

AVALIAÇÃO DOS ERROS DE PARALELISMO DE CONJUNTOS MECANIZADOS UTILIZANDO SISTEMA DE CORREÇÃO VIA SATÉLITE

BRUNA P. PASSALAUQUA¹, JOSÉ V. SALVI², JOSÉ P. MOLIN³, MARCOS S. SATO⁴, EDINEI MANARIN⁴

¹Tecnóloga em Mec. em Agricultura de Precisão, Pós-graduanda, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, bpasalaqua@usp.br

²Engº Agrônomo, Professor, FATEC “Shunji Nishimura”, Pompéia-SP, josevitorsalvi@gmail.com

³Engº. Agrícola, Professor Associado, Depto de Eng. de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jpmolin@usp.br

⁴Acadêmicos em Mec. em Agricultura de Precisão, FATEC “Shunji Nishimura”, Pompéia-SP, marcos_sato26@hotmail.com; e.manarin@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2016

Goiânia, Goiás, 4 a 6 de outubro de 2016

RESUMO: Equipamentos e recursos de auxílio ao operador para percorrer percursos pré-determinados ou paralelos tem evoluído sensivelmente. Neste contexto, correções diferenciais de sinal de Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) via satélite representam praticidade por não necessitarem de GNSS base ou repetidoras para multiplicação do sinal. O objetivo deste trabalho é avaliar os erros de paralelismo de um conjunto trator e implemento durante o plantio de cana-de-açúcar utilizando sistema de direcionamento automático hidráulico com o uso de sistema de correção diferencial via satélite. Foram utilizadas duas áreas com linhas de plantio previamente projetadas e um trator equipado com sistema de direcionamento automático e correção via satélite pelo qual foram armazenados os dados de posicionamento. Os erros foram calculados pela diferença perpendicular entre as coordenadas da posição da antena no trator e da referência. Verificou-se que em trajetos retilíneos, 99,2% dos dados encontram-se dentro da meta do produtor (erro abaixo de 0,10 m), enquanto que em trajetos em curva, a frequência de dados na meta é reduzida para 97,2%. Em trajetos retilíneos, os erros se localizam ao longo do percurso do conjunto trator-máquina, enquanto que em trajetos curvos, as maiores frequências de valores elevados encontram-se nos setores com menores comprimentos de fileiras e na região do talhão com maior declividade.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, plantio, sistema de direção automática

EVALUATION OF PARALLELISM ERRORS OF MECHANIZED SETS USING SATELLITE SYSTEM CORRECTION

ABSTRACT: Equipment and aid resources to the operator to go through pre-determined or parallel paths has evolved significantly. In this context, differential satellite corrections of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) signal are practical as they do not need GNSS base or repeaters for signal multiplication. The objective of this study is to evaluate the parallelism errors of a tractor and implement set for planting sugarcane using integrated automatic guidance system using satellite differential correction system. A tractor was equipped with automatic guidance system and satellite correction in two areas with previously projected rows, where data was collected. The errors were calculated by the difference between perpendicular antenna position on tractor and reference. The results show that in straight paths, 99.2% of the data lie within the target (error below 0.10 m), while in curved paths it drops to 97.2%. In straight paths, errors are located along the field, while in curved paths, the highest frequency of high values are in sectors with shorter lengths of rows and plot the region with the highest slope.

KEYWORDS: precision agriculture, planting, automatic guidance system

INTRODUÇÃO: A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma gramínea com alta relevância na economia brasileira por ser fornecedora de matéria prima para produção de etanol e açúcar. De acordo com Borba & Bazzo

