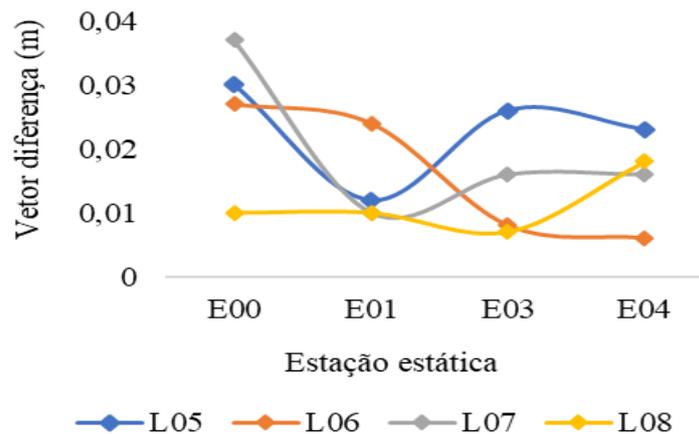
Figura 3. Vetores diferença do levantamento cinemático em tempo real e estático rápido, com base nos pontos E00, E01, E03 e E04.



Na Figura 04 observa-se que os pontos de estudo L06, L07 e L08 possuíram resultados mais acurados para as bases mais distantes (RTK E03 e RTK E04), observando que a

distância entre a estação estática e a móvel não teve relação direta com a qualidade das coordenadas nos pontos de estudo.

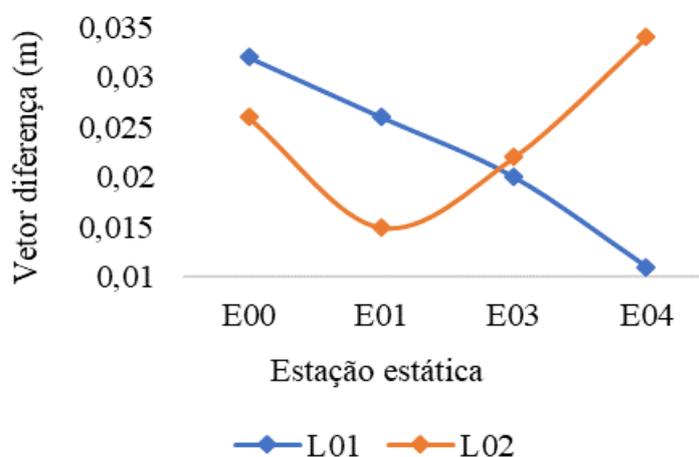
Figura 4. Nível mínimo de obstrução física.



Nos resultados de acurácia apresentados na Figura 5 observa-se que os pontos de estudo com média obstrução (L01 e L02) apresentaram resultados inversos. O ponto L01 obteve maior acurácia quando se distanciou da estação estática enquanto o ponto L02 teve sua acurácia diminuída com o distanciamento da estação

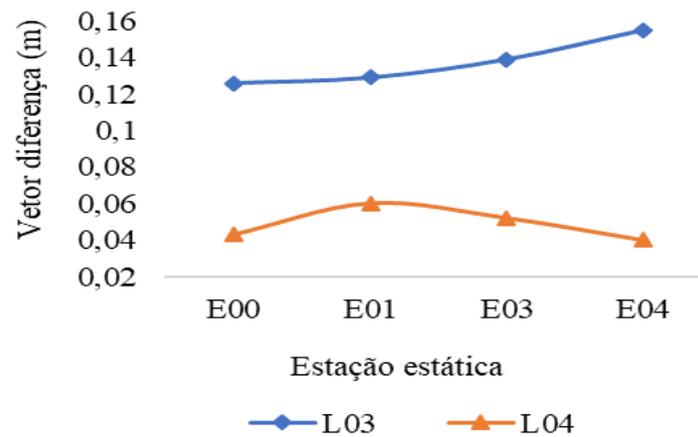
estática. Para esse nível da obstrução nota-se o efeito aleatório de multipercorso, observando a baixa linearidade dessa interferência, porém desconsiderada em relação à precisão em levantamentos, pois a variação mais notável foi na estação E04, variando 2 cm no erro.

