

METODOLOGIA PARA ENSAIOS CINEMÁTICOS DE RECEPTORES DE GNSS UTILIZANDO UM GPS RTK COMO REFERÊNCIA

José Paulo Molin¹
Pablo Torres Carreira²

RESUMO – Os ensaios dinâmicos com receptores de GPS (*Global Positioning System*) buscam traduzir suas características em condições que se assemelhem às condições reais de operação. Nesta proposta, como plataforma de testes, utilizou-se um pulverizador autopropelido equipado com piloto automático. As antenas dos receptores foram instaladas em linha sobre a cabine e os dados foram coletados à taxa de 1Hz. Como referência utilizou-se um receptor GPS RTK (*Real Time Kinematics*), que forneceu coordenadas com acurácia de 2 cm. Os dados foram analisados em um software criado para este fim. A partir dos dados de referência do RTK foram gerados segmentos de reta entre cada par de pontos na seqüência e para cada um destes foram vasculhados os dados dos receptores testados por pontos que estavam entre as duas linhas perpendiculares que cruzavam os pontos do limite do segmento. Então foi medida a distância perpendicular entre o segmento (posição real) e cada ponto pertencente a este (posição dada); esta distância foi denominada de erro. O ensaio foi feito em três velocidades progressivas. A influência da velocidade foi detectada na medida em que esta ocasionou variação na quantidade de pontos amostrados, uma vez que a coleta de dados foi configurada em intervalos de tempo e não de distância. Assim quanto maior a velocidade, menor a quantidade de pontos, resultando em um percurso mais suave e em um erro menor, sendo o oposto também verdadeiro. A metodologia pode ser válida para comparações contanto que a quantidade de pontos amostrados seja equalizada para as diferentes velocidades e receptores.

Palavras chaves: GPS, agricultura de precisão, RTK

DYNAMIC GPS RECEIVERS TESTING METHODOLOGY USING RTK AS REFERENCE

ABSTRACT – Dynamic testing of GPS (*Global Positioning System*) receivers intends to show their characteristics in situations as close as possible to real field conditions. This experiment methodology uses a self-propelled sprayer guided by autopilot as test platform. The

¹ Eng. Agrícola, Prof. Livre Docente do Depto. de Engenharia Rural. jpmolin@esalq.usp.br.

² Graduando de Engenharia Agrônômica. pablotcarreira@hotmail.com.

^{1,2} Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo.

receivers antennas were fixed in line over the cockpit and the data were recorded with a rate of 1Hz. A RTK (Real Time Kinematics) GPS receiver was used as a reference which provided coordinates with 2 cm accuracy, taken as the real position. The data were analyzed in a software made for this experiment. From the RTK reference line segments were generated between each pair of points in sequence; for each segment all the data being compared were searched for points that were between the two lines that perpendicularly cross the pair of points that set the segment. Then the perpendicular distance between the line segment (real position) and each point that fit the segment (given position) were measured; this distance was called error. The test was conducted under three progressive speeds. Speed influence was detected and explained by the fact that it has caused variation in the sampling rate since the data recording interval was set by time, not by distance. At higher speeds the sampling rate was lower, resulting in a smoother path and smaller error. The methodology has shown to be valid for comparisons if the sampling rate is equalized for the different speeds and receivers.

Keywords: GPS, precision agriculture, RTK

1 INTRODUÇÃO

O primeiro usuário da tecnologia de GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) na agricultura brasileira foi a aviação agrícola, a partir de 1995, com o uso de GPS (*Global Positioning System*) para a orientação de percursos em faixas paralelas. Nessa época, a única maneira de se viabilizar o uso de GPS era com alguma forma efetiva e prática de correção diferencial em tempo real. Esse sinal era suprido pelos próprios usuários a partir de estações móveis com rádio transmissor. Em 1997 surgiram os serviços comerciais de correção com sistemas via satélite (MOLIN, 1998a, 1998b). A partir da desativação da SA (*Selective Availability*), em maio de 2000, ocorreu uma intensa mudança no perfil do mercado de receptores de GPS para aplicações agrícolas. A utilização de receptores de navegação autônomos tem sido intensificada e muitos o utilizam com o sinal WAAS (*Wide Area Augmentation System*) ativado, esperando ter melhor acerto no

posicionamento. Porém sequer se sabe se esse sinal sendo recebido é WAAS ou EG-NOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), que operam na mesma frequência.

