AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Sistemas de correção diferencial RTK e geoestacionário no piloto automático e qualidade da semeadura pneumática e mecânica

Differential correction systems in autopilot RTK differential and geostationary and quality of the sowing pneumatic and mechanical

Diego Tavares Pagnan
Universidade Federal da Grande Dourados
E-mail: diego.pagnan@hotmail.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0002-3546-7466

Jorge Wilson Cortez
Universidade Federal da Grande Dourados
E-mail: jorgecortez@ufgd.edu.br
OrcID: https://orcid.org/0000-0003-1120-719X

Sálvio Napoleão Soares Arcoverde
Universidade Federal da Grande Dourados
E-mail: salvionapoleao@gmail.com
OrcID: http://orcid.org/0000-0002-0453-4566

Lucas de Oliveira Donaire
Universidade Federal da Grande Dourados
E-mail: lucas.donaire@outlook.com
OrcID: https://orcid.org/0000-0003-4777-0785

Resumo: Sistemas de correção diferencial são imprescindíveis à acurácia no paralelismo de sistemas de orientação de veículos como também para a qualidade da operação de semeadura. Assim, objetivou-se avaliar a acurácia nas passadas orientadas com direção assistida por computador (DAC) sob sistemas de correção diferencial RTK (*Real Time Kinematic*) e via satélite geoestacionário envolvidos na semeadura pneumática e mecânica do milho; bem como analisar a qualidade da operação de semeadura usando como indicador o estande de plantas. Foram analisados dois tratamentos: direção assistida por computador com RTK e via satélite geoestacionário, usados nas operações de semeadura. As avaliações foram realizadas em condições de campo. O uso do piloto automático com correção diferencial RTK nas operações de semeadura do milho ofereceu maior acurácia entre passadas do que aquela obtida com a correção via satélite. Quanto à qualidade da operação de semeadura, a pneumática demonstrou melhor regularidade na distribuição de sementes de milho.

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. DGPS. GNSS.

Abstract: Such as differential correction systems, which are essential for the accuracy of the parallelism of vehicle guidance systems as for the quality of the seeding operation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the accuracy of the autopilot - guided passes under RTK differential and geostationary satellite systems involved in pneumatic and mechanical sowing of corn; as well as to analyze the quality of the sowing operation using the plant stand as indicator. Two treatments were analyzed: autopilot RTK (Real Time Kinematic) and geostationary satellites, used in sowing operations. The evaluations were carried out under field. The use of autopilot with RTK differential correction in corn sowing operations offers greater accuracy between passes than that obtained with satellite correction. As to the quality of the sowing operation, the pneumatics show a better regularity in the distribution of corn seeds.

Keywords: Precision Agriculture. DGPS. GNSS.

Data de recebimento: 19/07/2021
Data de aprovação: 28/11/2021
DOI: https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i53.14973

1 Introdução

Tem-se observado aumento da produção do milho ao longo dos anos relacionado ao aumento da produtividade, mesmo considerando o crescimento na área cultivada (Artuzo *et al.*, 2018). No entanto, tendo em vista o potencial de produção brasileira, tornam-se necessários investimentos no processo produtivo, principalmente no aumento da eficiência relacionada à adoção de máquinas e equipamentos agrícolas de precisão (Artuzo *et al.*, 2018).

Com isso, vem crescendo a utilização de sistemas de controle eletrônico em máquinas agrícolas nas duas últimas décadas, devido à ampla difusão dos sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) e ao avanço da informática e da eletrônica (Baldo & Magalhães, 2012). Entre as vantagens da direção assistida por computador (DAC) e pilotos automáticos, está a diminuição de erros entre passadas, promovida pela substituição do operador no direcionamento da máquina ao longo das operações mecanizadas (Santos et al., 2016), com benefício sobre a qualidade da operação e o retorno econômico (Ortiz *et al.*, 2013; Lipinski *et al.*, 2016).

A DAC é usada com o apoio de receptores de sinais GNSS, assim corrigindo o posicionamento do veículo automaticamente por atuadores no volante ou propriamente em seu rodado (Garcia *et al.*, 2016), sendo uma técnica voltada, por meio da correção diferencial (DGPS), ao controle da máquina. Desse modo, a utilização desta tecnologia faz com que ocorram as diminuições de sobreposições e falhas na operação de aplicação, aumentando o rendimento operacional, propiciando maior acurácia na utilização de insumos (Santos *et al.*, 2017).

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

A DAC tem sido muito utilizado na implantação das culturas, em que podem ser utilizados vários tipos de semeadoras. No que se refere às semeadoras de precisão, segundo Ferreira *et al.* (2019), existem diversos modos de distribuição, entre eles o sistema mecânico (disco horizontal), sendo que para a semeadura de grãos graúdos, utilizam em sua maioria dosadores mecânicos de disco horizontal e dosadores pneumáticos a vácuo. A semeadura do milho é uma operação essencial para o estabelecimento da cultura no campo, visto que está associada à uniformidade de distribuição longitudinal de plantas e ao estande final (Weirich Neto *et al.*, 2015; Arcoverde *et al.*, 2016; Arcoverde *et al.*, 2017). Alonço *et al.* (2015) salientam que a semeadura é uma das mais importantes práticas culturais associada à produtividade das culturas, deste modo, torna-se de fundamental importância que esta operação seja realizada com o maior grau de qualidade e precisão possível.

Diante dos múltiplos fatores operacionais associados à qualidade da semeadura do milho, como mecanismos de corte e abertura do solo, mecanismos de deposição da semente no sulco, nível de pressão empregado ao solo pela roda compactadora, velocidade de plantio e distribuição das sementes por metro (Weirich Neto *et al.*, 2015), pesquisas têm sido realizadas para avaliar a qualidade de processo mecanizado de semeadura, por meio do controle estatístico da qualidade (CEQ) e da geoestatística, a partir de indicadores visando a identificação de possíveis causas de variabilidade dos processos e auxiliando na gestão agrícola (Arcoverde *et al.*, 2016; Arcoverde *et al.*, 2017). Atualmente a CEQ vem sendo utilizada como ferramenta na avaliação da qualidade de processos agrícolas mecanizados associados o uso de sistemas de orientação, visando minimizar os erros entre passadas dos conjuntos, melhorando a qualidade da operação (Santos *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018) e a rentabilidade agrícola (Ortiz *et al.*, 2013; Lipinski *et al.*, 2016).

