

## AValiação DA PRECISÃO DOS SINAIS RTK E RTX EM ENSAIO ESTÁTICO E CINEMÁTICO

RODRIGO G. TREVISAN<sup>1</sup>, MATEUS T. EITELWEIN<sup>1</sup>, NATANAEL S. VILANOVA JR.<sup>1</sup>,  
JOSÉ V. SALVI<sup>2</sup>, BRUNA P. PASSALAUQA<sup>3</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Pós-Graduando, ESALQ-USP, Piracicaba – SP, rodrigo.trevisan@usp.br; mateus\_eitelwein@usp.br; natanael.vilanova@usp.br;

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Professor, FATEC “Shunji Nishimura”, Pompéia – SP, josevitorsalvi@gmail.com

<sup>3</sup> Tecnóloga em Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC “Shunji Nishimura”, Pompéia – SP, bruna\_passalauqa@hotmail.com

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup>. Agrícola, Professor Associado, Depto de Eng. de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jpmolin@usp.br;

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014**  
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

**RESUMO:** Os sistemas de navegação global por satélites (GNSS) possuem ampla aplicação no meio agrícola, sobretudo nos sistemas de direção automática. Os sinais de correção diferencial via satélite estão melhorando gradativamente a sua precisão e exatidão, substituindo o sinal RTK em algumas operações agrícolas. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a precisão dos sinais RTK e RTX de correção diferencial em ensaios estáticos e cinemáticos em Piracicaba, SP. As avaliações em condição estática foram realizadas com as antenas fixadas em marcos de referência e para o ensaio cinemático utilizou-se um trilho circular, deslocando-se as antenas com o auxílio de um veículo elétrico. A precisão cinemática foi avaliada calculando-se os erros de duas maneiras: i) estabelecendo um modelo de referência absoluto e; ii) um modelo de referência relativo para cada intervalo de 15 minutos. No ensaio estático a precisão foi de 0,005 e 0,033 m para RTK e RTX, respectivamente, sendo melhor que a informada pelo fabricante. No ensaio cinemático ambos os receptores tiveram precisão menores, afetando com maior intensidade o RTX que apresentou uma precisão de 0,179 m considerando um modelo de referência absoluto. Estabelecendo-se um novo modelo de referência a cada 15 minutos, a precisão melhorou, com valores de 0,012 m para o RTK e 0,054 m para o RTX.

**PALAVRAS-CHAVE:** GPS, GLONASS, GNSS.

### PERFORMANCE EVALUATION OF GNSS RECEIVERS IN A STATIC AND CINEMATIC TEST

**ABSTRACT:** Global navigation satellite systems (GNSS) have been widely used in agricultural applications, especially in auto-guidance systems. The differential correction signals are gradually improving their precision and accuracy, being an alternative to real time kinematic (RTK) technology. Thus, the objective of this study was to evaluate and compare the precision of two differential correction signals under static and kinematic conditions in Piracicaba, São Paulo state. The correction signals evaluated were: RTK and RTX (Trimble®). In the static test the antennas were placed at a fixed point and the kinematic evaluations were conducted on a circular path, moving the antennas with the aid of an electric vehicle. The kinematic accuracy was assessed by calculating the errors in two ways: i) establishing an

absolute reference; ii) a reference model for each 15 minute interval. The results of the static test showed a precision of 0.005 and 0.033 m for RTK and RTX, respectively, better than informed by the manufacturer. In the kinematic test both receptors had lower performance, affecting more intensely RTX which showed a precision of 0.179 m considering a model of absolute reference. The precision of the receptors in the kinematic test improved when it was established a new reference model every 15 minutes, with values of 0.012 and 0.054 m for RTK and RTX, respectively.