(2009), 24% do custo de implantação de lavouras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo se deve ao plantio mecanizado. O fato de ser uma cultura semi perene faz com que o plantio seja um fator de extrema importância, já que falhas que venham ocorrer durante esta operação representam vários anos consecutivos do comprometimento da produtividade (FERREIRA et al., 2008). Com o aumento do desenvolvimento tecnológico na agricultura, visando facilitar a vida do usuário, melhorar a qualidade das operações agrícolas e uma maior dinamização dos processos, houve um crescimento da adoção de técnicas relacionadas à agricultura de precisão (BAIO & MORATELLI, 2011). Equipamentos e recursos de auxílio ao operador para percorrer percursos pré-determinados ou paralelos tem evoluído sensivelmente. Neste contexto, as correções diferenciais são necessárias e estão disponíveis no mercado basicamente pelos sistemas de correção diferencial tipo RTK (Real Time Kinematic) e pelos sinais de correção diferencial distribuídos via satélite. Carballio et al. (2014) observaram o comportamento de um trator autônomo em percursos retilíneos comparando o uso de sinais de GNSS com correção diferencial RTK e via satélite. Os dados adquiridos mostraram que os erros para o uso de correção RTK não foram superiores a 0,04 m, enquanto que com a correção distribuída via satélite os erros não superaram os 0,10 m. Já o trabalho realizado por Salvi et al. (2014), mostrou por um conjunto trator-transbordo, direcionado por atuador elétrico-mecânico e correção diferencial via satélite, que os erros médios de paralelismo foram inferiores a 0,10 m. Observou-se com isso a necessidade de compreender e quantificar os erros de paralelismo de um conjunto trator e equipamento, considerando o tipo de correção diferencial utilizada. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os erros de paralelismo de um conjunto trator e máquina durante o plantio utilizando sistema de direcionamento automático integrado com o uso de um sinal comercial de correção diferencial via satélite.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado em duas áreas distintas de produção de cana-de-açúcar, localizadas no leste do estado de São Paulo, com solo predominantemente argiloso e a produtividade média para primeiro corte de 150 Mg ha⁻¹. As coletas de dados ocorreram durante os meses de maio/2015 e junho/2016, não sendo observadas atividades solares expressivas durante os períodos de avaliação, que poderiam afetar os resultados. As áreas utilizadas tinham 83,04 ha (área 1), e 109,14 ha (área 2), as quais tiveram todas as suas linhas de plantio previamente projetadas a partir do levantamento topográfico e do estudo detalhado do terreno, onde contemplaram percursos retos e curvos. O trator utilizado foi um modelo 7225J (John Deere, Montenegro, Brasil), com 165 kW, o qual possuía o sistema de direcionamento automático hidráulico modelo AutoPilot (Trimble, Sunnyvale, EUA), com um receptor GPS AgGPS 262 e um terminal controlador modelo AgGPS NavController II, com correção via satélite comercializada pela mesma empresa, chamado RTX[®]. O fabricante indica que esta correção possui erro horizontal de 0,038 m em 95% do tempo, todavia, esse erro é diagnosticado de modo estático. A taxa de aquisição de dados foi de aproximadamente um ponto a cada 3 m, sendo que a velocidade de plantio foi de 1,67 ms⁻¹ (6 km h⁻¹). Todos os procedimentos de configuração e calibração do sistema de direção automática foram realizados de acordo com a recomendação do fabricante. Na área 1 a máquina utilizada foi uma carreta sulcadora e distribuidora de torta de filtro, a qual realiza a sulcação de duas fileiras de cana com a distribuição simultânea de adubo e torta de filtro dentro do sulco de plantio (DMB, Sertãozinho, Brasil) acoplada ao engate de três pontos do trator. Na outra área foi utilizado um sulcador de duas fileiras de cana (DMB, Sertãozinho, Brasil), também acoplada ao engate de três pontos do trator. Todas as regulagens das máquinas foram realizadas de acordo com a recomendação do fabricante. O sistema de direção automática era engatado no início de cada uma das linhas. Os dados obtidos foram selecionados de forma que apenas linhas contínuas fossem processadas. O processamento dos dados, as análises e a exportação foram realizadas pelos programas AutoCAD (Autodesk, San Rafael, EUA) e QGIS (Open Source Geospatial Foundation, Beaverton, EUA). Os erros de paralelismo (desvios) do eixo dianteiro do trator foram avaliados pela diferença da distância ortogonal entre os pontos de posição das antenas, no centro do trator e a linha referência originada quando do projeto da sulcação, utilizando um algoritmo desenvolvido por Spekken et al. (2014). Os erros de paralelismo foram analisados por estatística descritiva, obtendo-se o erro médio, mediana e o desvio padrão (σ) e foram comparados à meta de erro do produtor (0,10 m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram os erros de paralelismo para cada uma das áreas estudadas para percursos retilíneos e em curvas. Já a Figura 1 mostra os histogramas das frequências dos dados e sua distribuição espacial nas áreas em estudo. A partir dos dados apresentados é possível observar que as médias diferem pouco entre si, apresentando valores médios de 0,021m para a área 1, de trajeto retilíneo, e de 0,032m para a área 2, de trajeto em curva. Os coeficientes de variação ficaram em torno de 95% e