Recentemente surgiram no mercado local os sistemas de orientação para percurso em faixas paralelas, retas ou curvas, para operações agrícolas terrestres e equipadas com receptores de GPS sem nenhuma forma de correção diferencial, apenas com alguma espécie de algoritmo interno que lhe confere certa redução no erro de desalinhamento. Uma evolução natural nesse segmento são os dispositivos do tipo piloto automático que utilizam sinal de GPS para governar válvulas hidráulicas que atuam diretamente no esterçamento do rodado dos tratores e outros veículos agrícolas ou atuam diretamente no seu volante, permitindo ao operador conduzir o veículo com estresse reduzido, maior qualidade nos percursos, maior eficiência operacional em operação diurna ou noturna e permitindo maior concentração em outros

controles que não o volante. Essa aplicação, em especial, passa a demandar receptores de alta acurácia, em algumas das operações. Nesse caso é utilizada a tecnologia RTK (*Real Time Kinematics*) e recentemente têm sido anunciadas soluções equivalentes em acurácia, porém com correção via satélite, provida por empresas privadas do ramo.

Para a caracterização do desempenho de receptores de GNSS em condição cinemática que simula aplicações agrícolas, existem alguns precedentes que reportam exemplos de ensaios cinemáticos em condições relativamente controladas. Han *et al.* (2002) avaliaram o desempenho de receptores de GPS com as antenas montadas sobre a cabine de um veículo agrícola se deslocando em linha reta a diferentes velocidades e utilizaram um receptor de GPS RTK como referência para medir distâncias entre a reta do percurso virtual e a reta da regressão dos pontos fornecidos pelos receptores. Stombaugh *et al.* (2002) propuseram padronizações para ensaios dinâmicos de receptores de GPS fixando as antenas dos receptores em um braço de 7,5 m que rodava a uma velocidade constante e para o qual as coordenadas do círculo abrangido foram determinadas por um receptor de GPS RTK. Ressaltam que uma das vantagens de se utilizar um aparato desses é que ele permite maior repetibilidade dos ensaios do que com um veículo e citam como desvantagem o fato de ser mais difícil reproduzir as condições reais do campo com esse tipo de arranjo. Um dispositivo semelhante foi proposto por Weltzien e Noak (2003), que também construíram um braço rotatório para a realização de ensaios dinâmicos para receptores de GPS. Taylor *et al.* (2004) também ensaiaram

vários receptores em um percurso linear e para tanto utilizaram um veículo montado sobre um trecho de ferrovia se deslocando em sentidos opostos alternados e o posicionamento do trilho foi determinado com um GPS RTK. Como o trilho não era completamente reto os erros foram determinados a partir de regressões lineares contendo segmentos. Stombaugh *et al.* (2005) projetaram um percurso no qual um pequeno veículo automotriz montado sobre monotrilhos puxa um ou vários carros de instrumentos com receptores de GPS. A configuração do percurso simula percursos de máquinas agrícolas no campo, inclusive manobras de cabeceira de lavoura. O trajeto do trilho foi determinado com um GPS RTK e o desvio padrão entre erro transversal de deslocamento e o carro foram menores que 5 mm, indicando que o sistema na configuração avaliada seria capaz de realizar adequadamente testes de receptores de GPS com acurácia de posição horizontal de até 5 cm.

A caracterização do desempenho de sistemas de orientação em faixas paralelas com barra de luz ou mesmo piloto automático tem menos dificuldades por ser sempre referente a uma única direção. Medem-se os desvios laterais em relação a um percurso e para tanto é necessário apenas conhecer a linha ideal e marcar a linha do percurso real, mensurando os desvios por perpendiculares à primeira (MOLIN, 1998b; MOLIN; RUIZ, 1999; MOLIN *et al.*, 2002; BAIIO, 2005). Esse paralelismo garante, dentre outros, a minimização de desperdícios e a máxima qualidade na aplicação de insumos, principalmente agroquímicos, fertilizantes e corretivos, bem como execução de operações noturnas.

Acurácia é definida como a proximidade das observações ao valor real e precisão como a proximidade das observações à média amostral (LEICK, 1994). A determinação da acurácia ou exatidão é fundamental para se definir a qualidade do desempenho desse tipo de recursos que vêm sendo crescentemente adotados no campo.