**KEYWORDS:** GPS, GLONASS, GNSS.

## **INTRODUÇÃO**

A utilização dos sistemas de navegação global (GNSS), tem se difundido amplamente no meio agrícola, sobretudo nos sistemas de direção automática. A precisão de um receptor diz respeito a dispersão dos seus pontos, enquanto a exatidão está ligada à distância entre uma coordenada conhecida e informada pelo receptor. Neste contexto, o sistema RTK (Real Time Kinematic) é o sinal de correção diferencial mais preciso e exato disponível para uso agrícola, com uma precisão na ordem de 2,5 cm e com repetibilidade da posição fornecida ano após ano. A precisão desse sistema é obtida por meio de um par de receptores, um deles (base), fica estacionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e calcula o erro entre a posição fornecida pelos satélites e a posição real. Esse erro é usado para calcular um sinal de correção que é enviado por uma conexão de rádio para o outro receptor (*rover*) que está na máquina, corrigindo instantaneamente a posição deste.

Apesar da alta precisão e repetibilidade, o RTK apresenta uma degradação de precisão do sinal na ordem de  $1 \text{ mm km}^{-1}$  entre a base e o *rover*, o que limita a sua operação a um raio de aproximadamente 20 km, no entanto, é comum a perda de sinal em distâncias menores com a presença de obstáculos ou regiões de terreno inclinado. Neste sentido, grandes propriedades ou com áreas distantes entre si precisam levar repetidoras de sinal com as frentes de trabalho além de mover ou instalar várias bases, gerando dificuldades logísticas e aumento de custo. Novos sinais de correção diferencial via satélite encontram-se disponíveis no mercado, podendo ser uma alternativa aos sinais de correção RTK em algumas operações agrícolas. No entanto, os fabricantes de receptores GNSS utilizados em AP, geralmente disponibilizam informações do desempenho de seus receptores em ensaios estáticos, que nem sempre representam um bom indicativo do desempenho cinemático (Stombaugh et al., 2002; Machado e Molin, 2011).

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a precisão estática e cinemática de diferentes sinais de correção diferencial fornecidos via satélite (RTX) e via rádio por uma base (RTK).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O ensaio foi realizado no Laboratório de Agricultura de Precisão do Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ – USP), no município de Piracicaba, SP. Para caracterizar o ambiente do ensaio e potencial influência das árvores no ângulo de recepção do sinal das antenas, realizou-se um levantamento do perfil de sombreamento do trilho (Figura 1). Para isso foi posicionado no centro da circunferência um teodolito digital Topcon DT-200, fixado e nivelado a 1,50 m de altura e realizando leituras do ângulo dos obstáculos de sombreamento em  $360^\circ$ . Em nenhuma direção o sombreamento provocado pelos obstáculos ultrapassou  $30^\circ$ , apresentando uma média de 15 graus. Embora o local do experimento não seja completamente livre de obstáculos, foi considerado como adequado à realização dos

testes uma vez que simula condições reais de campo, especialmente das bordas de talhões agrícolas, que frequentemente apresentam presença de árvores. Em todas as avaliações foram monitoradas a disponibilidade de satélites e condições eletromagnéticas da atmosfera que causam cintilação, não havendo relato de ocorrência significativa que prejudicasse a qualidade da avaliação.