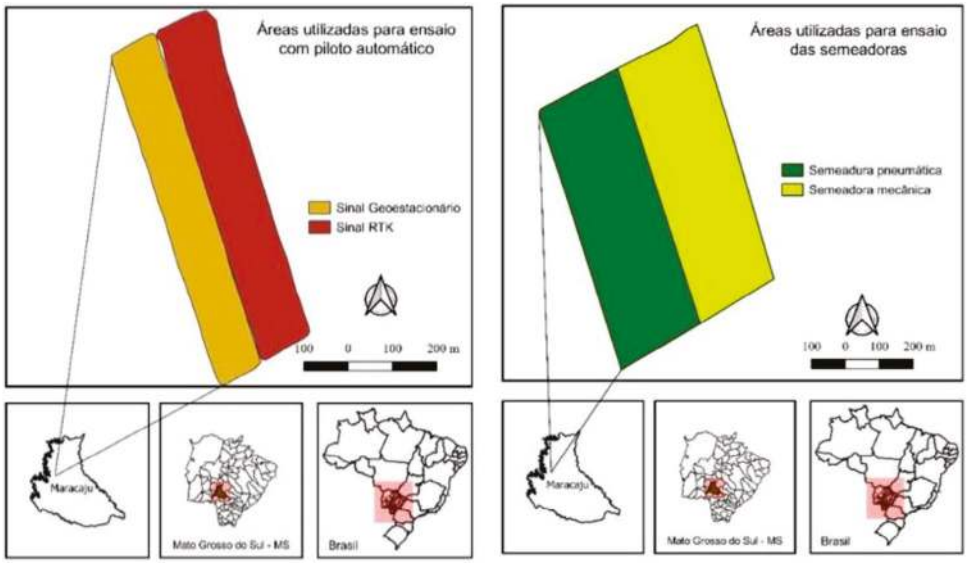
Portanto, o objetivou-se avaliar a acurácia nas passadas orientadas com direção assistida por computador (piloto automático) sob sistemas de correção diferencial RTK e via satélite geoestacionário envolvidos na semeadura pneumática e mecânica do milho; bem como analisar a qualidade da operação de semeadura pneumática e mecânica usando como indicador o estande final de plantas.

2 Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido em Fazenda Comercial (Figura 1), localizada no município de Maracaju – MS, Brasil, com coordenadas aproximadas de 647639,10 m e 7631026,17 m com os mapas apresentados no Datum WGS84 e na projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) Zona 21S. Foram utilizados dois talhões regulares em áreas adjacentes para a coleta de dados da avaliação dos sinais para o piloto automático e do ensaio das semeadoras.

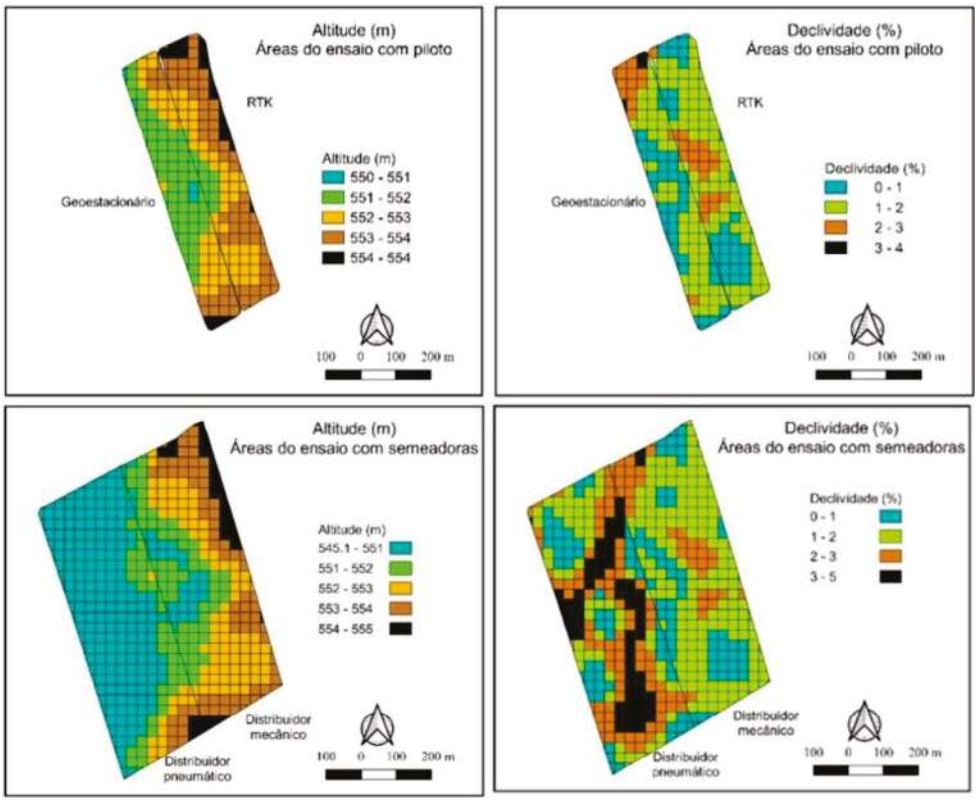
Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Figura 1. Áreas utilizadas para o ensaio com piloto automático e das semeadoras.