Figura 5. Nível médio de obstrução física.



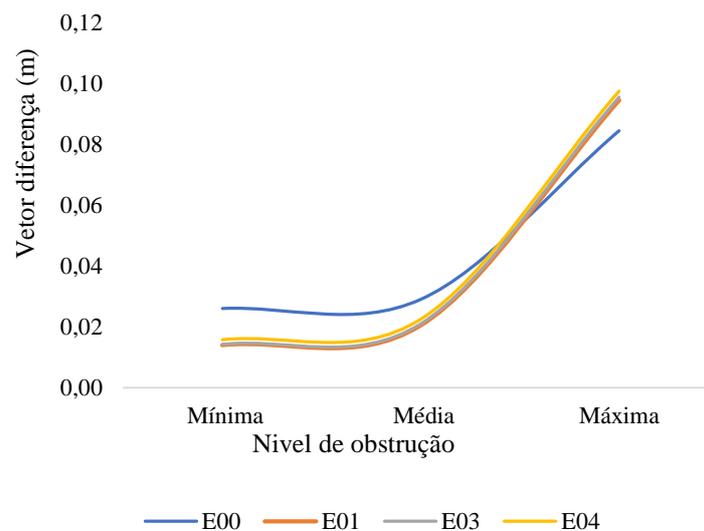
Considerando a dispersão dos resultados obtidos para o vetor diferença em cada estação estática, observa-se na Figura 6, que as dispersões foram consideravelmente

superiores àquelas constatadas para os demais pontos de estudo, com nível mínimo e médio de obstruções. As dispersões observadas foram da ordem de 7 cm a 11 cm.

Figura 6. Nível máximo de obstrução física.

Analisando a acurácia dos vetores diferença para os pontos com nível máximo de obstrução, o ponto L03 variou entre 12cm e 16cm, sendo estes os maiores valores obtidos dentre todos os vetores diferença. O ponto L04 também foi pouco acurado, variando entre 4cm e 6cm, enquanto os pontos em nível mínimo e médio de obstrução obtiveram valores de acurácia máxima de 4 cm. Assim como ocorreu para os pontos em nível médio de obstrução, os pontos L03 e L04 (máxima obstrução) apresentaram resultados com acurácia que variaram diferentemente de acordo com a estação estática utilizada.

Os valores de vetores diferença apresentados na Figura 7, observa-se que o levantamento cinemático em tempo real obteve menor acurácia conforme a quantidade de obstáculos aumentou. Pesquisas de Verhagen et al. (2010) e Moradi et al. (2015) evidenciaram que barreiras físicas entre a estação fixa e a estação móvel, alteram o percurso dos sinais, esses efeitos são conhecidos como multipercursos e alteram a precisão final dos dados. No entanto, é importante salientar que a dispersão dos resultados em torno da média foi moderada para todos os níveis de obstrução do sinal.

Figura 7. Médias (m) dos vetores diferença por níveis de interferência de obstáculo.

Com base nos conceitos de precisão e acurácia, nota-se que, além dos erros aleatórios influentes na precisão e acurácia dos resultados, existiram outros erros do tipo sistemático, uma

vez que os pontos de estudo apresentaram diferentes acurácias. Assim, é possível que o efeito do multipercurso esteja afetando os resultados e tenha sido um fator preponderante

para a diferença de acurácia entre alguns pontos de estudo.

Para levantamentos de alta precisão realizados por meio de receptores GNSS, o efeito multipercurso pode ser considerado como fator limitante de qualidade posicional dos pontos (GAO et al., 2018). Isso demonstra que ao analisar somente a precisão das coordenadas, o usuário pode tomar decisões errôneas quanto à qualidade posicional dos pontos.

Em casos de aplicação RTK para levantamentos cadastrais, os erros gerados pelo efeito multipercurso devem ser levados em conta, pois o produto final desse cadastro constitui em plantas e cartas. O decreto-lei 89.817 (BRASIL, 1984) define valores do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e do seu Erro Padrão (EP), que variam de acordo com a escala dos produtos. De acordo com Alves et al. (2017), os valores são definidos para escalas mais utilizadas entre 1:500 e 1:5.000, considerando que o PEC para cartas da classe (A) correspondem a 0,5 mm na escala da carta, e 0,3 mm para o erro (EP).