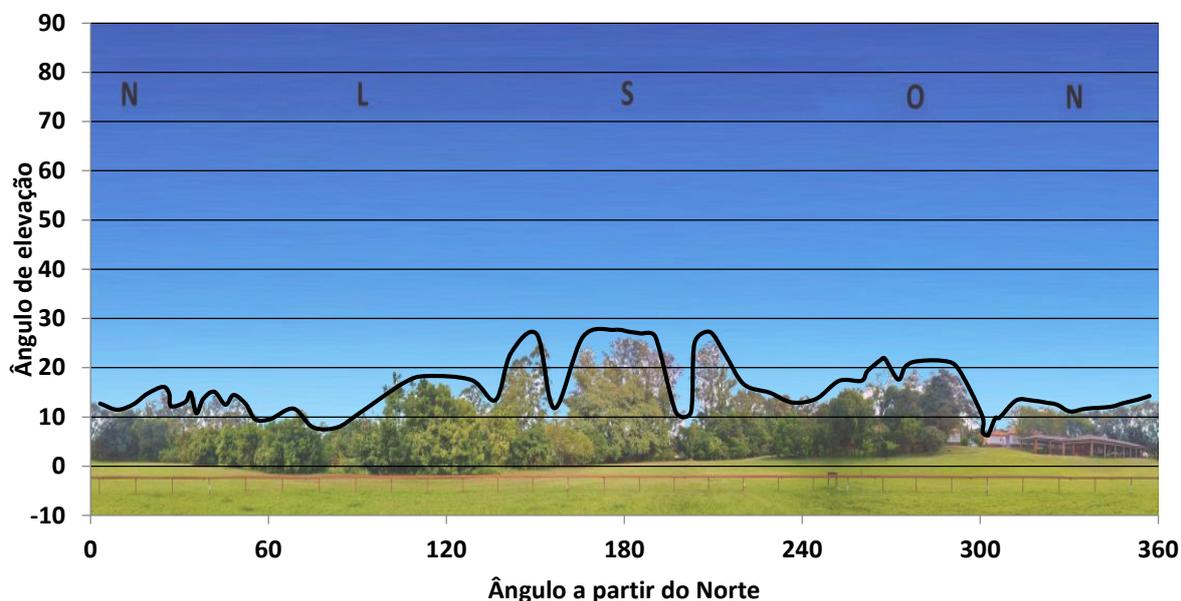


FIGURA 1. Perfil de sombreamento do ensaio estático com ponto inicial no norte verdadeiro.

Os receptores avaliados foram: i) RTK: com correção via rádio através de uma base fixa distante 40 m do centro do trilho; ii) RTX: com correção diferencial via satélite. A descrição dos equipamentos utilizados e respectiva precisão informada pelo fabricante são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Sinais de correção diferencial avaliados e descrição dos equipamentos.

Sinal de Correção	Fabricante dos Receptores	GNSS	Fonte da correção diferencial	Registro das Informações	Precisão segundo o fabricante (m)*
RTK	Trimble	GPS, GLONASS	Rádio	Trimble FmX <sup>®</sup>	0,025
RTX	Trimble	GPS, GLONASS	Satélite	Trimble FmX <sup>®</sup>	0,038

\* Precisão fornecida em 95% das observações.

O ensaio estático foi realizado posicionando as antenas sobre um ponto fixo com condições de sombreamento conhecidas (Figura 1). Foram realizadas seis repetições contendo 3.600 pontos com frequência de 1 Hz. A precisão foi calculada em função do deslocamento dos pontos em relação ao ponto correspondente à média geral das repetições (Tabela 2).

O ensaio cinemático foi realizado através do deslocamento radial (pivô) das antenas, conforme trabalhos já realizados por outros autores (Machado et al., 2010). Para o estudo foi montado um trilho circular com um raio externo de 10 m, deslocando-se sobre este um veículo alimentado por energia elétrica. A velocidade de deslocamento foi mantida constante em  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ . O ensaio contou com oito repetições de 3.600 pontos, coletados com uma

frequência de aquisição de 1 Hz. Tanto no ensaio estático como cinemático as coletas duraram aproximadamente 1:40 h, sendo utilizados apenas os dados adquiridos após os receptores estarem com sinais fixados e estabilizados (Tabela 2). Entre as repetições realizadas no mesmo dia os receptores foram desligados por 15 minutos e então religados, aguardando mais 15 minutos para reiniciar a coleta dos dados.

TABELA 2. Descrição dos dias e horários das avaliações.

Repetição	Data	Horário	
		Início	Fim
Ensaio estático			
1	26/04/2014	8:15	9:15
2	26/04/2014	9:55	10:55
3	26/04/2014	12:10	13:10
4	26/04/2014	13:55	14:55
5	26/04/2014	15:50	16:50
6	30/04/2014	18:35	19:35
Ensaio cinemático			
1	27/04/2014	13:40	14:40
2	27/04/2014	16:15	17:15
3	02/05/2014	12:00	13:00
4	02/05/2014	17:25	18:25
5	05/05/2014	14:50	15:50
6	05/05/2014	16:35	17:35
7	05/05/2014	18:15	19:15
8	05/05/2014	20:25	21:25

Para cada antena foi estabelecido um modelo de referência para cálculo dos desvios em relação ao trajeto correto. O modelo foi determinado em função da menor soma de quadrados dos desvios entre a referência e os pontos coletados.