O segmento de mercado de GNSS para aplicações agrícolas se intensifica com a adoção de práticas de agricultura de precisão que exigem a utilização de receptores de GNSS para monitoramentos e navegação na coleta de dados, nas colhedoras, nas máquinas aplicadoras de insumos e em muitas outras aplicações. É fundamental que o usuário conheça o desempenho dos diferentes tipos de receptores disponíveis e das tecnologias associadas. Também é importante considerar que são usuários que demandam posicionamento dinâmico e as poucas informações relativas ao desempenho dos receptores de mercado diz respeito a ensaios estáticos. O objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento desenvolvido e aplicado em ensaio cinemático com receptores de GPS buscando traduzir suas características em condições que se assemelhem às condições reais de operação, no presente caso variando a velocidade de deslocamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se um veículo (pulverizador autopropelido) para os ensaios e sobre o teto deste foi montada uma plataforma de metal para que as antenas pudessem ser fixadas com suas bases magnéticas ou amarração. Como referência foi utilizado um receptor de GPS RTK, também posicionado em ali-

nhamento com as demais antenas sobre o teto do veículo. Esse receptor (móvel) faz parte de um conjunto e é equipado com um receptor de rádio VHF. Um outro receptor (base fixa) completa o conjunto e é equipado com um transmissor de rádio VHF. A base fixa tem a função de gerar e transmitir dados de correção em tempo real para a unidade móvel.

Para funcionar com a acurácia desejada, o receptor RTK requer que a base seja colocada sobre um ponto de coordenadas conhecidas e que esteja dentro do alcance do rádio, que é de aproximadamente 15 km. Um ponto de coordenadas conhecidas foi identificado na cidade de Costa Rica, MS, a 60 km do local do ensaio, portanto fora do alcance do rádio. Com o auxílio do próprio receptor RTK este ponto foi transportado para um local próximo à área do ensaio. O conjunto RTK instalado nessas condições, segundo seu fabricante, permite uma acurácia na ordem de 2 cm.

A área utilizada para os ensaios foi uma superfície levemente inclinada e coberta por pastagem, localizada em uma região livre de obstruções que pudessem interferir no sinal do GPS. O local se situa nas coordenadas 18,24° S e 53,21° O e a altitude do local dos ensaios se situou entre 804,90 m e 802,40 m.

Como piloto para a análise dessa metodologia foram ensaiados um receptor de GPS de navegação com correção diferencial WAAS ativada (receptor A), um receptor com correção diferencial via satélite (receptor B), um receptor com algoritmo interno de correção (receptor C) e um receptor com correção via satélite utilizando duas configu-

rações, uma de maior acurácia (receptor D) e outra de menor acurácia (receptor E). O ensaio foi composto por seis tratamentos como descrito na Tabela 1. Os receptores D e E não puderam ser ensaiados ao mesmo tempo porque tiveram de ser alternados na configuração, portanto as comparações são segmentadas em duas partes, uma contendo o receptor D e uma contendo o receptor E. Adotou-se a variação na velocidade de deslocamento do veículo para verificar o seu efeito no posicionamento cinemático dos receptores.

Para cada tratamento e para cada receptor de GPS, com exceção do RTK, gravou-se um arquivo diferente e a coleta foi configurada à taxa de aquisição de uma po-

sição por segundo (1Hz) e iniciada no começo de cada tratamento, ainda com o veículo parado. Para gravar os dados utilizaram-se dois computadores de mão e um computador portátil, todos equipados com o aplicativo Farm Site Mate (Farm Works Software®). O receptor RTK utilizou seu próprio coletor de dados e os receptores D e E gravaram os dados em um coletor próprio. O veículo percorreu o percurso de cinco passadas paralelas, tendendo a manter uma linha reta com o auxílio do seu sistema de direcionamento automático. Antes do percurso sua transmissão hidrostática e a rotação do motor eram ajustadas para resultar na velocidade de deslocamento desejada no tratamento.

Tabela 1 - Tratamentos realizados, compostos pela combinação de diferentes receptores e velocidades de deslocamento do veículo transportador.