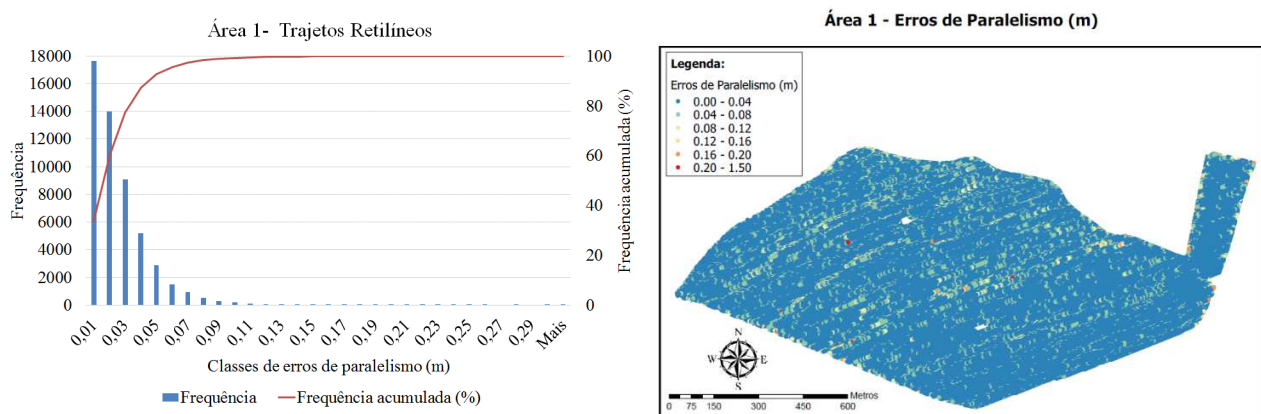
90%, respectivamente. Os resultados não foram superiores aos encontrados por Salvi et al. (2014), que para o mesmo tipo de correção diferencial via satélite, porém, utilizando atuador elétrico-mecânico. Os valores médios não foram superiores a 0,10m. Trabalho realizado por Baio (2012), mostra, que em colheita de cana-de-açúcar, utilizando atuador hidráulico e correção com sistema RTK, os erros médios encontrados oscilaram entre 0,02 e 0,05m.

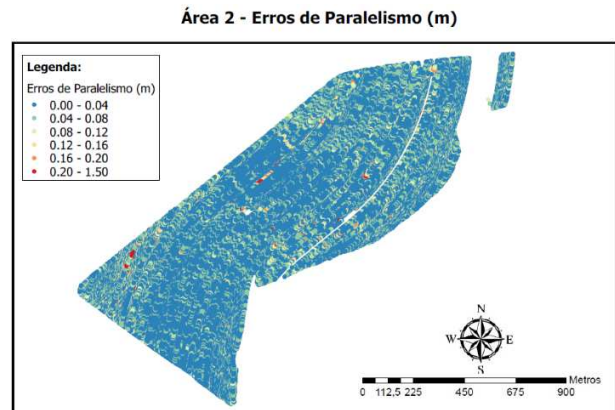
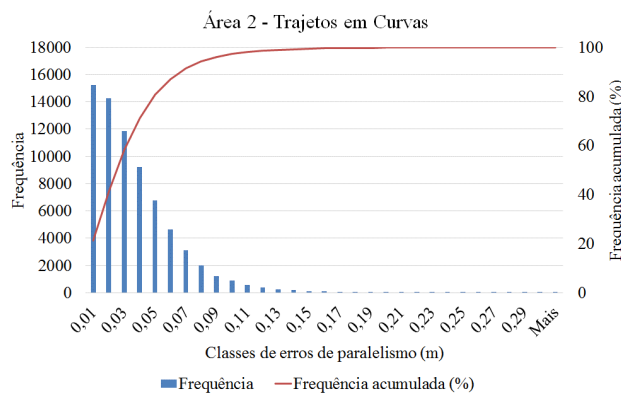
TABELA 1. Resultado dos erros de paralelismo encontrados para percursos retilíneos (área 1) e em percursos em curvas (área 2). **Result errors between rows found for straight paths (area 1) and curves paths (area 2).**