As áreas vinham sendo conduzidas em sistema de semeadura direta na palha com sucessão das culturas de soja no verão e milho safrinha em torno de 10 anos. A altitude das áreas utilizadas no ensaio para a DAC, piloto automático, variou de 551 a 555 m (Figura 2) e declividade média de 1,38%. Já as áreas utilizadas para o ensaio das semeadoras variaram de 545 a 555 m (Figura 2) e declividade média de 1,38% na área onde trafegou a semeadora mecânica e de 2,18% onde trafegou a semeadora pneumática.

Figura 2. Altitude e declividade dos talhões utilizados no ensaio do piloto automático.



Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Ensaio 1 – Qualidade do sinal para a direção assistida por computador (DAC)

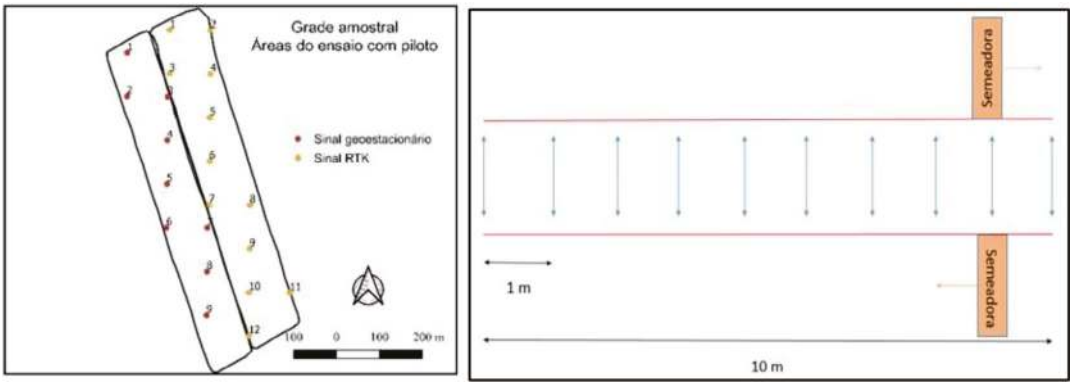
Para a avaliação dos tipos de sistema de correção diferencial para a direção assistida por computador (DAC), piloto automático, foram utilizados o sistema RTK e o sinal geoestacionário. Os ensaios foram conduzidos um após o outro na mesma sequência, em virtude de ter sido o mesmo trator. Assim, tentou-se manter a maior proximidade e minimizar os efeitos da variação climática com a disponibilidade dos satélites.

O sistema RTK foi composto por duas antenas receptoras no qual uma é fixa com suas coordenadas conhecidas e a outra fica no trator em movimentação com suas coordenadas variando conforme deslocamento do trator. Desse modo existe nas antenas um transmissor de link de rádio para receber e transmitir correções entre as antenas. Segundo o fabricante, o erro deste sistema de sinal pode chegar até 0,025 m entre as distâncias entre passadas, podendo estar, portanto, no mínimo de 0,475 m e o máximo de 0,525 cm, considerando como alvo o espaçamento de 0,50 m. O sinal via satélite geoestacionário funcionou com estações fixas que se comunicam com o satélite geoestacionário, que transmitiu informações de correção de posicionamento para a antena do trator. Para este sinal de correção diferencial o erro considerado entre passadas, segundo o fabricante, pode chegar até 0,10 m, sendo o mínimo de 0,40 m e o máximo de 0,60 m entre passadas.

Durante o processo de deslocamento na área realizou-se a operação de semeadura com o conjunto trator-semeadora mecânica, com trator de 200 cv (147 kW), semeadora de 15 linhas, espaçadas em 0,50 m e velocidade de 5 km h^{-1}. Assim, foi utilizado um único trator e semeadora para a avaliação dos sinais recebidos, seja RTK ou geoestacionário. Ambas as antenas receptoras possuíam giroscópio para evitar erros devido à declividade do terreno, visto que nelas já havia sido corrigido o problema de ambiguidade. Os sistemas foram calibrados anteriormente conforme recomendação do fabricante para cada equipamento, assim reduzindo o erro amostral.

A avaliação dos sinais foi realizada coletando-se dados dos dois sistemas medindo-se a distância entre as passadas nas áreas selecionadas: sistema RTK (9,93 ha) e sinal geoestacionário (8,73 ha). Em cada ponto amostral foram coletadas dez amostras espaçadas de 1 m (Figura 3). No sistema RTK foram 12 pontos, enquanto no geoestacionário foram 9 pontos, totalizando 120 dados no RTK e 90 dados no geoestacionário. Para navegação nas áreas, com o objetivo de coletas das informações, foi utilizado aplicativo de smartphone. Este possibilitou fazer o mapeamento e navegação da área com a malha amostral de 0,5 ha para os pontos de coleta.

Figura 3. Grade amostral e amostras em cada ponto de avaliação do piloto automático.



Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Ensaio 2 – Qualidade da semeadura mecânica e pneumática

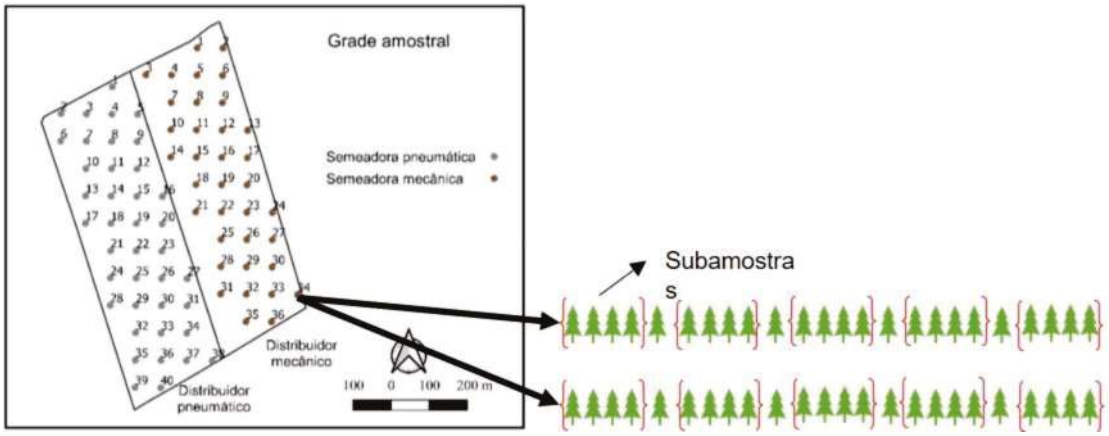
Foi realizada a semeadura com o conjunto trator-semeadora mecânica e posteriormente, no mesmo dia, a semeadura com o conjunto trator-semeadora pneumática. As semeadoras utilizadas foram de mesmo fabricante tendo apenas como diferenças os mecanismos de distribuição, mecânico e pneumático.