Além disso, na utilização de plantas e cartas ocorre o erro de graficismo, também chamado de precisão gráfica, consiste no erro máximo admissível para lançamento de pontos e traçado de linhas na elaboração de desenho topográfico. De acordo com Borges et. al. (2017), seu valor é igual a duas vezes a acuidade visual, ou seja, 0,2 mm na escala da carta. Assim, considerando o erro de graficismo, os valores a serem atendidos para aceitação das coordenadas dos pontos ficam menores que aqueles apresentados para o (EP) de cartas da classe A.

Os resultados obtidos utilizando o levantamento RTK em condições máximas de interferência de obstáculos, pontualmente, permitiriam seu uso para plantas e cartas com escalas de 1:1.000 e de 1:2.000. Entretanto, para os níveis médio e mínimo, quando se obteve acurácia máxima de 4 cm, o levantamento cinemático em tempo real se mostrou aplicável também para a escala de 1:500 (CONCAR, 2015).

O uso de tecnologias GNSS para fins agrícolas, principalmente na agricultura de precisão, depende da escala de estudo e do conhecimento das variáveis a serem estudadas (DELALIBERA et al. 2007). A acurácia encontrada neste experimento se mostra satisfatória para aplicabilidade do levantamento RTK para fins agrícolas, mesmo em situações de obstruções próximas à lavoura, uma vez que sua acurácia foi inferior a 20 cm, atendendo à recomendação de Stabile e Balastreire (2006), que estipularam precisão abaixo de 20 cm, para atender necessidades da agricultura.

Neste caso, recomenda-se a aplicação do levantamento cinemático em tempo real (RTK) para trabalhos em que a precisão das coordenadas exigida é inferior a 3 cm e onde a precisão seja mais relevante que a acurácia.

4 CONCLUSÕES

Houve influência do efeito de multipercurso na qualidade posicional dos pontos dos pontos obtidos pelo método de posicionamento RTK. Quando se consideraram níveis de obstrução baixos ou médios, tanto a precisão quanto a acurácia das coordenadas tiveram valores da ordem de até 4 cm.

As coordenadas dos pontos de estudo obtidas por meio do posicionamento RTK apresentaram valores próximos das coordenadas utilizadas como referência e com erros dentro da tolerância nominal do equipamento.

Com base nos resultados do posicionamento RTK, essa técnica pode contribuir para o aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias de Agricultura de Precisão no Brasil.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro ao projeto ao SESU/PET/MEC pela concessão de bolsa.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, M. M.; SOUZA, A. W. DE; LANA, F. D. A. Georreferenciamento: Regularização de Imóveis Rurais. **Jornal de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**, Uberaba, v. 1, n. 2, p. 20–26, 2017.
- BARBOSA, E. D. M., MONICO, J. F. G., ALVES, D. B. M., & DE OLIVEIRA, L. C. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 16, n. 4, p. 589-605, 2010.
- BORGES, A. F., TIMBÓ, M. A., NERO, M. A., & DA COSTA TEMBA, P. Sistemas geodésicos de referência adotados no Brasil e a conversão dos dados geográficos para o sistema oficial SIRGAS2000: transformações e avaliação de erros. **Revista Geografias**, p. 45-63, 2017.
- BRASIL. Decreto-lei nº 89.917 de 20 de junho de 1984.
- BERBER, M; ARSLAN, N. Network RTK: A case study in Florida. **Measurement**, London, v.46, n.8, p. 2798-2806, 2013.
- CELLMER, S.; PAZIEWSKI, J.; WIELGOSZ, P. Fast and precise positioning using MAFA method and new GPS and Galileo signals. **Acta Geodynamica et Geomaterialia**, Prague, v. 10, n. 4, p. 393–400, 2013.
- CHEN, X. Statistical multipath model comparative analysis of different GNSS orbits in static urban canyon environment. **Advances in Space Research**, Saint-Mandév, v. 62, n. 5, p. 1034–1048, 2018.
- CONCAR. Normas Cartográficas, Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Comissão Nacional de Cartografia. Disponível em:<<https://www.concar.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8> > Acesso em 17 ago. 2018.
- DELALIBERA, H.C.; WEIRICH NETO, P.H.; EURICH, J.; LOPES, A.R.C. Incerteza e precisão de um receptor manual de sinal de satélites (Sistema NAVSTAR-GPS), sem correção diferencial. **Publicatio UEPG, Ciências Exatas, da Terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, Ponta Grossa, v.13, n.1, p.35-40, 2007.
- DONG, D.; WANG, M.; CHEN, W.; ZENG, Z.; SONG, L.; ZHANG, Q.; CAI, M.; LV, J. Mitigation of multipath effect in GNSS short baseline positioning by the multipath hemispherical map. **Journal of Geodesy**, v. 90, n. 3, p. 255-262, 2016.
- GAO, W.; MENG, X.; GAO, C.; PANC, S.; ZHU Z.; XIAC Y. Analysis of the carrier-phase multipath in GNSS triple-frequency observation combinations. **Advances in Space Research**, Saint-Mandé, p. 1–10, 2018.
- GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. W; RAJU, K. S. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. In Editora Pearson. **Elementary surveying: an introduction to geomatics.**, 2008. p. 185-195.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, 2008. v. 46.