Variáveis	Área 1	Área 2
	Percurso retilíneo	Percurso em curva
Área (ha)	83,04	109,14
Número de pontos	52.575	71.233
Densidade Amostral (pontos ha ⁻¹)	633,13	652,67
Erro Mínimo (m)	0,000	0,000
Erro Máximo (m)	0,727	0,688
Erro Médio (m)	0,021	0,032
Desvio Padrão (σ) (m)	0,020	0,029
Coefficiente de Variação (%)	95,23	90,62
Erro Médio + 1 σ (m)	0,041	0,061
2 σ (m)	0,040	0,058
Erro Médio + 2 σ (m)	0,061	0,090

Os histogramas da Figura 1 mostram que para as duas áreas, as maiores ocorrências de erros no paralelismo encontram-se na classe entre 0,01 e 0,02m. Os produtores de cana-de-açúcar desta área específica, consideram que os erros de paralelismo aceitáveis não devem ultrapassar 0,10 m, evitando problemas nas demais operações que sucedem o plantio. Os erros observados no trator quando comparados com a trajetória projetada, na média, para a área 1, estão dentro do aceitável. Quando observada a área 2, onde ocorre a mudança de percurso realizado, os erros se elevam em torno de 52%, porém continuam dentro da média aceitável. Analisando o conjunto de dados com a meta do produtor, verifica-se que em trajetos retilíneos, 99,2% dos dados encontram-se dentro da meta do produtor, enquanto que em trajetos em curva, a frequência de dados na meta é reduzida para 97,2%. Isto implica que para as duas áreas, com os dois tipos de trajetos analisados, os valores encontrados para 2 σ (95,4% dos dados) estão dentro limite aceitável do produtor.

FIGURA 1. Frequência, frequência acumulada e distribuição espacial de erros de paralelismo para cada uma das áreas estudadas. **Frequency, cumulative frequency and especial distribution errors between rows for each of the areas studied.**





Na área 1, verifica-se que a maior frequência de valores elevados de erros (acima de 0,1m) não se encontram em regiões específicas, e se localizam ao longo do percurso do conjunto trator-máquina, enquanto que na área 2, as maiores frequências de valores elevados encontram-se no setor inferior esquerdo do talhão, onde estão os menores comprimentos de fileiras, e no setor direito do talhão que está na região de menor declividade. Baio et al. (2015) mostram que fatores de interação da máquina com o solo como textura do solo, nível de rugosidade do terreno, inclinação do terreno interferem na acurácia obtida.

CONCLUSÃO: Os erros médios encontrados para os trajetos retilíneos e em curva estão dentro da meta do produtor, em 99,2% e 97,2%, respectivamente. Em trajetos retilíneos, os erros se localizam ao longo do percurso do conjunto trator-máquina, enquanto que na área 2, as maiores frequências de valores elevados encontram-se nos setores com menores comprimentos de fileiras e na região do talhão com maior declividade.

AGRADECIMENTOS: A empresa P&P Planejamento Agrícola por ceder os dados para realização do projeto.

REFERÊNCIAS:

- BAIO, F.H.R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. **Precision Agriculture**, v.13, n.1, p.141-147, 2012.
- BAIO, F.H.R.; LEAL, J.C.; CAMPANELLI, V.P.C. Agricultura de Precisão: casos e aplicações em AP na produção de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G.C.; CASSIA, M.T.; SILVA, R.P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1 ed. Jaboticabal: SBEA, 2015. p.445-455.
- BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 367-375. 2011.
- BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47, 2009, Porto Alegre, *Anais...* Porto Alegre: 2009.
- CARBALLIDO, J.; PEREZ-RUIZ, M., EMMI, L., AGUERA, J. Comparison of positional accuracy between RTK and RTX GNSS based on the autonomous agricultural vehicles under field conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, v.30, n.3, p.361-366, 2014.
- FERREIRA, M. da C.; WERNECK, C. F.; FURUHASHI, S.; LEITE, G. J. Tratamento de toletes de cana-de-açúcar para controle da podridão-abacaxi em pulverização conjugada. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 263-273, 2008.
- SALVI, J. V.; MOLIN, J. P.; CASARIN JÚNIOR, R. D.; SANTOS, G. N. dos; SPEKKEN, M. Avaliação dos erros de paralelismo de um conjunto colhedora e trator-transbordo de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2014, 2014, São Pedro, *Anais...* São Pedro: 2014.
- SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. A method to evaluate paralelism for machine logged positions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND ASSOCIATED HIGH-TECHNOLOGIES AND EQUIPAMENT FOR AGRICULTURE AND FORESTRY (RHEA), 2., 2014, Madri. *Anais...* Madri: 2014. p. 227-237.