



AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE DIFERENTES DISPOSITIVOS GNSS

G. M. Araújo¹, F. F. L. Santos^{2*}, R. N. Martins¹, L. C. M. Tavares¹,
L. A. Viana¹, S. L. H. Almeida¹

¹UFV - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

²UFF - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

Article history: Received 16 May 2018; Received in revised form 22 June 2018; Accepted 25 June 2018; Available online 28 June 2018.

RESUMO

A utilização de dispositivos GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para aplicação em atividades agrícolas, construção civil, aeronáutica e em automóveis vem ganhando cada vez mais destaque no cenário global. O uso desta tecnologia possibilita uma abordagem mais precisa e prática para os problemas encontrados pela humanidade. Para isso, a acurácia na medição da posição é de suma importância para uma gestão precisa das atividades. Com o intuito de comparar a precisão de diferentes tipos de receptores (GPS de Navegação em dispositivo próprio e em Smartphone e GPS topográfico), este trabalho consistiu na realização de três diferentes testes de acurácia de posicionamento (testes de altura, alinhamento e área) frente a uma medição de referência (trena), para com isso avaliar a aplicabilidade destes dispositivos em operações que demandam alta precisão. Concluiu-se que o GPS Topográfico obteve o melhor desempenho dentro os demais dispositivos nos testes. No entanto, nenhum dos receptores apresentou resultados satisfatórios para serem utilizados em operações que demandam alta precisão.

Palavras-chave: GPS, testes de precisão, Trimble Pro XR

EVALUATION OF THE ACCURACY OF DIFFERENT GNSS DEVICES

ABSTRACT

The use of GNSS (*Global Navigation Satellite System*) devices for applications in agricultural, civil construction, aeronautics and automobile fields have been gaining increasing prominence in the global scenario. The use of this technology enables a more accurate and practical approach to the problems encountered by mankind. To this end, accuracy in position measurement is of paramount importance for the precise management of any activity. In order to compare the accuracy of different types of receivers (GPS Navigation device, GPS Navigation in smartphone device and Topographic GPS), this work consisted in the accomplishment of three different tests of accuracy of positioning (tests of height, alignment and area) front to a reference measurement (measuring tape), in order to evaluate the applicability of these devices in operations that demand high precision. It was concluded that the Topographic GPS obtained the best performance of all the tested devices. However, none of the receivers presented satisfactory results to be used in operations that demand high precision.

Keywords: GPS, precision testing, Trimble Pro XR

* fernando.flsantos@gmail.com

INTRODUÇÃO

A acessibilidade ao GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para aplicações civis revolucionou a navegação, trazendo praticidade, precisão e economia para diversas aplicações, desde a navegação automobilística, aplicações na agricultura e até mesmo a aviação (SOUZA, 2007).

No meio agrícola, *softwares* de agricultura de precisão são disponibilizados pela maioria dos principais fabricantes de equipamentos agrícolas, e a ideia de realizar o manejo da área em função da variabilidade espacial de seus atributos está ganhando aceitação em escala global (ROVIRA-MÁS et al., 2015). Além disso, diversas outras aplicações vêm consolidando a importância desta tecnologia. Entre elas, a utilização de GNSS em obras de engenharia e para piloto automático em veículos são aplicações que demandam alta precisão e vêm ganhando cada vez mais destaque.

No momento existem diferentes sistemas GNSS tanto em uso quanto em desenvolvimento (ADAMCHUCK et al., 2008). Dentre os atuais sistemas de GNSS existentes os mais conhecidos são: O Sistema de Posicionamento Global Americano (GPS) e o Sistema de Satélites de Navegação Global da Rússia (GLONASS). Outros sistemas que estão ganhando destaque são: Galileo (União Europeia) e COMPASS (China), que deverão alcançar uma capacidade total de cobertura global até 2020 (PEREZ-RUIZ; UPADHYAYA, 2012). Existem ainda alguns sistemas regionais, tais como: IRNSS (*Indian Regional Navigation Satellite System*) e QZSS (*Quasi-Zenith Satellite System*).