Os erros de posicionamento foram calculados construindo um novo arquivo de dados contendo um ponto de referência para cada dado coletado. O ponto está localizado sobre a linha de referência da circunferência, na posição mais próxima do ponto em análise. A distância ortogonal entre eles foi considerada como erro de paralelismo, conforme ilustrado na FIGURA 2. Adotou-se o erro de paralelismo considerando-se este o mais importante para avaliar o desempenho de posicionamento em operações agrícolas (Taylor et al., 2004).

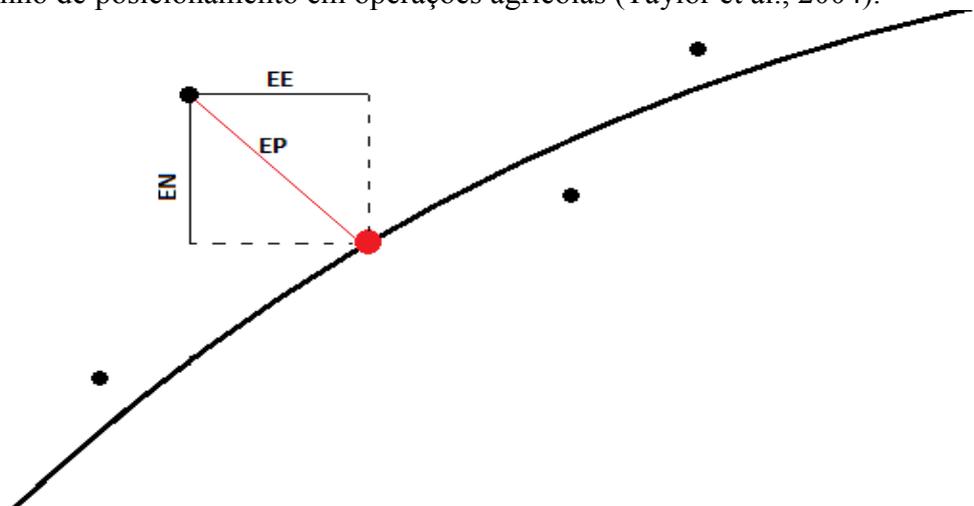


FIGURA 2. Esquema ilustrativo do cálculo do erro na coordenada norte (EN), erro na coordenada leste (EE) e do erro de paralelismo (EP).

Uma segunda análise dos erros de posicionamento cinemático foi realizada visando avaliar a precisão simulando passadas paralelas em intervalos menores que 15 minutos. Para isso foram criados novos modelos de referência para cada antena a cada 15 minutos. O modelo desloca o centro do círculo para o ponto que minimiza a soma de quadrados dos desvios da posição. Todos os cálculos foram então refeitos de acordo com o modelo válido para o momento da coleta do ponto.

Além das análises já citadas, de acordo com a metodologia proposta por Machado et al. (2010), calculou-se o erro circular provável (CEP) que indica o limite que contém 50% de todos os erros na distribuição circular (Equação 1), e o erro médio de paralelismo (EMP), que representa o desvio médio dos pontos em relação ao modelo de referência (Equação 2).

$$CEP = 1,18 \sqrt{\sigma E^2 + \sigma N^2} \quad (1)$$

onde: CEP – desvio circular provável;

$\sigma E$  – desvio padrão da coordenada E, m;

$\sigma N$  – desvio padrão da coordenada N, m;

$$EMP = \sqrt{EME^2 + EMN^2} \quad (2)$$

onde: erro médio de posicionamento;

EME – erro médio leste-oeste, m;

EMN – erro médio norte-sul, m.

Todas as análises foram realizadas no software R, versão 3.1.0 (R Development Core Team, 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os erros de posicionamento e os desvios padrões dos erros foram semelhantes nas coordenadas leste-oeste e norte-sul para ambos os receptores, tanto no ensaio estático quanto no cinemático (Tabela 3). Isso indica que não houve tendência de maiores erros em uma das direções como os reportados por MACHADO e MOLIN (2011), que verificaram erros maiores nos sentidos norte-sul em ensaio estático.