Tratamento	Receptores comparados	Velocidade (m s ⁻¹)
1	A, B, C, D	7,77
2	A, B, C, D	5,55
3	A, B, C, D	3,33
4	A, B, C, E	7,77
5	A, B, C, E	5,55
6	A, B, C, E	3,33

Os arquivos gravados pelo receptor RTK continham a seqüência de dados de todos os tratamentos juntos e destes foram removidos os dados que não seriam utilizados, referentes a percursos não pertinentes a esse ensaio. Os dados referentes a cada tratamento foram separados com o auxílio do programa Excel (Microsoft®). Na seqüência, de cada tratamento foram removidos os trechos de manobras e cada passada foi separa-

da e gravada em um arquivo de texto com sentenças separadas por vírgulas com o auxílio do programa Microcal Origin (Origin-Lab Corporation®), resultando em cinco arquivos referentes ao receptor RTK, equivalentes às passadas, para cada tratamento. As passadas referentes ao receptor RTK foram separadas para possibilitar que um aplicativo programado em Visual Basic executasse a segmentação dos arquivos dos

outros receptores sem que os dados dos trechos de manobra ou de outras passadas fossem misturados acidentalmente e sem que houvesse a necessidade de separar manualmente todos os dados. Então, dos dados presentes nos arquivos referentes aos outros receptores, só foram retirados os trechos anteriores e posteriores à simulação.

Os dados foram analisados por este mesmo aplicativo considerando que para cada ponto gerado por um dos receptores ensaiados (Figura 2) calculou-se a distância d perpendicular até o percurso demarcado pelo receptor RTK, sendo essa distância denominada de erro. Para realizar este cálculo o programa delimitou segmentos de reta entre cada par de pontos da seqüência obtida com o receptor RTK e verificou nos pontos gerados pelo receptor que estava sendo comparado quais estavam dentro dos limites deste segmento, sendo desconsiderados aqueles pontos que por ventura ficaram incluídos em dois segmentos ou em nenhum. Dessa forma foi possível a mensuração do erro perpendicular à trajetória.

Dos pontos situados dentro do limite de cada segmento calculou-se a distância d perpendicular ao segmento, utilizando a equação 1:

$$d_i = \frac{ax_0 + by_0 + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (1)$$

$$a = y_a - y_b$$

$$b = x_b - x_a$$

$$c = x_a \cdot y_b - x_b \cdot y_a$$

Em que a , b e c são os parâmetros do segmento da reta formado entre dois pontos de leitura do receptor RTK e x_0 e y_0 são as coordenadas do ponto do receptor que está sendo avaliado (Figura 2). Obtiveram-se assim os valores médios de erros para cada tratamento, indicando a tendência de qualidade de posicionamento de cada tecnologia testada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma como os ensaios foram conduzidos e com o equipamento utilizado permitiu coletar grande quantidade de dados. O procedimento para a análise desses dados, sem a necessidade de mensurações em campo, como realizado em trabalhos anteriores (MOLIN, 1998b; MOLIN; RUIZ, 1999; MOLIN *et al.*, 2002; BAIIO, 2005), permitiu maior rapidez com menos chances para erros experimentais, especialmente de mensuração. Essa mensuração seria feita com trena e baliza, sempre assumindo uma condição de perpendicularidade, porém sem maiores controles, como destacado por Baio (2005). A Figura 1 apresenta os percursos em suas posições reais ao longo de um dos ensaios, indicando apenas a primeira linha demarcada pelo receptor RTK, que foi utilizada como referência para a mensuração dos desalinhamentos do percurso do receptor que estava registrando. Na Figura 2 é apresentado um detalhe desse procedimento indicando os pontos individuais registrados pelo receptor e suas distâncias d_i aos segmentos de reta definidos pela união dos pontos registrados pelo receptor RTK.