Desenvolvido para fins militares pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD), o Sistema de Posicionamento Global (MORGAN, 1997), é composto por 24 satélites, sendo que destes 21 encontram-se em uso. Os sinais são emitidos em duas bandas (L1 e L2) com dois códigos diferentes: o Y

(*Precision code*) e o C/A (*Coarse Acquisition code*); permitindo ao sistema uma visão de cinco a oito satélites constantemente, garantindo uma maior precisão ao sistema (CASTRO, 2004). Entretanto, o DoD até maio de 2001 havia imposto um programa de degradação dos sinais emitidos pelos satélites, inviabilizando que níveis melhores de precisão fossem disponibilizados aos civis. As precisões eram respectivamente, planimétrica de ± 100 m e altimétrica de ± 140 (TRAGUETA; CARDOSO, 2009). A inativação deste programa ocasionou uma melhora de cerca de 10 vezes na precisão do GPS tornando-o mais popular (MONICO, 2008).

A acurácia na medição da posição é de suma importância para uma gestão precisa de qualquer atividade. A geração de mapa de produtividade, sistemas de orientação autônomos (piloto automático) (KABIR et al., 2016) e georreferenciamento em obras de engenharia exigem sistemas de posicionamento muito precisos. A seleção adequada de receptores e o processamento dos dados também são importantes para uma melhor aquisição de dados de posicionamento. Conhecer as limitações dos diferentes receptores GNSS é fundamental para os usuários no momento da compra (BORGELT et al., 1996).

O acesso fácil às informações fornecidas pelos receptores GNSS contrasta com a dificuldade de garantir medidas robustas e confiáveis em longo prazo (WU et al., 2006). Segundo BAIIO et al. (1998), a confiabilidade dos dados adquiridos depende, entre outros fatores do tipo de receptor utilizado para a coleta, da frequência do sinal GPS utilizado para o posicionamento, da interferência do multicaminhamento no sinal GPS, do método utilizado para a correção diferencial, entre outros.

Portanto, objetivou-se neste trabalho comparar a acurácia de diferentes tipos de receptores GNSS, sendo eles: GPS

de Navegação em dispositivo próprio e em

Smartphone e GPS topográfico.

MATERIAL E MÉTODOS

Área Experimental

O experimento foi conduzido em uma área localizada próximo ao Departamento de Engenharia Agrícola (Figura 1) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, posicionada entre as coordenadas geográficas 20°46'18.09" (S) e 42°52'24.32" (O), com

altitude média de 648 m. A região onde o experimento foi conduzido apresenta clima do tipo Cwa de acordo com a classificação proposta por Köppen-Geiger, definido como tropical de altitude, com verão brando e chuvoso e inverno frio e seco (VALVERDE, 1958; GOLFARI, 1975).

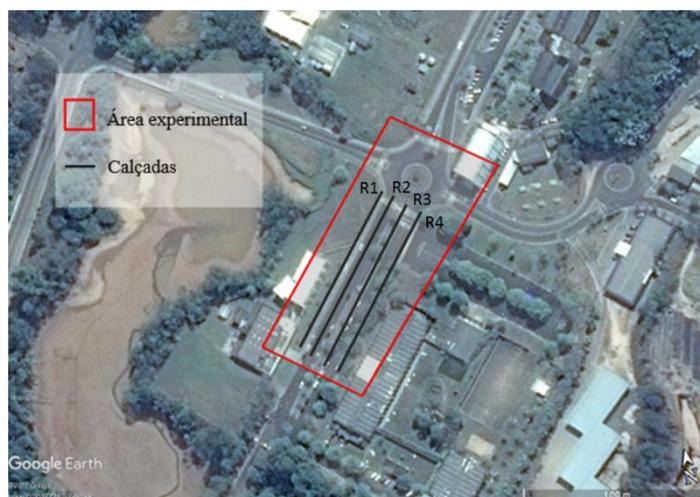


Figura 1. Área experimental com a representação das calçadas de referência: R1, R2, R3 e R4; da esquerda para a direita, respectivamente. Fonte: Adaptado Google Earth, 2017.

Durante a coleta de dados, o índice de Diluição da Precisão da Posição (PDOP) médio, fornecido na tela do receptor GNSS topográfico, foi de 3,20. Este índice é uma variável que indica a acurácia das medições em função das condições atmosféricas momentâneas e da constelação de satélites. Quanto menor esse valor, melhor será a precisão dos dados de posicionamento do sistema GPS (STUCK; KUGA, 2005).