TABELA 3. Desempenho dos receptores no ensaio estático.

Ensaio	GNSS	EMP	E	N	$\sigma(E)$	$\sigma(N)$	$2\sigma$	CEP	RMSE
Estático	RTK	0,0042	0,0025	0,0029	0,0031	0,0037	0,0050	0,0052	0,0048
	RTX	0,0185	0,0110	0,0128	0,0164	0,0187	0,0331	0,0273	0,0248
Cinemático	RTK	0,0052	0,0033	0,0033	0,0049	0,0048	0,0136	0,0081	0,0068
	RTX	0,0540	0,0340	0,0347	0,0629	0,0643	0,1799	0,1049	0,0899
Cinemático Paralelismo	RTK	0,0048	0,0031	0,0031	0,0046	0,0044	0,0128	0,0076	0,0064
	RTX	0,0194	0,0121	0,0125	0,0189	0,0193	0,0540	0,0315	0,0270

EMP: Erro médio de paralelismo; E: Erro médio na coordenada leste-oeste; N: Erro médio na coordenada norte-sul;  $\sigma(E)$ : Desvio padrão do erro leste-oeste;  $\sigma(N)$ : Desvio padrão do erro norte-sul;  $2\sigma$ : duas vezes o desvio padrão do erro de paralelismo; CEP: erro circular provável; RMSE: Raiz quadrada do erro quadrático médio.

A precisão geralmente reportada pelos fabricantes e revendedores de receptores GNSS é o valor de duas vezes o desvio padrão dos erros de distância, que equivale ao valor de corte que concentra 95% dos dados. Neste sentido, observa-se que a precisão geral do receptor com

a tecnologia RTK é cerca de 5 a 15 vezes superior à precisão do receptor com correção via satélite.

Observa-se que no ensaio estático (Figura 2), a dispersão dos dados é tão pequena para o sinal RTK que torna possível a visualização da menor diferença de posição possível devido ao número de casas decimais fornecidas. O sinal RTX, por outro lado, apresenta dispersão cerca de 5 vezes maior, com concentração de pontos em alguns lugares fora do intervalo definido pelo valor de duas vezes o desvio padrão.

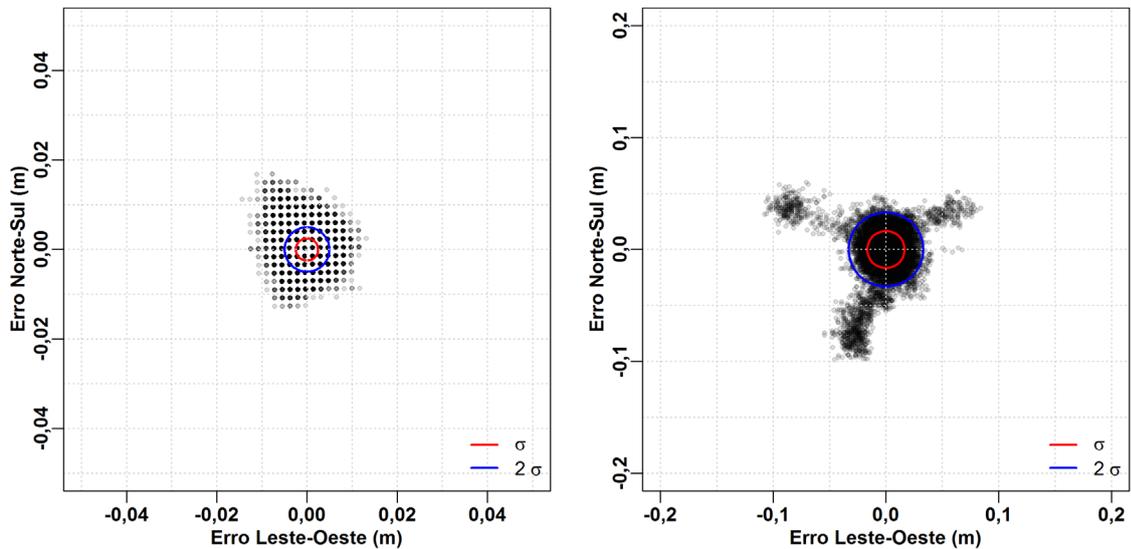


FIGURA 2. Gráficos de dispersão dos erros para o receptor RTK (A) e RTX (B) no ensaio estático.

