

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DE  
PRODUÇÃO DO MILHO E A CORRELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE**

FERNANDO MATEUS PANIAGUA MENDIETA

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2022

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DE  
PRODUÇÃO DO MILHO E A CORRELAÇÃO COM A  
PRODUTIVIDADE**

FERNANDO MATEUS PANIAGUA MENDIETA  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. CRISTIANO MÁRCIO ALVES DE SOUZA

Coorientador: PROF. DR. JORGE WILSON CORTEZ

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal da Grande Dourados, como parte das  
exigências do Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

M538v	<p>Mendieta, Fernando Mateus Paniagua. Variabilidade espacial dos componentes da produção do milho e a correlação com a produtividade. / Fernando Mateus Paniagua Mendieta. – Dourados, MS : UFGD, 2022.</p> <p>Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza. Coorientador: Jorge Wilson Cortez. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Agricultura de precisão. 2. Segunda safra de milho. 3. Geoestatística. I. Título.</p>
-------	--

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

**©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.**

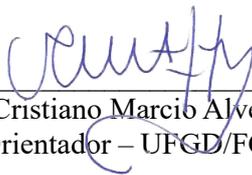
**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO  
MILHO E A CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE**

por

Fernando Mateus Paniagua Mendieta

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 04 de março de 2022.



---

Prof. Dr. Cristiano Marcio Alves de Souza  
Orientador – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Munir Mauad  
UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Domingos Sárvio Magalhães Valente  
UFV

A DEUS

Aos meus pais, Ângelo Mendieta e Beatriz Mendieta

Aos meus irmãos, Yria, Fábio e Flávio

A minha noiva, Jéssica Catachi

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Grande Dourados, por proporcionar a oportunidade da realização deste curso.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior), pela bolsa concedida.

Ao Sr. Gilmar Toniolli, proprietário da Fazenda Santa Ana, pelo apoio à pesquisa e por ceder a área e dados para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza e ao Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez, pela orientação, ensinamentos, paciência e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço o apoio da minha família, meu pai Ângelo Mendieta e minha mãe Beatriz Mendieta, meus irmãos Yria Mendieta, Fábio Mendieta e Flávio Mendieta, a minha noiva Jéssica Catachi, por me apoiarem e serem meu suporte durante esta jornada.

A todos que de alguma forma me auxiliaram durante este período, meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS .....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Aspectos da cultura do milho .....	2
2.2 Agricultura de precisão .....	2
2.3 Geotecnologias .....	4
2.5 Mapa de produtividade.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	8
3.1 Local.....	8
3.2 Malha amostral.....	9
3.3 Mapa de Altitude.....	10
3.4 Cultura e equipamentos.....	10
3.5 Avaliações .....	10
3.5.1 Estande de plantas .....	10
3.5.2 Distribuição longitudinal .....	11
3.5.3 Diâmetro do colmo .....	11
3.5.4 Altura de planta e altura de inserção da primeira espiga (AIPE) .....	11
3.5.5 Comprimento de espiga.....	11
3.5.6 Número de grãos por espiga .....	11
3.5.7 Massa total, massa de grãos e massa do sabugo.....	12
3.5.8 Massa de mil grãos .....	12
3.5.9 Umidade de grãos e produtividade estimada.....	12
3.6 Índices de vegetação .....	13
3.7 Análises dos dados .....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Análise descritivas dos dados.....	16
4.2 Análise da variabilidade espacial .....	19
4.2.1 Mapas de qualidade de semeadura .....	20
4.2.2 Mapas dos componentes de produção .....	22
4.2.3 Mapas de NDVI e NDRE .....	28

4.2.4 Mapa de produtividade .....	30
4.3 Análise de correlações.....	32
5 CONCLUSÕES .....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

## LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

FIGURA 1. Temperatura média mensal e precipitação total mensal durante o período de avaliação, fevereiro a outubro de 2021.....	8
FIGURA 2. Talhão utilizado para o estudo, Fazenda Santa Ana, Dourados MS. ....	9
FIGURA 3. Malha amostral gerada. ....	9
FIGURA 4. Mapa temático de altitude do talhão Sede. ....	10
FIGURA 5. Mapa temático do estande de plantas por metro. ....	21
FIGURA 6. Mapa temático da distribuição espacial para espaçamento normal. ....	21
FIGURA 7. Mapa temático da distribuição longitudinal para espaçamentos duplos. ....	22
FIGURA 8. Mapa temático da distribuição longitudinal para espaçamentos falhos. ....	22
FIGURA 9. Mapa da altura de planta no estágio fenológico V3.....	24
FIGURA 10. Mapa da altura de planta no estágio fenológico R6. ....	24
FIGURA 11. Mapa do comprimento de espiga. ....	25
FIGURA 12. Mapa do diâmetro do colmo. ....	25
FIGURA 13. Mapa da altura de inserção da primeira espiga. ....	26
FIGURA 14. Mapa do número de grãos por fileira. ....	27
FIGURA 15. Mapa do número de fileiras por espiga. ....	27
FIGURA 16. Mapa da massa de mil grãos. ....	28
FIGURA 17. Mapa da massa por espiga. ....	28
FIGURA 18. Mapa de NDVI, 24/03/2021 do talhão Sede. ....	29
FIGURA 19. Mapa de NDVI, 03/05/2021 do talhão Sede.....	29
FIGURA 20. Mapa de NDRE, 24/03/2021 do talhão Sede. ....	30
FIGURA 21. Mapa de NDRE, 03/05/2021 do talhão Sede. ....	30
FIGURA 22. Mapa da porcentagem de umidade dos grãos do talhão sede. ....	31
FIGURA 23. Mapa de produtividade de grãos de milho do talhão Sede. ....	31

**LISTA DE QUADROS**

PÁGINA

QUADRO 1. Bandas espectrais para sensores Sentinel-2 (S2A e S2B) .....	13
QUADRO 2. Estatística descritiva dos dados de estande e distribuição longitudinal....	16
QUADRO 3. Estatística descritiva dos dados de altura V3, altura R6, comprimento de espiga (CE), diâmetro do colmo (DC), altura de inserção da primeira espiga (AIPE) e umidade (U) .....	17
QUADRO 4. Estatística descritiva dos dados de número de grãos por fileira (NGPF), Número de fileiras por espiga (NFPE), número de grãos por espiga (NGPE), massa de mil grãos (MMG), massa por espiga (MPE) e Produtividade (Prod) .....	19
QUADRO 5. Parâmetros dos semivariogramas ajustados do modelo matemático para a distribuição longitudinal .....	20
QUADRO 6. Parâmetros dos semivariogramas ajustados do modelo matemático para a Altura de planta no estágio fenológico V3 (Altura V3), número de fileiras de grãos por espiga (NFPE), Produtividade (Prod) .....	20
QUADRO 7. Parâmetros ajustados aos semivariograma da altura das plantas no estágio fenológico R6 (Altura R6), comprimento de espiga (CE), diâmetro do colmo (DC), Altura de inserção da primeira espiga (AIPE), umidade e Número de grãos por fileira (NGPF) .....	23
QUADRO 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre os componentes de produção e a produtividade de grãos .....	32

MENDIETA, Fernando Mateus Paniagua. **Variabilidade espacial dos componentes de produção do milho e a correlação com a produtividade**. 2022. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS. Orientador: Cristiano Márcio Alves de Souza. Coorientador: Jorge Wilson Cortez.

## RESUMO

A segunda safra de milho possui uma importância no agronegócio de Mato Grosso do Sul, e melhorar sua produtividade, de forma homogênea, auxilia os produtores a aumentarem a margem de lucro. Objetivou-se avaliar a variabilidade dos componentes de produção do milho e a correlação com a produtividade. O trabalho foi realizado em fazenda comercial em um talhão de 39,08 ha seguindo os conceitos da agricultura de precisão. Os pontos foram georreferenciados a cada 0,5 ha, totalizando uma malha de 80 pontos. Foram mensurados: estande de plantas, distribuição longitudinal, índices de vegetação, altura de planta, altura de inserção da primeira espiga, comprimento de espiga, número de grãos por espiga, massa de grãos, massa de mil grãos, umidade e produtividade de grãos. Os valores foram submetidos às análises estatística descritiva, espacial e correlação com a produtividade do milho. Os índices de vegetação não demonstraram variações de seus valores na área, nas datas avaliadas, indicando que a cultura recebeu luz incidente de forma uniforme na área. A altura de planta no estágio fenológico R6, o comprimento de espiga, o diâmetro do colmo, a altura de inserção da primeira espiga e o número de grãos por fileira tiveram dependência espacial na área. O número de grãos por fileira, o número de grãos por espiga e a massa da espiga demonstram correlação direta forte com produtividade dos grãos.