Receptores

Para o presente experimento, foram utilizados três diferentes tipos de receptores:

a) *Smartphone* GPS: Foi utilizado um dispositivo com sistema operacional *Android*. As coordenadas foram obtidas a partir do aplicativo C7-Campeiro GPS

Dados, aplicativo desenvolvido pelo Laboratório de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria.

b) GPS de Navegação: Utilizou-se um receptor GNSS de navegação, modelo *Etrex 20*, fabricante *GARMIN*. O dispositivo estava conectado à 21 satélites, informando um erro aproximado de 3 metros.

c) GNSS Topográfico: Foi utilizado um receptor GNSS, modelo *PRO XT*, fabricante *TRIMBLE*.

Para todos os dispositivos a coleta de dados foi realizada no sistema de coordenadas UTM com *Datum WGS 1984*. Posteriormente, os dados foram projetados para o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), a projeção foi ajustada para o Hemisfério Sul, Zona 23 (estado de Minas Gerais).

Critérios de Avaliação

Foram utilizados três diferentes critérios, a fim de se verificar a precisão de cada um dos aparelhos receptores GNSS:

- a) Teste de altura: Com o auxílio de uma trena foram demarcados em um poste, pontos com diferentes cotas, totalizando cinco diferentes marcações, espaçadas em 0,50 m. O teste de altura consistiu em verificar a precisão dos receptores ao avaliarem a diferença na altitude dos pontos avaliados.

Neste teste, a primeira medição de altitude de cada aparelho foi considerada como cota 0. Para obter as demais cotas (2 a 5), subtraiu-se das leituras a medição referente a cota 0.

- b) Teste de área e forma: O segundo critério de avaliação do experimento consistiu em utilizar os receptores para coletar 13 pontos pertencentes ao perímetro de uma rotatória e posteriormente calcular seu perímetro e área.

O diâmetro da rotatória foi determinado com uso de trena (16,10 m). A partir daí calculou-se a área (203,58 m²) e o perímetro (50,58 m) da rotatória. Em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) os mesmos parâmetros (perímetro e área) foram estimados com base nos 13 pontos coletados. Com o intuito de avaliar a precisão de cada um dos aparelhos receptores, foi calculado o erro na estimativa da área, o qual é expresso pela equação 1 e o índice de circularidade de forma (IC) (equação 2), proposto por MILLER et al. (1953).

$$\text{Erro (\%)} = \left| \frac{\text{Área calculada} - \text{Área Real}}{\text{Área Real}} \right| \quad (1)$$

$$\text{IC (\%)} = \left| \frac{4\pi \times \text{Área Calculada}}{\text{Perímetro}^2} \right| \quad (2)$$

- c) Teste de alinhamento: O teste final do experimento consistiu em

verificar o alinhamento de 4 diferentes calçadas existentes na área experimental. Foram coletados cerca de 30 pontos para cada uma das calçadas analisadas.

Para o processamento dos dados, utilizaram-se *softwares* específicos para cada dispositivo GNSS. Os dados obtidos por meio do GPS de navegação foram processados utilizando o *software* GPS *Trackmaker*[®]. Enquanto que os dados coletados pelo GNSS topográfico dispositivo foram processados pelo *software* *Pathfinder 5.0*[®] e receberam correção diferencial. De acordo com GORGULHO (2001), a correção diferencial permite ao usuário obter uma precisão de até 20 milímetros, dependendo da qualidade do receptor e do sinal de correção utilizados. Para isso, os dados foram corrigidos com base nos dados fornecidos pela estação de Viçosa (VICO/91696) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. A correção foi realizada utilizando-se tanto a portadora quanto o código CA.

Os dados foram processados por meio de uma regressão linear de modo que foi possível obter uma equação de reta para cada uma das calçadas. Em seguida, utilizou-se a equação 3 para verificar a distância perpendicular entre cada ponto coletado e sua respectiva reta de ajuste (dispersão dos pontos). Além disso, com o auxílio de SIG, foi calculada a distância entre dois pontos pertencentes as diferentes calçadas, estimando-se assim a distância entre as duas calçadas analisadas. A distância entre cada uma das calçadas foi medida com trena, e posteriormente realizou-se uma comparação entre as medições dos diferentes dispositivos receptores.

$$D = \left| \frac{ax-y+c}{\sqrt{a^2+1}} \right| \quad (3)$$

Em que:

D: Distância entre o ponto analisado e a reta de ajuste (m);

a: Coeficiente angular da reta de ajuste;

c: Coeficiente linear (constante) da reta de ajuste;
 x: Coordenada x do ponto analisado;
 y: Coordenada y do ponto analisado.