Assim, para a avaliação da qualidade de semeadura a semeadora-adubadora mecânica foi a mesma citada no ensaio 1 na avaliação da qualidade dos sinais de correção. A semeadora com dosadores pneumáticos continha 22 linhas, espaçadas em 0,50 m entre linhas, que foi tracionada por um trator de 335 cv (247 kW com o piloto automático) e com velocidade de 5 km h^{-1}.

A semeadora mecânica semeou o híbrido 7049 da BioGene que apresentava poder germinativo de 95%, com uma recomendação de 65000 plantas por hectare. A semeadora pneumática, o híbrido 8780 da Agroceres com poder germinativo de 90%, com recomendação de 65000 plantas por hectare. Para ambas as situações, foi levado em consideração o poder germinativo, sendo distribuídas/semeadas 68000 sementes por hectares para a semeadora mecânica e 72000 sementes por hectares para a semeadora pneumática, sendo a mecânica regulada para 3,4 sementes por metro e a pneumática regulada para semear 3,6 sementes por metro.

De modo semelhante a avaliação dos sinais, para a semeadura foi realizado o contorno da área e gerou-se a malha amostral, sendo considerado 0,5 ha para cada amostra. Assim obteve-se para a semeadora-adubadora mecânica total de 36 pontos amostrais em 20,19 ha e para a semeadora-adubadora pneumático total de 40 pontos amostrais em 20,83 ha (Figura 4). Dentro de cada ponto amostral foram realizadas 10 subamostras, obtendo-se o valor médio das 10 avaliações. Portanto, 15 dias após a semeadura foram realizadas as coletas para a semeadora-adubadora mecânica e pneumática resultando em 360 e 400 avaliações, respectivamente.

Figura 4. Grade amostral e coleta das amostras em cada ponto para avaliação do estande de plantas após a semeadura.



Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Análise dos dados

Inicialmente, os dados foram analisados por meio da estatística descritiva. Posteriormente, para averiguar a estabilidade do processo foram utilizadas as cartas de controle a partir dos limites inferior (LIC) e superior de controle (LSC). As cartas utilizam do desvio padrão como referência para indicar a estabilidade do processo e pontos acima de três vezes o desvio padrão indicam falta de controle e qualidade do processo (Arcoverde *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018). Foram acrescentados às cartas os limites específicos de controle (LEC), respeitando as recomendações dos fabricantes como erros esperados, considerando para a distância entre passadas para o sinal de correção diferencial RTK um limite especifico inferior de 0,475 m e para o limite especifico superior de 0,525 m. Para o sinal geoestacionário o limite especifico inferior considerado é de 0,40 m e o limite especifico superior de 0,60 m. Na avaliação da qualidade de semeadura o limite especifico inferior estabelecido foi de 3,0 e o limite especifico superior de 3,4 e 3,6 plantas por metro, na mecânica e na pneumática, respectivamente, uma vez que houve diferença na regulagem dos híbridos. Para a análise com as cartas de controle foram utilizados todos os pontos coletados, considerando também as subamostras.

Finalmente os dados obtidos da análise do piloto automático (distância entre passadas e erro) foram interpolados pelo inverso da distância e construção de mapas, devido à pequena quantidade de pontos. Para os dados da avaliação da semeadora, estande de plantas, foi submetido a análise geoestatística, definindo-se o modelo do semivariograma, testando-o pela validação cruzada e fazendo a interpolação por Krigagem, sendo utilizado o complemento *Smart-Map* do software livre QGIS. Todos os mapas gerados nesse trabalho foram produzidos utilizando-se o software livre QGIS 3.16.4 (QGIS, 2021).

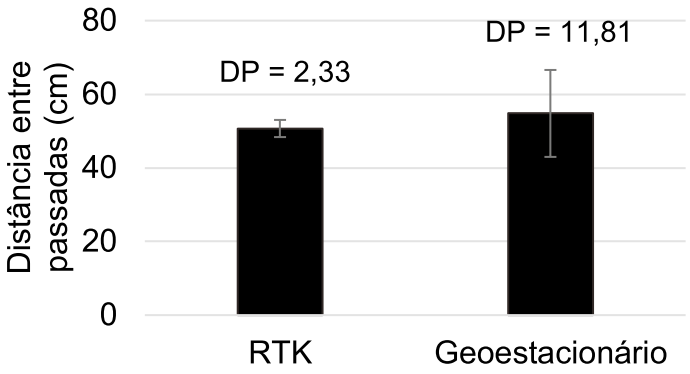
3 Resultados

Ensaio 1 – Qualidade do sinal para piloto automático

Na avaliação da distância entre passadas do piloto automático com o sinal diferencial de correção RTK e o sinal geoestacionário (Figura 5) verificou-se maior erro no sinal geoestacionário. Observa-se que a média para o RTK foi de aproximadamente 0,50 m, sendo que os espaçamentos entre linhas deveriam ser de 0,50 m, e para o geoestacionário a média ficou próximo de 0,58 m, logo o sinal geoestacionário tem erro maior em sua média em relação ao RTK (Figura 5). A média para o sinal geoestacionário ficou dentro do limite estabelecido pelo fabricante (+0,10 m). O desvio padrão de RTK foi menor que do geoestacionário, assim comprovando que o sinal RTK estava sempre mais próximo de 0,50 m.