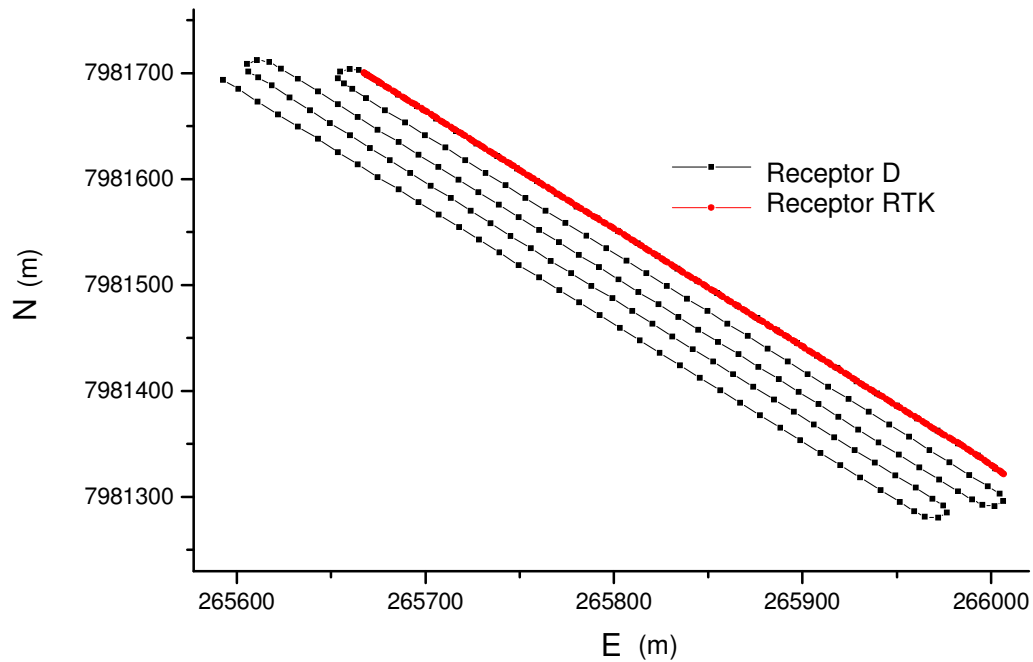


Figura 1. Percurso gerado pelo receptor D e uma das passadas registradas pelo receptor RTK.

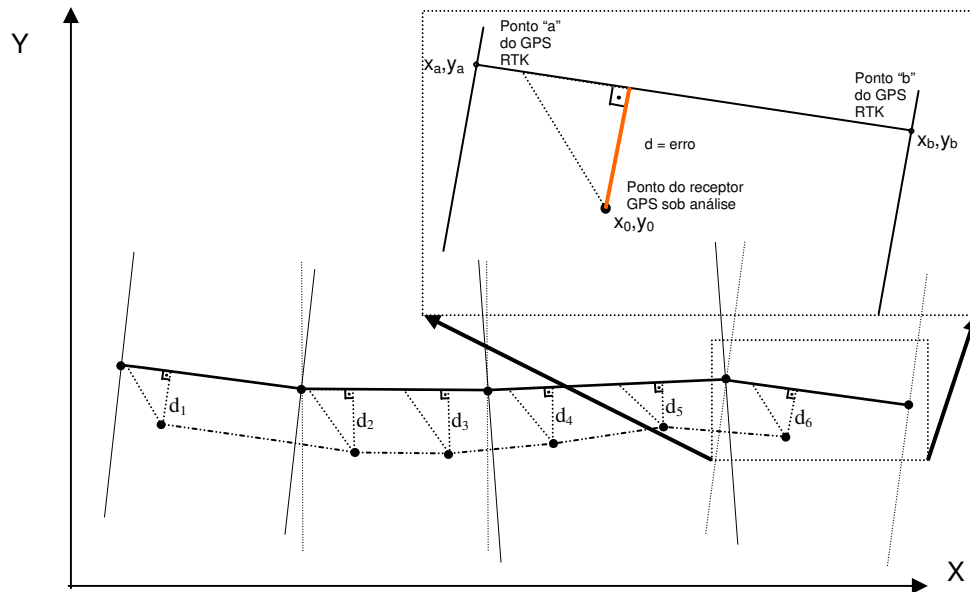


Figura 2. Exemplo de segmentação da seqüência obtida com o receptor RTK e os pontos pertencentes a cada segmento.