De posse de todos os dados, o *software* R 3.3.3 foi utilizado para a análise de comparação de médias pelo teste de

Tukey, ao nível de 5% de significância, verificando a existência de diferenças significativas entre os erros na estimativa de parâmetros dos receptores em função do teste de altura, distância entre calçadas e dispersão média dos pontos para cada calçada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de altura

Com o auxílio dos dispositivos receptores é possível medir a altitude de determinado ponto. Portanto, ao obter a diferença entre duas medições

subsequentes, é possível encontrar a cota de cada medição e comparar com os espaçamentos reais (0,50 m). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelos receptores GNSS:

Tabela 1. Resultados do teste de altura.

Receptor	Medição 1		Medição 2		Medição 3		Medição 4		Medição 5	
	Alt. (m)	Cota (m)								
<i>Smartphone Android</i>	657,00	0,00	658,00	1,00	656,00	-1,00	654,00	-3,00	654,00	-3,00
<i>Garmin Etrex 20</i>	667,68	0,00	664,52	-3,16	668,02	0,34	669,04	1,36	670,05	2,37
<i>Trimble PRO XT</i>	658,91	0,00	660,87	1,96	660,21	1,30	661,39	2,48	660,59	1,68

Analisando a Tabela 1, pode-se observar que todos receptores GNSS apresentaram valores discrepantes, ou seja, nenhum deles foi capaz de registrar os níveis de cotas pré-estabelecidos a cada 0,50 m. Essa baixa precisão dos receptores e a ocorrência de erros nas medições pode estar associada a existência de obstáculos próximos ao local de coleta dos dados. Outra hipótese pode estar associada a geometria dos satélites, visto que se forem considerados apenas quatro satélites, como uma configuração ótima para a melhor precisão geral, seria considerar ter os quatro satélites a 40 a 55 graus acima do horizonte e um em cada direção geral (Norte, Leste, Oeste e Sul). No entanto, esta é uma condição rara de acontecimento (MARTINS et al., 2017). A altitude do

GPS mede a distância dos usuários do centro das órbitas dos satélites. Essas medidas são referenciadas a altitude geodésica ou elipsoidal em alguns receptores. Entretanto, para simplificar os cálculos matemáticos estes modelos assumem que a Terra possui uma geometria esferoide, o que não é correto, uma vez que o planeta é um geoide que representa o nível médio não perturbado dos mares (MUKHERJEE et al., 2013).

Teste de área

Os dados referentes aos testes de área para os diferentes dispositivos receptores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do teste de área.

Receptor	Área (m ²)	Perímetro (m)	Erro Área (%)	Índice de Circularidade (%)
1	195,64	51,00	4,00%	94,52%
2	169,15	49,40	17,00%	87,10%
3	179,41	47,97	12,00%	97,95%

1: *Smartphone Android*; 2: *Garmin Etrex 20*; 3: *Trimble PRO XT*.

Observa-se que, com exceção do receptor GNSS de navegação do *Smartphone Android*, os demais receptores obtiveram resultados com determinada discrepância dos resultados medidos com a trena. O índice de circularidade indica o nível de semelhança de determinada forma a um círculo perfeito; quanto mais próximo à 1 (100%), mais circular é a forma (CARDOSO et al., 2006). É possível observar que todos os receptores apresentaram índice de circularidade acima de 90% com exceção do receptor *Garmin Etrex 20*. O receptor *Trimble PRO XT* se sobressaiu em relação aos demais, apresentando o melhor índice de circularidade. Comportamento semelhante foi verificado por Silva Junior et al.

(2010), os quais obtiveram com receptores GNSS de navegação erro de área de até 4,68% em relação ao tamanho da área. O alto valor do erro de área obtido pelos receptores na determinação da área pode estar associado ao tamanho da área da rotatória, visto que quanto menor a área de medição, maior é o erro destes receptores de navegação.

Teste de Alinhamento

A primeira parte do teste de alinhamento, referente à dispersão dos pontos coletados frente a sua reta de ajuste se encontra apresentada na Tabela 3, e a segunda parte, referente à distância entre as calçadas encontra-se na Tabela 4.

Tabela 3. Dispersão dos pontos à reta de ajuste.