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Figura 5. Médias e desvio padrão (DP) na avaliação das distâncias entre passadas dos sinais diferenciais.



Ao analisar os valores de máximo e mínimo no RTK, observa-se variação menor do que o geoestacionário, sendo que a amplitude para geoestacionário foi maior que a da RTK (Tabela 1). Assim, observa-se que o sinal RTK apresentou melhor desempenho, pois sua variância, amplitude e coeficiente de variação (CV) foram menores.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de distância entre passadas dos sinais diferenciais utilizados.

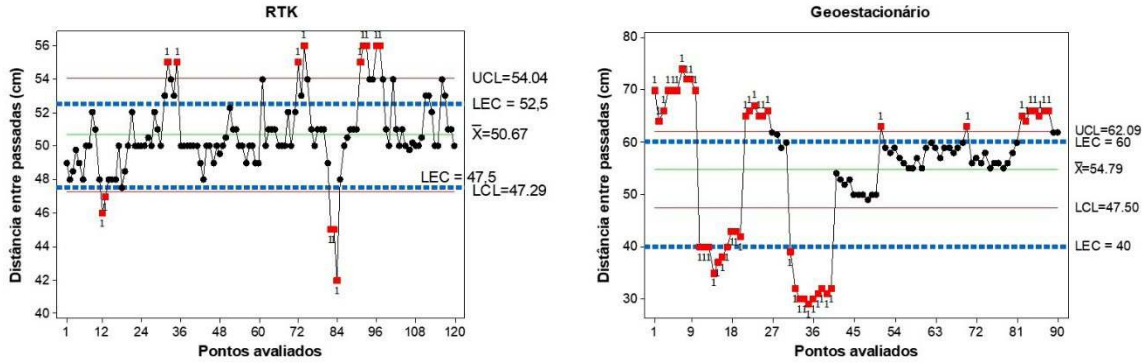
Parâmetros	Sinais	
	RTK	Geoestacionário
Variância (cm)	5,44	139,45
CV (%)	4,61	21,55
Mínimo (cm)	42,00	29,00
Máximo (cm)	56,00	74,00
Amplitude (cm)	14,00	45,00

CV: coeficiente de variação.

A variabilidade observada na Tabela 1 pode ser visualizada em detalhes pelas cartas de controle (Figura 6) com todos os pontos amostrados, sendo considerados aqui os da subamostras também. Verifica-se que o sinal RTK apresentou menos pontos fora do limite específico inferior e superior de controle. Já o sinal geoestacionário apresentou mais pontos fora do limite especifico inferior e superior de controle, mesmo apresentando maior amplitude de seu limite específico de controle. Como foi utilizado o mesmo trator, a operação com cada sinal foi realizada em horários diferentes, mas no mesmo dia, assim a constelação de satélites utilizados mudou, bem como a sua distribuição e pode, portanto, ter alterado a qualidade do sinal. Este fato pode ter prejudicado o sistema de correção por satélite geoestacionário, como se verifica na primeira metade das amostras da Figura 4, em que poucas estiveram dentro do intervalo, já na segunda parte a condição se altera.

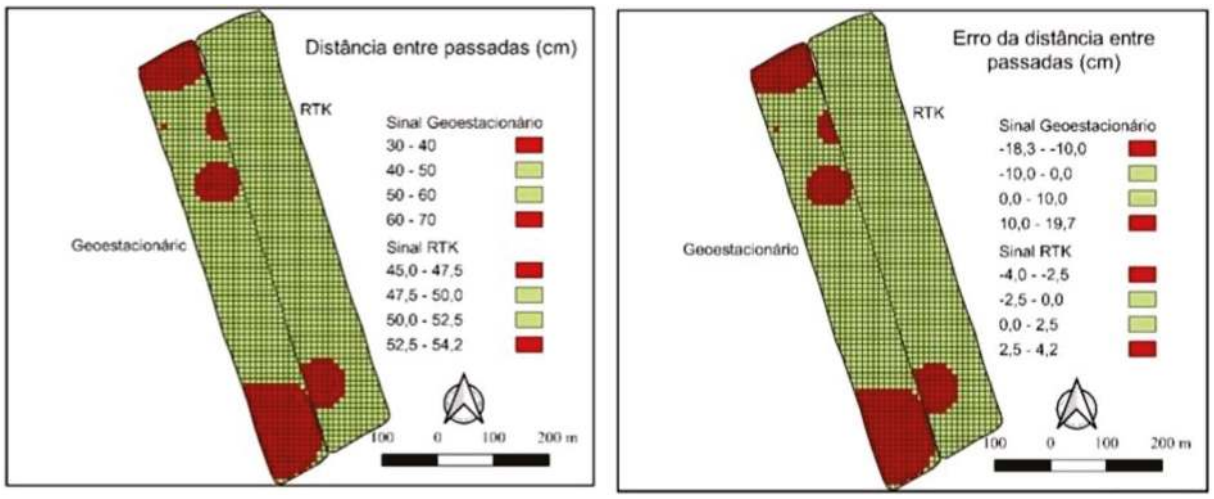
Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Figura 6. Cartas de controle na avaliação das distâncias entre passadas (cm) dos sinais diferenciais utilizados no piloto automático. UCL: limite superior de controle; X: média; LCL: limite inferior de controle; LEC: limite especifico de controle.



Analisando a distribuição espacial dos dados médios da distância entre passadas para os sinais RTK e geoestacionário (Figura 7), pode-se observar que no sinal RTK apenas 0,54 ha (5,44%) teve espaçamento acima de 52,5 cm e não se observou valores abaixo de 47,5 cm. Assim, a maior parte da área (94,56%) ficou entre os valores estabelecidos pelo fabricante. O erro das passadas teve o mesmo comportamento das distâncias. No sinal geoestacionário (Figura 7), observou-se valores de espaçamentos médios inferiores a 40,00 cm em 0,49 ha, enquanto os maiores espaçamentos, superior a 60,00 cm foram encontrados em 2,53 ha, o que corresponde a 28,98% da área total do talhão. Desse modo, observa-se a área com erro total de 34,49%, considerando os limites estabelecidos pelo fabricante. Como os mapas de erros foram feitos com os mesmos intervalos de classes teve-se o mesmo comportamento da distância entre passadas.