No ensaio cinemático com uma referência absoluta (Figura 4), os erros aumentaram para os dois receptores, principalmente para o sinal RTX. Esse aumento foi de cerca de 3 vezes para o sinal RTK e de 6 vezes para o RTX, o que fez com que o sinal RTK fosse mais de 10 vezes mais preciso que o RTX nessas condições.

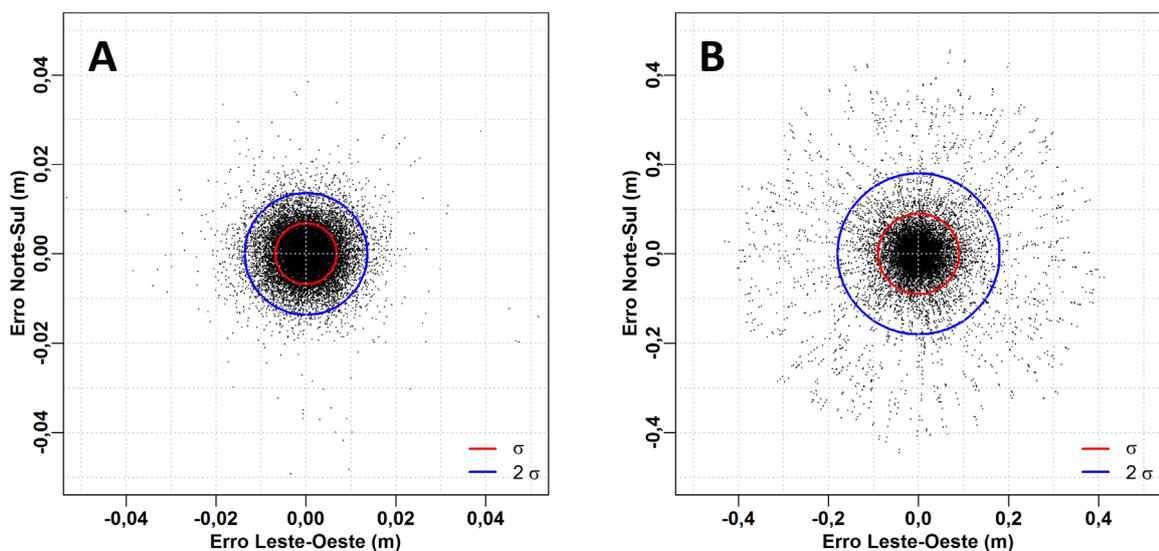


FIGURA 3. Gráficos de dispersão dos erros para o receptor RTK (A) e RTX (B) no ensaio cinemático com referência absoluta.

O desempenho do receptor com sinal de correção via satélite melhorou quando se considerou apenas a precisão no paralelismo em intervalos de tempo menores que 15 minutos (Figura 4). Apesar disso, este apresentou precisão na ordem de um quinto daquela proporcionada pelo receptor RTK nas mesmas condições, que praticamente não apresentou diferenças entre os dois métodos de avaliação no ensaio cinemático.