Receptor	Reta	Dispersão Média (m)	Desvio Padrão (m)
<i>Smartphone Android</i>	R1	0,54	0,45
	R2	0,86	0,50
	R3	1,01	0,72
	R4	0,62	0,43
<i>Garmin Etrex 20</i>	R1	1,15	0,68
	R2	1,87	1,83
	R3	0,81	0,51
	R4	0,76	0,50
<i>Trimble PRO XT</i>	R1	0,03	0,02
	R2	0,08	0,07
	R3	0,23	0,16
	R4	0,18	0,14

Pode-se observar que o receptor GNSS *Trimble PRO XT* apresentou um erro médio máximo de 0,23 m, referente à reta 03. Os outros dois receptores apresentam erros superiores a 0,60 m. Trabalhos que avaliaram a acurácia da aplicação de diferentes tipos de sinais de correção diferencial para dispositivos

GNSS em tratores agrícolas equipados com sistemas de piloto automático obtiveram um erro médio na faixa de 0,02 até 0,40 m (HARBUCK et al. 2006; THUILOT, 2002; STOLL & KUTZBACH, 2000; CORDESSES et al., 2000). De acordo com VERION (2017), o erro máximo aceitável para dispositivos receptores de sinal GNSS

ao trabalhar-se com piloto automático não deve ser superior a 20 cm.

Enquanto para o uso de GNSS para georreferenciamento de imóveis, de acordo com a NTGIR (Norma Técnica de

Georreferenciamento de Imóveis Rurais) a precisão planimétrica para georreferenciamento de imóveis rurais deve ser melhor ou igual a 10 cm (INCRA, 2010).

Tabela 4. Distância entre as calçadas.

Receptor	Distância R1- R2	Distância R2- R3	Distância R3- R4	Erro Médio (m)
<i>Smartphone Android</i>	8,10	5,40	6,50	1,11
<i>Garmin Etrex 20</i>	7,70	6,00	9,20	0,82
<i>Trimble PRO XT</i>	9,20	4,30	9,60	0,64
Trena (Referência)	8,70	4,90	8,80	-

Observando-se os dados referentes ao segundo teste de alinhamento é possível verificar que todos os receptores apresentaram erros na estimativa da distância entre calçadas, o que os torna inadequados para as atividades citadas anteriormente (que demandam elevada precisão) visto que o ideal era apresentar valor igual à zero. Em trabalho semelhante, Santos et al. (2016) ao compararem a precisão de um receptor GNSS geodésico e um GNSS de navegação, observaram erros da ordem de 3,0 a 9,0 m na variação de posicionamento entre diferentes pontos, sendo este erro associado a flutuações das

coordenadas sobre o marco ocupado, o que é uma condição inerente desses receptores GNSS. Portanto, pode-se afirmar que nenhum dos receptores apresentou resultados satisfatórios. Esta variação também pode ser atribuída às condições atmosféricas no momento da coleta dos dados ou então à característica de cada receptor, podendo reduzir a velocidade de comunicação entre os satélites e o receptor (SANTOS, 2012).

Por fim, a Tabela 5 apresenta a comparação de médias pelo teste de *Tukey*, ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Existência de diferença significativa para estimativa dos erros

Receptor	<i>Smartphone Android</i>	<i>Garmin Etrex 20</i>	<i>Trimble PRO XT</i>
Erro altura (m)	2.000a	1.810a	1.860a
Erro distância (m)	1.113a	0.823a	0.643a
Dispersão média (m)	0.758ab	1.146a	0.129b

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem significativamente ao nível de 5% pelo teste de *Tukey*.

Na tabela 5 é possível observar que os testes de altura e distância não apresentaram diferença significativa entre os receptores avaliados, indicando que nenhum deles se mostrou superior ou inferior aos demais. Por outro lado, o receptor topográfico se mostrou

estatisticamente igual ao receptor de navegação *Garmin* e superior ao receptor do *Smartphone* para o teste de alinhamento no quesito dispersão. Este foi o único teste que apresentou diferença significativa entre as médias avaliadas.

Comparação Visual

Todos os pontos coletados foram convertidos para o formato KML (*Key Markup Language*) e exportados para o software *Google Earth*[®], possibilitando

uma comparação visual entre os resultados obtidos. As figuras 2, 3 e 4 ilustram um resumo da coleta de dados.