Figura 7. Espacialização da média entre distância de passadas para os sinais RTK e geoestacionário por IDW.

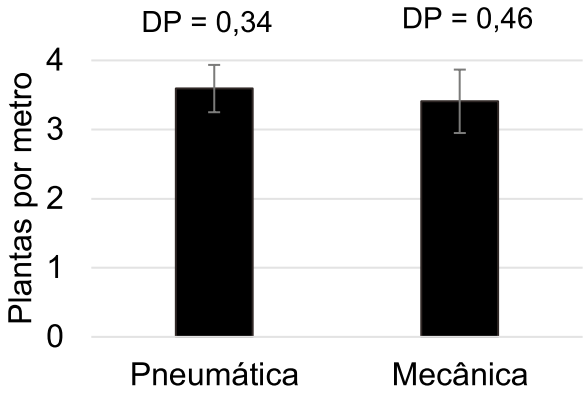


Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Ensaio 2 – Qualidade da semeadura mecânica e pneumática

Quanto ao indicador estande de plantas por metro, as semeadoras obtiveram a média esperada para as devidas regulagens 3,4 e 3,6 plantas por metro na mecânica e pneumática, respectivamente, mesmo a semeadora mecânica apresentando um desvio padrão maior em relação à pneumática (Figura 8).

Figura 8. Médias e desvio padrão (DP) para o estande de plantas na semeadora-adubadora pneumática e mecânica.



Verifica-se que a variância e o coeficiente de variação (CV) foram menores para a semeadora-adubadora pneumática (Tabela 3). Assim, observa-se que a semeadora pneumática apresentou menor variância e amplitude.

Tabela 3. Estatística descritiva para o estande de planta por metro na semeadora-adubadora mecânica e pneumática.

Parâmetros	Semeadoras-adubadoras	
	Pneumática	Mecânica
Variância	0,12	0,21
CV	9,53	13,46
Mínimo	2,60	2,30
Máximo	4,50	4,10
Amplitude	1,90	1,80

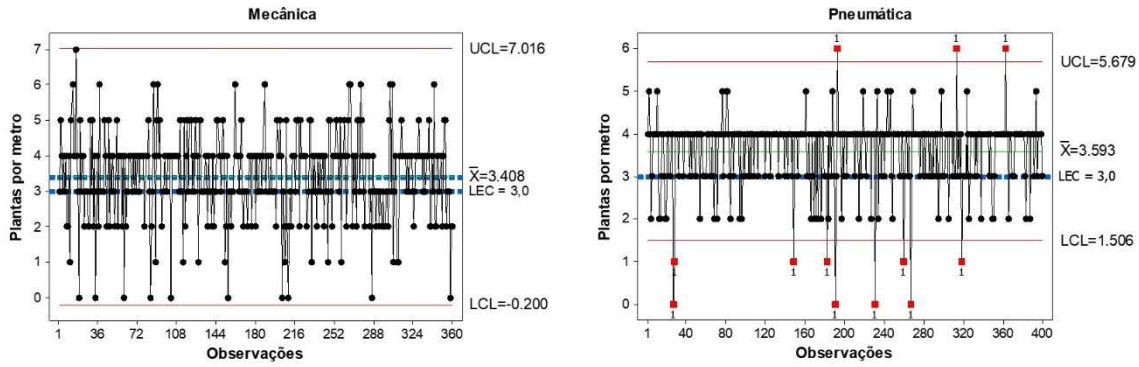
CV: coeficiente de variação.

Nas cartas de controle (Figura 9), com todos os valores das subamostras, a semeadora mecânica apresentou locais com 7,0 sementes em um metro, 13 locais com 6,0 sementes e 10 locais onde não havia nenhuma semente, mas nenhum ponto fora dos limites (três vezes o desvio padrão). Já a semeadora pneumática apresentou três locais com 6,0 sementes em um metro, quatro locais com 1,0 semente por metro e ainda 12 pontos fora dos limites (três vezes o desvio padrão). Na análise do CEQ a pneumática não atendeu aos limites de controle (UCL e LCL), apesar disso notou-se

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

maior regularidade na distribuição de sementes pela semeadora pneumática o que refletiu na menor variabilidade da nuvem de pontos de estande de plantas que estiveram próximos à média e ao limite específico de controle (LEC) (Figura 7).

Figura 9. Cartas de controle na avaliação estande de plantas na semeadora mecânica e pneumática. UCL: limite superior de controle; X: média; LCL: limite inferior de controle; LEC: Limite especifico de controle.



Os dados do estande de plantas ajustados ao semivariograma (Tabela 4) indicaram para a semeadora mecânica o modelo Linear com patamar, enquanto foi possível ajustar o modelo esférico para a semeadora pneumática. Tanto o efeito pepita (Co), patamar (Co+C) e alcance (A) ficaram próximos para ambas as semeadoras. Com efeito prático, o alcance pode ser um indicativo da malha amostral a ser utilizada em próxima amostragem. Assim, fica subentendido uma grade de 66,39 e 70,64 m para a semeadora mecânica e pneumática, respectivamente.

Tabela 4. Dados ajustados do semivariograma para a média da distância entre passadas dos sinais diferenciais utilizados.