**Palavras-chave:** agricultura de precisão; segunda safra de milho; geoestatística.

MENDIETA, Fernando Mateus Paniagua. **Spatial variability of corn yield components and its correlation with productivity**. 2022. 39 f. Master Dissertation (Master in Agronomy), Federal University of Grande Dourados, Dourados, Brazil. Adviser: Cristiano Márcio Alves de Souza. Committee Member: Jorge Wilson Cortez.

### ABSTRACT

The off-season maize crop is vital in the agribusiness of Mato Grosso do Sul state, Brazil. The improvement of corn yield, in a homogeneous manner, helps producers increase the profit margin. The objective of this study was to evaluate the variability of corn yield components and the correlation with crop productivity. The work was done on a commercial farm in a plot of 39.08 ha, following precision agriculture concepts. The points were geolocated every 0.5 ha, for 80 points. The plant stand, longitudinal distribution, vegetation indexes, plant height, insertion height of the first ear, ear length, number of grains per ear, grain mass, the mass of thousand-grains, grain moisture and yield were measured. The data were submitted to descriptive statistical and spatial analyses and correlated with corn yield. The vegetation indexes did not show changes in their values in the area on the dates assessed, indicating that the crop received incident light uniformly in the area. The height of the plant at the phenological stage R6, the length of the ear, the diameter of the stem, the insertion height of the first ear, and the number of grains per row depended spatially on the zone. The number of grains per row, the number of grains per ear, and the weight of the ear have a strong correlation with grain yield.

**Keywords:** precision agriculture; off-season corn crop; geostatistical.

## 1 INTRODUÇÃO

A segunda safra de milho possui uma enorme importância para o agronegócio brasileiro. Antigamente era somente uma segunda safra para o solo não ficar em pousio, atualmente é uma safra de grande importância, que traz altos valores. A produção do milho segunda safra de 2021 foi de 60,7 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

A qualidade de semeadura é um fator de extrema importância para se atingir altas produtividades. Este fator está associado à uniformidade distribuição longitudinal da semeadura e, conseqüentemente, a população de plantas no final da safra (ARCOVERDE et al., 2017).

Existem outros fatores que podem interferir no estande e na distribuição de plantas, como a profundidade de plantio e a velocidade de semeadura, que são os fatores que mais comprometem na população final (SOUZA et al., 2019; SOUZA et al., 2022).

Para detectar e monitorar diferentes estresses bióticos e abióticos em culturas agrícolas são utilizados diferentes metodologia, entretanto, quando pensados em grandes áreas, na maior parte das vezes se tornam custosos e de difícil operacionalidade. Por este motivo, o uso de softwares e imagens de satélites podem ser adotados e facilitar o monitoramento da cultura em campo (TRENTIN, 2010).

A utilização de mapas de produtividade para o auxílio do manejo agrícola tem aumentado no Brasil e, conseqüentemente em Mato Grosso do Sul, com a utilização de máquinas com suportes integrados e pacotes de tecnologias. No entanto, nessa adoção tecnológicas há aparecido erros de mapeamentos, que demonstraram como principais causas de erros para a geração de mapas de produtividade, a dinâmica de colheita da colhedora, a medição contínua da produtividade e umidade dos grãos, a precisão nas informações de georreferenciamento e erros que podem ser gerados pelo operador (LYLE et al., 2014).

O índice de vegetação (NDVI) pode ser utilizado, pois têm uma alta relação com a produtividade e, portanto, têm sido utilizados para gerar mapas e prever a produtividade nas culturas (BOLTON e FRIEDL, 2013).

Estas medidas podem facilitar o produtor e os profissionais do agronegócio em um melhor manejo e utilização da mesma área, aumentando a produtividade e conseqüentemente a lucratividade. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade dos componentes de produção do milho e a correlação com a produtividade.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Aspectos da cultura do milho**

Uma das principais atividades econômicas do Brasil, é o agronegócio, representando cerca de 25% do Produto Interno Bruto (PIB). As commodities agrícolas são uma porcentagem significativa da economia brasileira. Destas commodities agrícolas duas são as principais, a Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e o milho (*Zea mays*), que representam 88,8% da produção de grãos do país (PRESTES JUNIOR, 2020; LEITNER e ALVES FILHO, 2019). A cultura do milho tem sua importância no cenário nacional devido a utilização em nutrição animal, tanto em forma de grão, quanto para a formulação de rações. A estimativa de produção de milho na safra de 2021/22 é de, aproximadamente, 115,6 milhões de toneladas, em uma área total de, aproximadamente, 21 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Na segunda safra de milho, a produção atingiu cerca de 60 milhões de toneladas, em uma área de, aproximadamente, 15 milhões de hectares. Apesar de um aumento de 8,6% da área plantada, houve uma queda de 20,8% em relação à safra passada, devido a condições climáticas (CONAB, 2021).