Na Figura 3 observam-se os resultados obtidos no ensaio e utilizando a metodologia apresentada. Na primeira comparação (tratamentos 1, 2 e 3) a influência da velocidade de deslocamento foi sensivelmente menor que na segunda comparação (tratamentos 4, 5 e 6) e na velocidade de $5,55 \text{ ms}^{-1}$ os receptores B e D não seguiram a tendência dos demais. Na segunda comparação a menor velocidade acarretou em maior erro. A influência da velocidade pode ser explicada pela hipótese de que sob maior velocidade o desvio lateral gerado pelo erro dos receptores tende a ser suavizado devido à redução na quantidade de pontos coletados, uma vez que os receptores estavam configurados para gravar dados em intervalos de tempo e não de distância. Por este mesmo motivo pode se explicar o bom desempenho do receptor A, uma vez que este gerou dados em uma frequência menor, apesar das configurações estarem iguais às dos demais. Portanto, para ensaios futuros este parâmetro deve ser modificado na metodologia, de forma que a taxa amostral, na medida do possível, seja a mesma, tanto em diferentes velocidades quanto entre os diferentes receptores.

Durante todo o ensaio o receptor A não conseguiu captar dados de correção diferencial WAAS, reforçando o fato de que este sinal oferece limitações para uso como correção em território brasileiro. No entanto, seus valores de erro de posicionamento transversal ao percurso do veículo foram baixos, considerando ser um receptor de navegação. O receptor B, assistido por correção diferencial via satélite, apresentou um

desempenho abaixo dos demais, porém dentro das suas especificações, destacando-se ser esse o único com apenas 8 canais, dentre os equipamentos que fizeram parte do ensaio; todos os demais receptores são de 12 canais. O Receptor C apresenta um algoritmo interno de minimização de erros transversais e é destinado a equipar barras de luz na orientação de passadas paralelas em campo. Seus valores de erro foram equivalentes ao que tem sido obtido em ensaios de barras de luz (BAIO, 2005). Os receptores D e E tiveram desempenhos equivalentes, embora fosse esperado melhor desempenho do receptor D em função do tipo de sinal diferencial. Considera-se a possibilidade do sinal não estar com a qualidade ou disponibilidade desejada durante os ensaios.

4 CONCLUSÕES

A metodologia que inclui a utilização de um receptor de GPS RTK como referência permitiu a coleta de grande quantidade de dados e a análise desses dados sem a necessidade de mensurações dos erros em campo, o que representa maior rapidez com menos chances para erros experimentais, especialmente de mensuração de distâncias em campo. Os resultados obtidos no ensaio indicaram a necessidade de se ajustar a quantidade de pontos coletados para que, na medida do possível, seja a mesma entre os diferentes tratamentos e receptores e essa quantidade deve ser fixada para que seja em função da distância percorrida e não do tempo.