	Semeadoras	
	Mecânica	**Pneumática**
Model	**Linear com patamar**	**Esférico**
Co	0,14	0,08
Co+C	0,20	0,11
A (m)	132,78	141,28
R^2	0,74	0,58
Validação cruzada		
CA	0,64	1,03

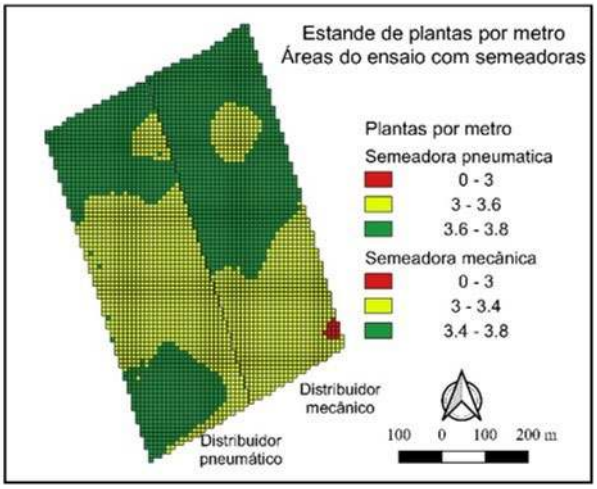
Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance. CA: coeficiente angular

Outro fator que avalia o ajuste do modelo é a validação cruzada pelo coeficiente angular dentre a reta observada e a predita. Quando mais próximo de 1,0 melhor o ajuste e acima de 0,8 pode-se considerar um bom ajuste. Assim, confirma-se mais uma vez o melhor ajuste para os dados obtidos da semeadora pneumática (Tabela 4).

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Os dados do estande de plantas espacializados para as semeadoras mecânica e pneumática indicam maior homogeneidade na área da segunda (Figura 10). Analisando a distribuição dos dados da pneumática verifica-se que 9,09 ha (43,64%) obtiveram estande igual ou maior que de 3,6 sementes por metro e de 12,74 ha (56,36%) para 3,0 a 3,6 sementes por metro, não apresentando nenhum ponto com menos de 3,0 sementes por metro. Na semeadora com distribuidor mecânico observou-se área com estande menor ou igual a 3,0 sementes por metro que representou 0,14 ha (0,69%), as demais distribuições apresentaram uma área de 8,74 ha (43,29%) de 3,0 a 3,4 sementes por metro e 11,31 ha (56,02%) para estande maior ou igual a 3,4 sementes por metro. Considerando a faixa de 3,0 a 3,4/3,6 sementes por metro como ideal, a semeadora, pneumática apresentou a maior área, 56%, contra 43% da mecânica.

Figura 10. Espacialização da média de estande de plantas por metro para a semeadora mecânica e pneumática por Krigagem.



4 Discussão

Ensaio 1 – Qualidade do sinal para piloto automático

Observa-se que o sinal geoestacionário obteve resultado inferior em relação ao RTK (Figura 5) devido a este conter uma base fixa com suas coordenadas conhecidas que se comunica com a antena do trator por meio de rádio, enquanto o sinal geoestacionário funciona como estações fixas localizadas ao longo da atmosfera terrestre que se comunica transmitindo informações para a antena do trator. Santos *et al.* (2018) observaram para percursos retos o baixo erro de paralelismo na execução de semeadura de amendoim quando o sistema integrado de piloto automático recebeu o sinal RTK, com o qual obteve-se também baixa probabilidade de ocorrência de erros acima de 3,8 cm. Segundo Tanajura *et al*. (2011) o grau de acurácia atingido pelo método RTK permite sua utilização em várias aplicações do uso do GNSS que demande coordenadas precisas em tempo real, o que demonstra melhor acurácia para o RTK.

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

De acordo com Santos *et al*. (2017), quando todos os pontos estão entre os limites específicos inferior e superior de controle, indica alta precisão no posicionamento durante a operação de semeadura. Logo, entende-se que o uso do sinal RTK ou satélite geoestacionário (Tabela 1 e Figura 5) para a direção do conjunto mecanizado não proporcionou uma operação de semeadura com precisão ou exatidão, havendo pontos que extrapolam os limites de controle. O que também foi verificado por Santos *et al.* (2018) quando usaram o sinal geoestacionário na semeadura do amendoim, tanto para o trajeto retilíneo, quanto para o trajeto com curvas.

Avaliando o RTK em relação ao geoestacionário, como demostrado na Figura 7, o sinal RTK mostrou-se com maior precisão. Com o emprego do sistema de correção RTK com atuador hidráulico, o trabalho elaborado por Baio (2012) evidencia variação de erros médios entre 2 a 5 cm, para a colheita de cana. Santos *et al.* (2018) estudando um conjunto trator-semeadora guiado com sinal RTX, reportaram erros maiores que 3,8 cm no trajeto reto, mas com baixa frequência, causando baixa probabilidade de ocorrência (> 2%). Em nosso trabalho o erro médio do RTK foi de 0,68 cm contra 4,95 cm do geoestacionário.

Ensaio 2 – Qualidade da semeadura mecânica e pneumática

Na semeadura pode-se afirmar que a semeadora-adubadora pneumática obteve alta precisão e a mecânica média precisão (Figura 8 Tabela 3). Ao analisar a qualidade da distribuição, coeficientes de variação (CV) menores que 10%, representam alta precisão (Pimentel-Gomes, 1985), observado para a semeadora pneumática. Quando o CV varia entre 10 e 20% a precisão pode ser considerada média (Pimentel-Gomes, 1985), ocorrido para a semeadora mecânica. Quanto maior o CV, menor a precisão, o que demonstra a melhor regularidade de distribuição de sementes da semeadora pneumática em relação à mecânica. Os resultados estão de acordo com Arcoverde *et al.* (2016) e Arcoverde *et al.* (2017) ao avaliarem uma semeadura pneumática na cultura do milho, verificando valores de CV de 9,90 e 9,14%, respectivamente, e amplitudes para estande inferiores a 2, operando em velocidade superior (9 km h^{-1}), sendo a velocidade do presente estudo de 5 km h^{-1}. Segundo Ferreira *et al*. (2019), a semeadura do milho pode ser realizada por semeadora pneumática em maiores velocidades (7,5 km h^{-1}), sem reduzir a distribuição de sementes em espaçamentos aceitáveis, contrariamente ao que ocorre na semeadura mecânica, que deve ser operada a menor velocidade (5,5 km h^{-1}).