O Brasil tem uma capacidade de produção em três épocas do ano, sendo uma safra de primavera/verão, outono/inverno e inverno. Nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste começa a partir de setembro, e a safrinha começa entre janeiro e fevereiro. Dentre as culturas de verão, onde se pode produzir a soja, podem ser cultivadas tanto na safra ou segunda safra, portanto depende da demanda de cada produtor e da sua localização para o manejo dessas culturas em um determinado período (PRESTES JUNIOR, 2020; NASCIMENTO et al., 2011; PINOTTI et al, 2013).

O estado de Mato Grosso do Sul é o quinto maior produtor de grãos do Brasil (CONAB, 2020). Porém, algumas regiões do estado podem sofrer com o clima, como geadas, que podem ocorrer entre os meses de junho e julho, e interferem no desenvolvimento da planta de milho segunda safra, por exemplo, e veranicos que podem ser severos e prejudicam o desenvolvimento da cultura.

### **2.2 Agricultura de precisão**

A agricultura tradicional durante décadas têm lidado com o manejo de culturas, onde costuma-se haver uso excessivo do solo e de insumos, só quando começou a utilizar-se de tecnologias, tais como dados georreferenciados, armazenagem de

informações em banco de dados, que tornaram possível a avaliação de dados antigos com o histórico da área avaliada, podendo assim fazer uma gestão eficiente (REGHINI e CAVICHIOLI, 2020).

O termo Agricultura de Precisão (AP) é utilizado para determinar a capacidade de se conhecer cada parte da lavoura, o uso de gestão localizada das áreas teve um aumento importante nas grandes áreas devido a incorporação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) à agricultura na década de 90. Assim impulsionando a AP (MOLIN, 2011).

A AP possui um nicho para o desenvolvimento, porém aos pesquisadores e produtores mais conservadores gera um certo desconforto, devido a novidades à própria tecnologia. Mas não se pode negar que após duas décadas houve um avanço considerável e as pesquisas trouxeram um suporte e resultados para a tomada de decisão no campo (BERNARDI et al., 2014).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), definiu em 2012, que a Agricultura de Precisão é “um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa o aumento e retorno econômico, à sustentabilidade e a minimização do efeito ao ambiente” (BERNARDI et al., 2014).

A AP no Brasil pode ser considerada recente, pois suas de tecnologias e conceitos demandam tempo e um valor econômico alto para os produtores e pesquisadores da área, então se para a Embrapa os conceitos de AP foram esclarecidos recentemente, para sociedade demanda um período maior, para esta porção da sociedade a agricultura de precisão é somente realizar uma operação mais precisa. Podemos classificar em dois tipos de erros, os antrópicos e os naturais, os antrópicos podem ser corrigidos por meio de avanços tecnológicos nas máquinas agrícolas, que diminuem os erros dos operadores, porém esta solução só é viável economicamente quando o operador apresentar erros significativos. Os erros naturais podem ser considerados por meio da quantidade da diferença, por exemplo, de produtividade uma área, em diferentes talhões ou malhas, podendo considerar um excesso ou falta de insumos em determinadas áreas. E é por conta deste motivo que agricultura de precisão é compreendida como uma gestão da lavoura, que levam em conta a variabilidade espacial (BERNARDI et al., 2014).

A agricultura de precisão não se baseia unicamente em novas tecnologias, como vista pelo senso comum. Utiliza a revolução nas informações, que é a base de um sistema de precisão para gestão no campo (BENTO, 2018; ROBERT, 2002).

Um dos primeiros passos para consistir a AP é a medição e interpretação da heterogeneidade que há nas áreas avaliadas. Logo após é preciso utilizar esta informação para gerir esta variabilidade, fornecendo manejos adequados para cada ponto. A AP, portanto, depende da descoberta da informação, gestão dos dados, análise e interpretação, utilizando tecnologias adequadas que facilitarão a tomada de decisão de um determinado processo ou manejo (BENTO, 2018; PIERCE e NOWAK, 1999).