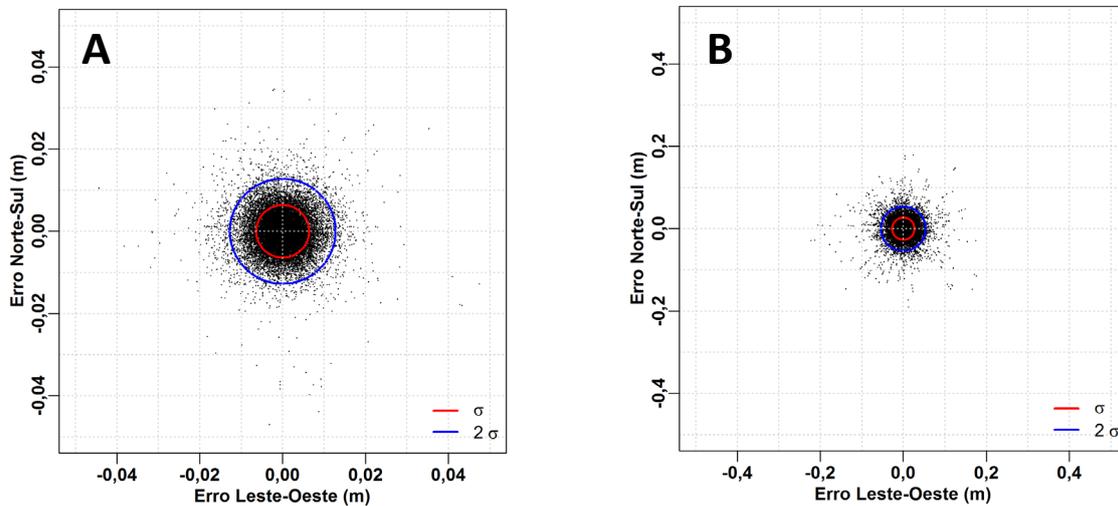


FIGURA 4. Gráficos de dispersão dos erros para o receptor RTK (A) e RTX (B) no ensaio cinemático com atualização da referência a cada 15 minutos.

É importante que os usuários de GNSS tenham bem claros os objetivos e a precisão desejada antes de escolher qual tecnologia devem adotar. Para uma aplicação de fertilizante em taxa variável, por exemplo, o erro mais importante é aquele que ocorre em pequenos intervalos de tempo, entre uma faixa e outra de aplicação, enquanto que para a realização de operações que devem respeitar o mesmo traçado de outra anterior, como é o caso da sulcação, plantio e colheita de cana-de-açúcar, os erros relacionados à repetibilidade ganham maior importância.

Levando-se em consideração os resultados obtidos no ensaio estático e no cinemático, observa-se que apenas o RTK se manteve com precisão sempre de acordo com a informada pelo fabricante, enquanto que o RTX apresentou erros superiores no ensaio cinemático. Resultados semelhantes foram observados por MIN et al. (2008), que ao avaliarem diferentes receptores em condições estáticas e cinemáticas em pomares de laranja, concluíram que a precisão dos receptores foi semelhante à informada pelo fabricante apenas no teste estático, com resultados diferentes para os testes cinemáticos.

## CONCLUSÕES

A precisão de posicionamento do receptor com correção diferencial via satélite RTX em condição cinemática são inferiores à informada pelo fabricante. A precisão geral do receptor que usa a tecnologia RTK é em torno de 10 vezes superior à do receptor com correção via satélite. O desempenho do receptor com sinal de correção via satélite melhorou ao considerar-se apenas a precisão no paralelismo em intervalos de tempo menores que 15 minutos. Apesar disso, sua precisão ficou na ordem de um quinto daquela proporcionada pelo receptor RTK nas mesmas condições.

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho só foi possível devido à colaboração da Fundação “Shunji Nishimura” de Tecnologia, GeoAgri e Trimble. Os autores também agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas.

## REFERÊNCIAS

- MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. *Engenharia Agrícola*, v.30, n.1, 2010.
- MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P. Ensaios estáticos e cinemáticos de receptores de GPS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.9, p.981–988, 2011.
- MIN, M.; EHSANI, R.; SALYANI, M. Dynamic accuracy of GPS receivers in citrus orchards. *Applied Engineering in Agriculture*, v.24, p.861-868. 2008.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. 2014.
- STOMBAUGH, T.; SHEARER, S.; FULTON, J. *Standards for comparison of GPS receiver performance*. In: Conference on Precision Agriculture, 3, 2002, Madison. Abstract... St. Joseph: ASA/CSSA/SSSA. p. 1049-1059. 2002.
- TAYLOR, R. K. et al. Dynamic testing of GPS receivers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.47, n.4, p. 1017-1028, 2004.