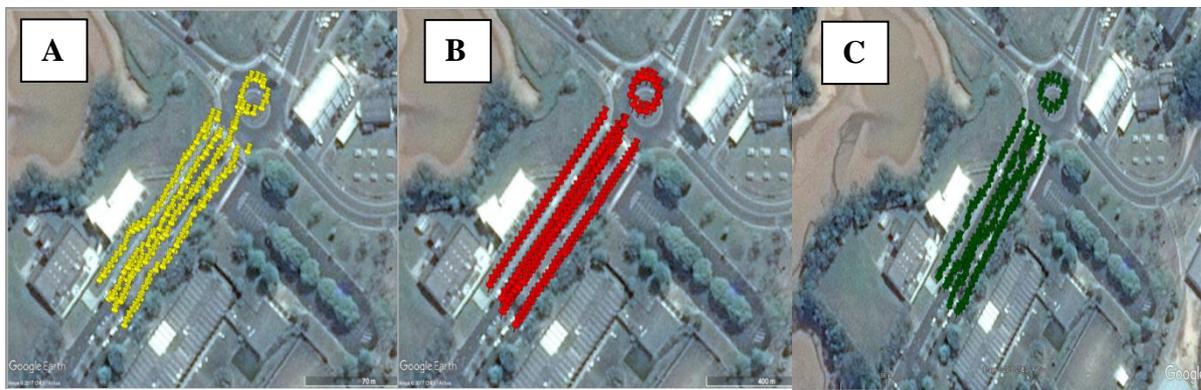


Figura 2. Dados referentes aos GPS de Navegação modelo *Garmin Etrex 20* (A) e *Smartphone* com o aplicativo *CR Campeiro* (C), e GPS Topográfico modelo *Trimble Pro XT* (B). Fonte: Adaptado *Google Earth*, 2017.

Analisando-se qualitativamente as figuras anteriores é possível perceber que o único receptor que apresenta resultados condizentes é o modelo topográfico, ainda sim, com a rotatória um pouco deslocada de sua posição original. Os demais receptores apresentaram grande desalinhamento em suas retas.

Considerando-se as operações que demandam grande precisão, como o uso de GNSS para aplicação em piloto automático em tratores agrícolas, podemos afirmar que nenhum dos receptores analisados apresentou desempenho satisfatório, estando em acordo com os resultados obtidos por RODRIGUES et al. (2006) e SANTOS et al. (2016).

CONCLUSÕES

Neste trabalho, observou-se que o receptor modelo *Trimble PRO XT* apresentou os melhores resultados, o que pode ser explicado pelo fato deste apresentar correção pós-processada dos dados obtidos.

Nenhum dos receptores analisados apresentou resultados satisfatórios para todos os testes realizados, levando à

conclusão de que nenhum dos aparelhos analisados apresenta boa precisão para realizar medições de altitude em objetos com uma baixa amplitude entre suas leituras.

Sendo assim, nenhum dos receptores testados é recomendado para operações que demandam alta precisão. No entanto, para tarefas onde não haja

necessidade de alta precisão (demarcações de lotes urbanos, pastagens, entre outros), cujas variações sejam toleráveis, estes

tipos de receptores poderão ser empregados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao

laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

REFERÊNCIAS

ADAMCHUK, V. I.; STOMBAUGH, T. S.; PRICE, R. R. 2008. GNSS-based Auto-guidance in Agriculture. **The Site-specific Management Guidelines (SSMG) Series**. International Plant Nutrition Institute (IPNI), Georgia, U.S.

BAIO, F.H.R.; ÂNGULO FILHO, R.;

BORGELT, S. C.; HARRISON, J. D.; SUDDUTH, K. A.; BIRRELL, S. J. Evaluation of GPS for applications in precision agriculture. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 12, n. 6, p. 633-638. 1996.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CASTRO, D.R.S. Breve descrição do GPS. Disponível em <www.sistemasdearmas.hpg.ig.com.br/gpsdavi.htm>. Acesso em: 10/05/2018.

CORDESSES, L.; CARIOU, C.; BERDUCAT, M. Combine harvester control using Real Time Kinematic GPS. **Precision Agriculture**, The Netherlands, v.2, p.147-161, 2000.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65 p.

VETTORAZZI, C.A.; RAFFO, J.G.G.; ELIAS, A.I. Estudo da exatidão de um GPS operando em duas taxas de aquisição de dados. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Poços de Caldas, 1998. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.347-9.

GORGULHO, M. **Apostila de GPS - O Sistema de Posicionamento Global**. GPS Trackmaker. 2001.

HARBUCK, T.L.; FULTON, J.P.; MCDONALD, T.P.; BRODBECK, C.J. **Evaluation of GPS autoguidance systems over varying time periods**. St. Joseph: ASABE, 2006.