A variabilidade espacial é diretamente relacionada com a heterogeneidade da produtividade de grãos, que podem ser influenciadas por vários fatores que interagem de formas diferentes, portanto complexas, e que influenciam nos resultados de cada cultura. Este estudo da variabilidade espacial, levando em consideração atributos do solo e da planta, é importante para entender os fatores que levam as culturas a expressarem aquela produtividade e a heterogeneidade da área agrícola, que levam ao desenvolvimento e aplicações de manejos agrícolas em áreas específicas visando a expressão máxima de uma determinada cultura em divergentes zonas de manejo (VIAN et al., 2016).

Portanto, ao longo do processo produtivo pode-se ver diversas utilidades para a AP, de maneira que deve complementar um ao outro, formando um ciclo de AP, que podem englobar, mapeamento de produtividade, mapeamento de atributos do solo, análise e interpretação dos dados e depois as recomendações, intervenções e monitoramento da lavoura (RAFULL et al., 2001). Para viabilizar este ciclo, podemos utilizar o Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS), sensores, Sistemas de Informações Geográficas dedicadas (SIGs) e máquinas inteligentes (MOLIN, 2001).

### **2.3 Geotecnologias**

As geotecnologias são um conjunto de técnicas e métodos científicos utilizados para análise, exploração e conservação dos recursos naturais, considerando diferentes escalas e a informação espacial. Também são utilizadas para o estudo de paisagem e variáveis ambientais, na análise e auxílio na prevenção de desastres naturais, além de gerenciar e de monitorar atividade humana. Esta tecnologia é formada por hardware (satélites, câmeras, GPS, computadores) e softwares capazes de armazenar e manipular as informações (EMBRAPA, 2014; REGHINI e CAVICHIOLI, 2020).

Geotecnologias abrangem tecnologias tanto de processamento e armazenamento de dados geoespaciais utilizando os Sistemas de Informação Geográficas (SIG), Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS), e Sistemas de processamento de Imagens (SPI). O nome mais adequado e técnico para o Global Positioning System

(GPS) é Navigation System for Timing and Ranging (NAVSTAR), esses sistemas utilizam três segmentos, espaciais, que são os satélites, controle (estações terrestres de monitoramento) e os usuários (REGHINI e CAVICHIOLI, 2020).

O sensoriamento remoto é um conceito que une as informações a respeito de objetos mediante a análise de dados levantados por sensores remotos. Estes sensores têm a capacidade de coletar a energia proveniente dos objetos e convertê-los em sinal passível de ser registrado. Em conjunto com esses sistemas temos o SIG (Sistema de Informação Geográfica) que une o hardware com o software que são capazes de armazenar, analisar e processar dados geográficos. Esta análise auxilia na elaboração de mapas, gráficos, tabelas e relatórios, que podem representar a realidade, e assim um profissional da área pode analisar e extrair informações mais precisas para elaborar um manejo naquela área (EMBRAPA, 2014; REGHINI e CAVICHIOLI, 2020).

Em algumas culturas, como cana-de-açúcar por exemplo, têm se utilizados a tecnologia de georreferenciamento que permite a identificação de falhas de plantio para aumentar a produtividade por meio de técnicas de um plantio eficiente, uma delas é o plantio georreferenciado pelo sistema de navegação GNSS (*Global Navigation Satellite System*) (ARANTES, 2019).

A geotecnologia utiliza três conjuntos de ferramentas, sendo elas o Processamento Digital de Imagens (PDI), a Geoestatística e os SIG. Estes instrumentos comprovam que a geotecnologia não se limita somente a mapeamentos, localização pontuais, mas a uma análise de um conjunto de ferramentas que levam a resultados que podem ser analisados por diversos profissionais, entre eles os Agrônomos (REGHINI e CAVICHIOLI, 2020).

O geoprocessamento é um conjunto com técnicas atuais de mapeamento, a topografia convencional e dados agrônômicos obtidos a campo, torna possível a aquisição de mapas temáticos e a quantificação de áreas, como pastagens, áreas de agricultura, campo nativo, reflorestamento e florestamento, florestas nativas, fruticultura, afloramentos rochosos, banhados, áreas sujeitas a alagamentos, açudes, barragens, áreas erodidas, áreas degradadas, entre outras utilizações (MOTTA e WATZLAWICK, 2000).