- KABIR, M. S. N.; SONG, M. Z.; SUNG, N. S.; CHUNG, S. O.; KIM, Y. J.; NOGUCHI, N.; HONG, S. J. Performance comparison of single and multi-GNSS receivers under agricultural fields in Korea. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 9, n. 1, p. 27–35, 2016.
- KUMHÁLOVÁ, J.; MOUDRÝ, V. Topographical characteristics for precision agriculture in conditions of the Czech Republic. **Applied Geography**, Georgia, v.50, p.90-98, 2014.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações, 2008.
- MORADI, R.; SCHUSTER, W.; FENG, S.; JOKINEN, A.; OCHIENG, W. The carrier-multipath observable: a new carrier-phase multipath mitigation technique. **GPS Solutions**, Berlin, jan. 2015. v.19, p.73-82, 2015.
- ODOLINSKI, R.; TEUNISSEN, P. J. G.; ODIJK, D. Combined BDS, Galileo, QZSS and GPS single-frequency RTK. **GPS Solutions**, Berlin, v.16, n.2, p.147-155, 2015.
- PAZIEWSKI, J.; WIELGOSZ, P. Investigation of some selected strategies for multi-GNSS instantaneous RTK positioning. **Advances in Space Research**, v. 59, n. 1, p. 12–23, 2017.
- RIZOS, C. Alternatives to current GPS-RTK services & some implications for CORS infrastructure and operations. **GPS Solutions**, Berlin, v.11, n.3, p.151-158, 2007.
- SIMÕES, D. P.; ALBARICI, F. L.; BORGES, P. A. F. Análise comparativa das coordenadas no Sistema Geodésico Local e no Sistema Topográfico Local. **Brazilian Journal of Geomatics**, v. 5, n. 1, p. 62-81, 2017.
- STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L. A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.215-223, 2006.
- VERHAGEN, S.; ODIJK, D.; TEUNISSEN, P. J. G.; HUISMAN, L. Performance improvement with low-cost multi-GNSS receivers. Programme and Abstract Book - 5th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, **NAVITEC** 2010.
- XIANG, M.; WEI, S.; ZHANG, M.; LI, M. Z. Real-time Monitoring System of Agricultural Machinery Operation Information Based on ARM11 and GNSS. **ScienceDirect Real-time Monitoring System of Agricultural Real-time Based. IFAC-PapersOnLine**, Seattle, p. 121–126, 2016.
- XIE, J. et al. An OSSE evaluation of the GNSS-R altimetry data for the GEROS-ISS mission as a complement to the existing observational networks. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, n. January, p. 152–165, 2018.