SILVA JUNIOR, C. A.; MEURER, I.; CARVALHO, L. A. Análise da precisão de receptores GPS de navegação em planimetria territorial. **Agrarian**, v. 2, n. 5, p. 21-31, 2010.

INCRA. **Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 2a ed. revisada 2010. Brasília.

KABIR, M. S. N.; SONG, M.; SUNG, N.; CHUNG, S.; KIM, Y.; NOGUCHI, N.; HONG S. 2016. Performance comparison of single and multi-GNSS receivers under agricultural fields in Korea. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 9, p. 27-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2015.09.002>

MARTINS, R. N.; NETO, A. F. A.; ZANELLA, M. A.; VIANA, L. A.;

SOUZA, M. A. R.; QUEIROZ, D. M. Análise da precisão de diferentes receptores gnss para coleta de dados.

In. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2017. **Anais...** Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/indice_geral.html. Acesso em 19/06/2018.

FONSECA, S. O.; ARAÚJO, G. L., FARIA, B. H. G.; LIPARIZI JUNIOR, A.; COSTA, J.; REIS, E. F. Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa.

MILLER, V.C. 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area, **Technical Report, Dept. Geology, Columbia University.**

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2ed. São Paulo: UNESP, 2008. 476 p.

MORGAN, M. **The precision-farming guide for agriculturists.** Moline: Deere & Company, 1997. 116 p.

MUKHERJEE, S.; JOSHI, P. K.; MUKHERJEE, S.; GHOSH, A.; GARG, R. D.; MUKHOPADHYAY, A. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p.205–217. 2014.

PEREZ-RUIZ, M.; UPADHYAYA, S. K. 2012. GNSS in precision agricultural operations. **In: New Approach of Indoor and Outdoor Localization Systems**, CH-1. In Tech Europe, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, p. 3-26.

RODRIGUES, V. A.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N.; DE BARROS, Z. X.; CAMPOS, S. 2006. Receptores GPS de três precisões e estação total na caracterização de cotas básicas para projetos rurais. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 208-214.

ROVIRA-MÁS F.; CHATTERJEE I.; SÁIZ-RÚBIO V. The role of GNSS in the navigation strategies of cost-effective agricultural robots. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 112, p. 172-183. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.017>

SANTOS, R. de S.; BRAGA, J. O. F.; RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P. Utilização de receptor de sinal de GPS de navegação como ferramenta de apoio à atividade agropecuária. **Energia na agricultura**, v. 31, n.1, p. 97-101. 2016.

SANTOS, R. S. **Apontamento da disciplina de geoprocessamento.** Altamira: Faculdade de Engenharia Agrônômica, UFPA, 2012. Apresentação em ppt. 123 slides.

SANTOS, R. S.; BRAGA, J. O. F.; RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. L. Utilização de receptor de sinal de gps de navegação como ferramenta de apoio à atividade agropecuária. **Energia na Agricultura**, v. 31, n.1, p. 97-101. 2016.

SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. Método dos Mínimos Quadrados com Regressão Wavelets para Redução de Erros no Processamento de Sinais GPS. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, v.8, n.1, p.139-147. 2007.

STOLL, A.; KUTZBACH, H.D. Guidance of a forage harvester with GPS. **Precision Agriculture, The Netherlands**, v.2, p.281-291, 2000.

STUCK, B. M.; KUGA, H. K. **Medindo Distâncias Através de Um Único Receptor GPS**. São José dos Campos: INPE. 2005.

THUILOT, B. Automatic guidance of a farm tractor relying on single CP-DGPS. **Autonomous Robots, Amsterdam**, v.13, p.53-71, 2002.

TRAGUETA, N. L.; CARDOSO, L. G. Desempenho de receptores de GPS de navegação no cálculo de área e perímetro segundo diferentes configurações. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 105-120, 2009.

Universidade Federal de Santa Maria. 2013. **Agricultura de Precisão com o Sistema Campeiro CR Campeiro 7**. Santa Maria, RS.

VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 20, n. 1, p.1-82, 1958.

VERION. **Piloto Automático**. Disponível em:
<<http://www.agriculturaverion.com.br/aplicacoes/8-piloto-automático>>. Acesso: 27/08/2017.

WU, C.; AYERS, P. D.; ANDERSON, A. B. Influence of travel direction on GPS accuracy for vehicle tracking. **Transactions of ASABE**, v. 49, n. 3, p. 623-634. 2006.