Portanto, o Geoprocessamento contribui com a eficiência na utilização dos insumos e na lucratividade das culturas, ajudando o produtor e o agrônomo nas tomadas de decisões, realizando o controle e acompanhamento do manejo de pastagens e solos, reflorestamentos e o monitoramento de áreas irrigadas, pragas e doenças (MOTTA e WATZLAWICK, 2000).

## 2.5 Mapa de produtividade

O grande objetivo dos produtores é a colheita de altas produtividades com o menor custo possível, assim focando no retorno econômico. Portanto pensando nisso a quantidade média que uma lavoura pode produzir, pensando em AP, não é o suficiente (MOLIN et al., 2015).

Esses mapas de produtividade, ainda são pouco utilizados no Brasil e no mundo. A distribuição desta tecnologia pode ter acontecido muito rapidamente, muitos produtores têm acesso a essas informações e outras, porém não são utilizadas na prática para a solução de problemas no campo, seja isso por falta de conhecimento técnico para análise, seja pela falta de qualidade dos dados e no tratamento dos dados em escritório. O mapeamento da produtividade é a informação mais adequada para se obter a variabilidade espacial da área cultivada, podendo auxiliar na identificação dos fatores que podem limitar a produção e qual tratamento deve ser tomado de forma localizada (MOLIN et al., 2015).

A variabilidade espacial deve ser determinada para delinear as áreas de manejo. Este produto é obtido por meio da caracterização espacial de fatores que são importantes para o manejo e a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) está entre os fatores relevantes (CÓRDOBA, 2016).

Observando alguns fatores que os mapas de produtividade podem ter, podemos observar três usos, além da identificação da variabilidade espacial das áreas cultivadas. Primeiramente a compreensão da causa e efeito, ou seja, entender o porquê da produtividade está sendo menor ou maior em determinadas áreas localizadas. O segundo é em relação à aplicação de taxa variável de fertilizantes, com as informações de produtividade em cada pontos amostrais, podemos identificar e elaborar uma eficiente exportação de nutrientes realizada pela cultura. O terceiro é para o auxílio da identificação dessas áreas localizadas, que podem ser tratadas de formas distintas, portanto é importante uma integração de dados sobre diferentes safras, identificando variações climáticas e diferente cultuas, porém, este fator acaba sendo limitante para o produtor, pois precisa de um controle de grandes dados e de safras diferentes (MOLIN et al., 2015).

Os benefícios dos mapas de produtividade são imensos, porém para que isso aconteça de forma eficiente e confiáveis, é preciso entender os mecanismos e equipamento utilizados nesse processo de obtenção dos dados (MOLIN et al., 2015).

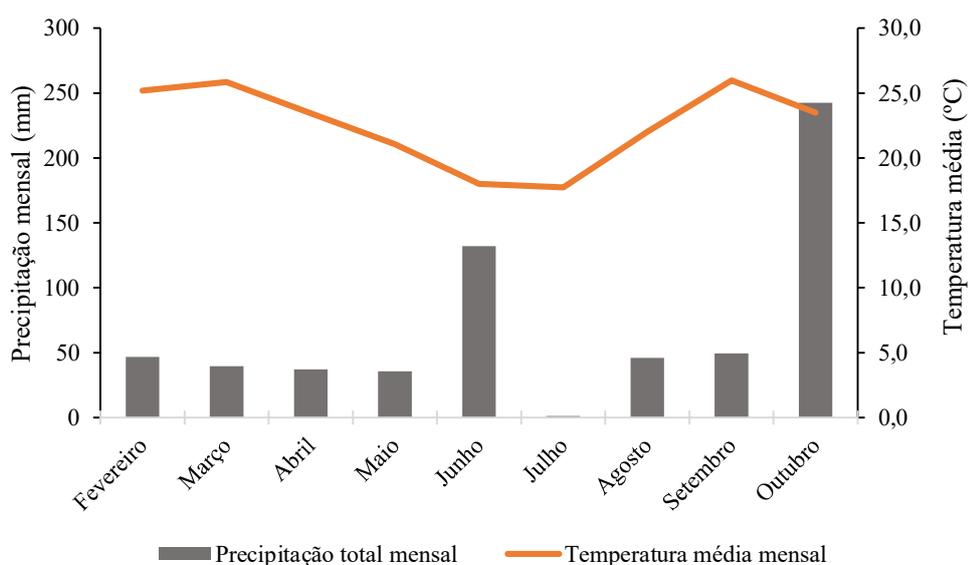
Através destas análises, busca-se parâmetros que possam caracterizar uma dependência espacial, para que se possa utilizar técnicas de interpolação, como o IDW e a krigagem, para posteriormente a elaboração de mapas temáticos, que são utilizados em uma tomada de decisão futura (KESTRING et al., 2015).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local

O trabalho foi realizado na Fazenda Santa Ana, localizada no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, coordenadas 22°20'19,1"S 54°43'57,4"W, entre o período de fevereiro de 2021 a outubro de 2021, em uma área de Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2009).