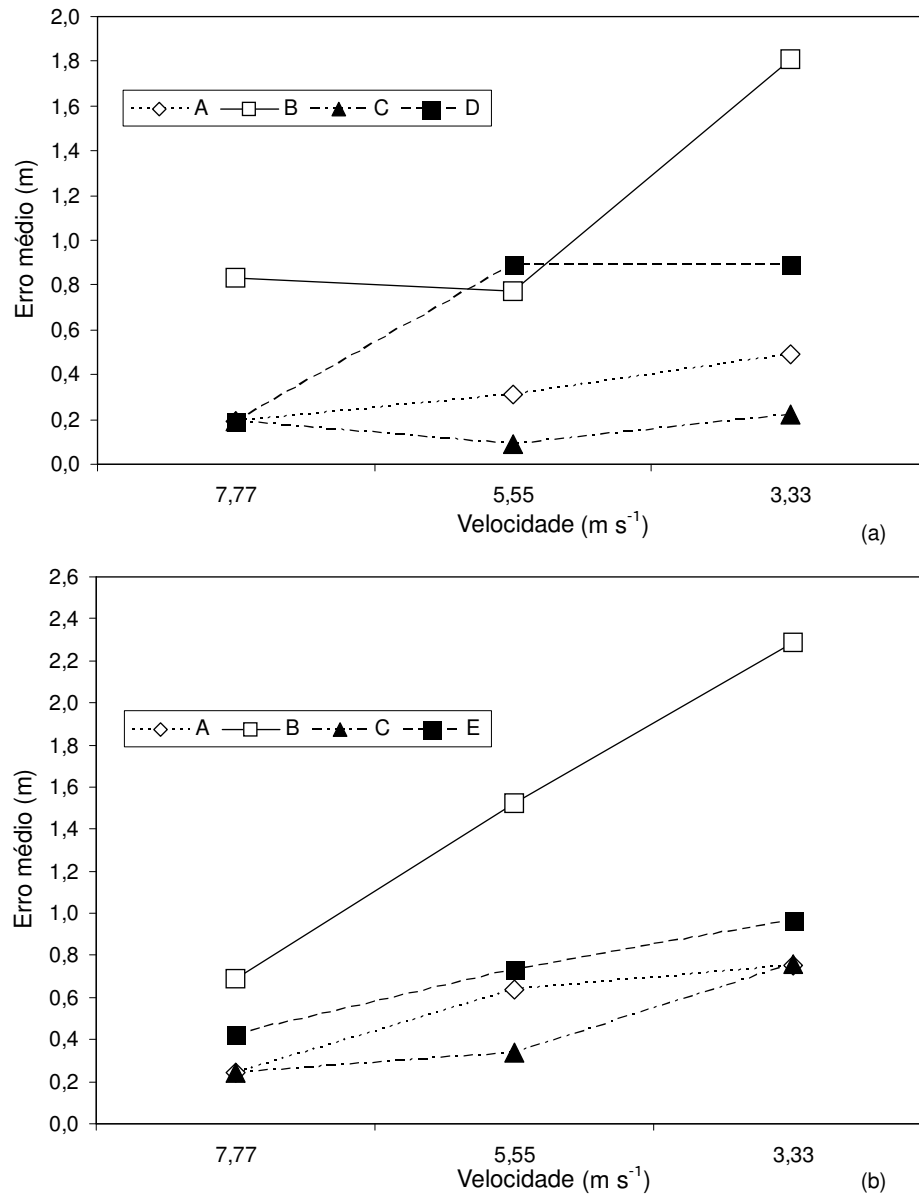


Figura 3. Médias dos erros observados com os receptores A, B, C e D para os tratamentos 1, 2 e 3 (a) e para os receptores A, B, C e E nos tratamentos 4, 5 e 6 (b).

REFERÊNCIAS

- BAIO, F.H.R. **Metodologia para ensaio de sistemas de direcionamento via satélite em percursos retos e curvos**. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2005.
- HAN, S.; H.K. NOH.; ZHANG, Q.; SHIN, B.S. Dynamic Performance Evaluation of DGPS Receivers for Parallel Tracking. **ASAE Meeting Paper N°023107**, St. Joseph, USA. 2002.
- MOLIN, J.P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n.3, p.121-32. 1998a.
- MOLIN, J.P. Orientação de aeronave agrícola por DGPS comparada com sistema convencional por bandeiras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 62-70. 1998b.
- MOLIN, J.P.; RUIZ, E. S. R. Accuracy of DGPS for Ground Application in Parallel Swaths. **ASAE Meeting Paper N°991043**, St. Joseph, USA. 1999.
- MOLIN, J.P.; CERRI, D.G. P.; BAIO, F.H.R.; TORREZAN, H.F.; ESQUERDO, J.C.D.M.; RIPOLI, M.L.C. Evaluation of a light bar for parallel swathing under different forward speeds. In: **WORLD CONGRESS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES**, 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2002. p. 190-195. 2002.
- LEICK, A. **GPS Satellite Survey**. John Wiley & Sons Inc. USA. 1994.
- STOMBAUGH, T.; SEARER, S. Elements of a Dynamic Test Standard. **ASAE Meeting Paper N°021150**, St. Joseph, USA. 2002.
- STOMBAUGH, T.; COLE, J.; SHEARER, S.; KOOSTRA, B. A test facility for evaluating dynamic GPS accuracy. **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 2005, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Wageningen Academic Publishers. 2005.
- TAYLOR, R. K.; SCHROCK, M. D.; BLOOMFIELD, G. BORA, J.; BROCKMEIER, G.; BURTON, W.; CARLSON, B.; GATTIS, J.; GROENING, R.; KOPRIVA, J.; OLEEN, N.; NEY, J.; SIMMELINK, C.; VONDRACEK, J. Dynamic testing of GPS receivers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 47, n.4, p. 1017-1025. 2004.
- WELTZIEN, C.; NOACK, P. GPS receiver accuracy test – dynamic and static for best comparison of results. **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 2003, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Wageningen Academic Publishers. 2003.