Segundo Ferreira *et al.* (2019) independentemente do tipo de mecanismos dosador de sementes das semeadoras, quando estas executam a operação em velocidades adequadas (5 km h^{-1}) não se observa diferenças quanto ao estande de plantas, sobretudo quando se verifica distribuição regular de sementes em espaçamentos aceitáveis. Contrariando o autor, em nosso trabalho, verificou-se variação na distribuição entre mecânica e pneumática que pode ser verificado nas Figuras 10 e Tabela 4, com melhor resultado para a pneumática que teve a maior parte da área dentro da faixa ideal. Ainda pode-se levar em conta, conforme a Figura 2, que a semeadora pneumática trafegou na área com maior declividade, mesmo assim tendo maior regularidade. Outra maneira de verificar o melhor desempenho da semeadora pneumática é na Tabela 4, em que o melhor ajuste do modelo do semivariograma ocorreu na semeadora pneumática.

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

5 Conclusão

O uso do piloto automático com correção diferencial RTK nas operações de semeadura do milho oferece erro médio de 0,69 cm contra 4,95 cm do geoestacionário. Maior estabilidade do processo é obtida com a correção RTK.

A semeadora pneumática demonstra menor variação na distribuição de sementes de milho, e propicia maior quantidade de área dentro da faixa ideal de estande.

6 Declaração de conflito de interesse

Declaramos que não há conflito de interesse.

7 Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de Pós-Doutorado para o terceiro autor.

8 Referências

Alonço, A.S., Silveira, H.A.T., Cardinal, K.M., & Rist, G.P. (2015). Distribuição de sementes de algodão e girassol em diferentes velocidades e inclinações em dosadores pneumáticos. *Scientia Agraria,* 16(20), 63-70. http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i2.41050

Arcoverde, S. N. S., de Souza, C. M. A., Cortez, J. W., Guazina, R. A., & Maciak, P. A. G. (2016). Qualidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra. *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*, *24*(5), 383-392. https://doi.org/10.13083/reveng.v24i5.709

Arcoverde, S.N.S., Souza, C.M.A., Cortez, J.W., Maciak, P.A.G., & Nagahama, H.J. (2017). Qualidade e variabilidade espacial na semeadura do milho de segunda safra. *Energia na Agricultura*, 32(4), 386-392. https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n4p386-392

Artuzo, F.T., Foguesatto, C.R., Souza, A.R.L., & Silva, L.X. (2018). Gestão de custos na produção de milho e soja. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, *20*(2), 273-294. https://doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192

BAIO, F.H.R. (2012). Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. *Precision Agriculture,* 13(10), 141-147. https://doi.org/10.1007/s11119-011-9241-6

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

Baldo, R.F.G., & Magalhães, P.S.G. (2012). Sistema de controle de velocidade sincronizada entre dois veículos agrícolas. Ciência Rural, 42(2), 298-304. https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000001

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2017). *Séries históricas de área plantada, produtividade e produção*. http://www.CONAB. gov.br/conteudos.php?-t=2&a=1252&filtrar=1& f=1&p=115&e=0&d=0&m=0&s=0&ac=0&tps =0&lvs=0&l=0&e-d=0&i=

Ferreira, F.M., Oss, L.L., Carneiro, M.A., & Litter, F.A. (2019). Distribuição longitudinal na semeadura do milho com semeadoras de precisão mecânica e pneumática. *Nativa,* 7(3), 296-300. http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.7553

Garcia, L.C., Meer, R.W.V.D., Souza, N.M., Justino, A., & Neto, P.H.W. (2016). Manobras de semeadura com sistema de navegação. *Engenharia Agrícola*, 36(2), 361-366, https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p361-366/2016

Lipinski, A.J., Markowski, P., Lipinski, S., & Pyra, P. (2016). Precision of tractor operations with soil cultivation implements using manual and automatic steering modes. *Biosystems Engineering,* 145(5), 22-28.

Ortiz, B.V., Balkcom, K.B., Duzy, L., Van Santen, E., & Hartzog, D. L. (2013). Evaluation of agronomic and economic benefits of using RTK-GPS-based auto-steer guidance systems for peanut digging operations. *Precision Agriculture*, 14(4), 357-375. https://doi.org/10.1007/s11119-012-9297-y

Pimentel-Gomes, F. (1985). *Curso de Estatística Experimental*. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel. 467p.

QGIS.org. (2021). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. http://www.qgis.org

Santos, A.D.F., Correa, L.N., Gírio, L.A.S., Paixão, C.S.S., & Silva, R.P. (2018). Position errors in sowing in curved and rectilinear routes using autopilot. *Engenharia Agrícola*, 38(4), 568-576. https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n4p568-576/2018.

Santos, A.F., Kazama, E.H., Ormond, A.T.S., Tavares, T.O., & Silva, R.P. (2016). Quality of mechanized peanut digging in function of the auto guidance. *African Journal of Agricultural Research,* 11(48), 4894-4901. https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11442

Santos, A.F., Silva, R.P., Tavares, T.O., Ormond, A.T.S., Rosalen, D.L., & Assis, L.C. (2017). Parallelism error in peanut sowing operation with auto-steer guidance. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(10), 731-736. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p731-736

Tanajura, E.L.X., Krueger, P., & Gonçalves, R.M. (2011). Análise da acurácia dos métodos cinemáticos de posicionamento GPS em aplicações costeiras. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17(1):23-26. http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702011000100002

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil

AGRARIAN
OPEN ACCESS
e-ISSN: 1984-2538

Weirich Neto, P.H., Fornari, A.J., Justino, A., & Garcia, L.C. (2015). Qualidade na semeadura do milho. *Engenharia Agrícola*, 35(1), 171-179. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p171-179/2015.

Esta obra está licenciada com uma licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 3.0 Brasil