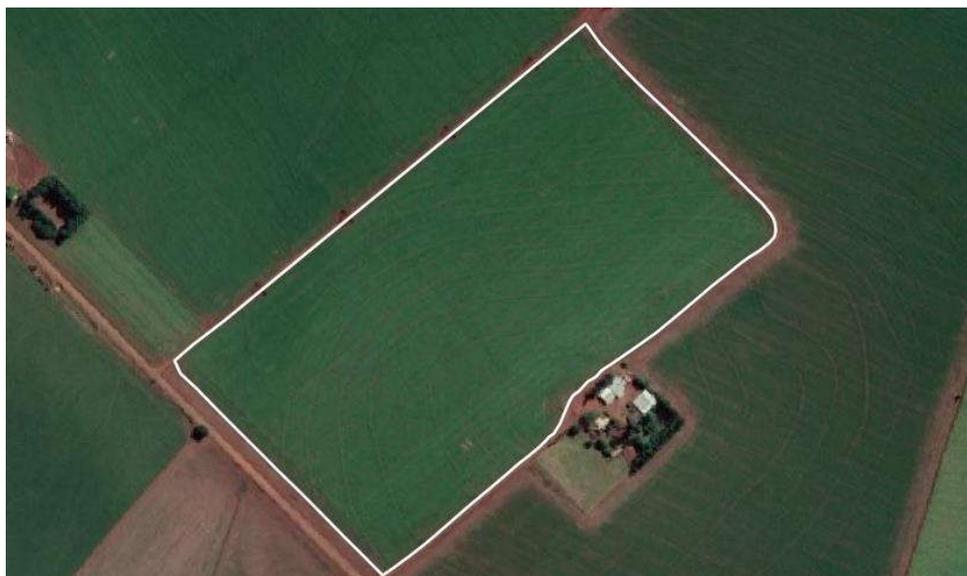
De acordo com Köppen possui uma classificação de clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa). A temperatura média anual de Dourados-MS é de 22,6 °C e a precipitação média anual é de 1.406,2 mm (Figura 1), no período avaliado a temperatura mínima foi de 6,7 °C e máxima de 30,5 °C. Estação Meteorológica Automática (A721) localizada nas coordenadas 22°16'31"S, 54°49'06"W, 408 m (Guia Clima - Embrapa Agropecuária Oeste, 2021).



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da estação automática A721 (Embrapa Agropecuária Oeste, 2021).

FIGURA 1. Temperatura média mensal e precipitação total mensal durante o período de avaliação, fevereiro a outubro de 2021.

O talhão sede, utilizado no estudo, tem uma área de 39,08 ha ou 390.797,44 m<sup>2</sup>. Foram utilizados 156 pontos ao redor da área para a determinação do contorno do talhão, utilizando o aplicativo C7 GPS DADOS da Universidade Federal de Santa Maria – Sistema integrante do Projeto CR-Campeiro, Versão 2.2 02/21 (Figura 2).

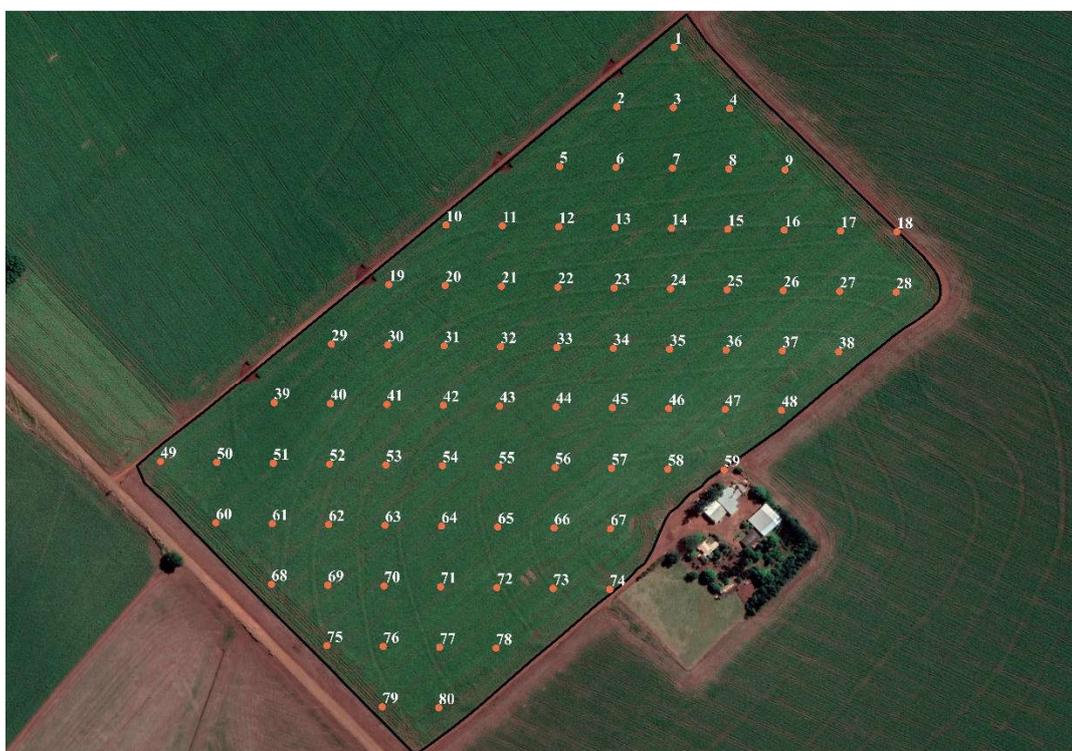


Fonte: Elaborado pelo autor, QGIS.

FIGURA 2. Talhão utilizado para o estudo, Fazenda Santa Ana, Dourados MS.

### 3.2 Malha amostral

Utilizando o aplicativo C7 GPS Dados gerou-se uma malha amostral com grade regular de, aproximadamente, 1 ponto a cada 0,5 hectares, resultando em 80 pontos amostrais nos 39,08 ha do talhão avaliado, representado na Figura 3.

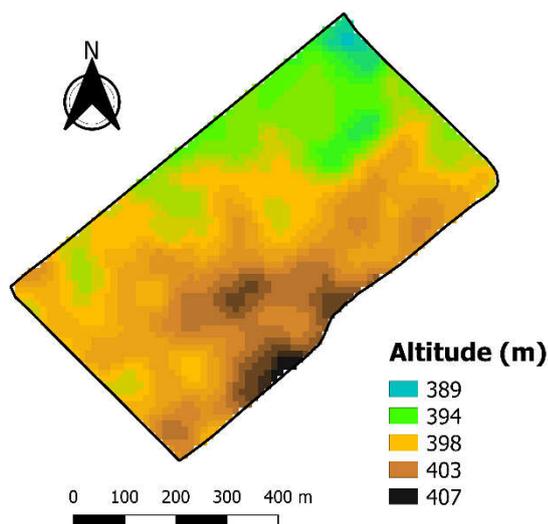


Fonte: Elaborado pelo autor, QGIS.

FIGURA 3. Malha amostral gerada.

### 3.3 Mapa de Altitude

O mapa de altitude é um fator que pode interferir no escoamento e no acúmulo de água no talhão (Figura 4). Os dados fontes para a geração dos mapas de altitude foram retirados da plataforma ASF Data Search Alaska (Satélite Alos Palsar), que tem uma precisão de 12,5 metros de pixel.



Fonte: Elaborado pelo autor, QGIS.

FIGURA 4. Mapa temático de altitude do talhão Sede.

### 3.4 Cultura e equipamentos

A cultura cultivada foi o milho, variedade Morgan 30A37 PWU, híbrido simples geneticamente modificado resistente a insetos da ordem lepidóptera e tolerantes aos herbicidas glifosato e glufosinato de amônio.

A semeadura foi realizada no dia 27 de fevereiro de 2021, com espaçamento de 0,5 m e 3 plantas por metro, utilizando a semeadora-adubadora pneumática Estrela 30-Stara com 28 linhas, que possui um reservatório central de sementes com capacidade 2000 kg e um controlador TOPPER 550, que permite variar a população de plantas.

### 3.5 Avaliações

#### 3.5.1 Estande de plantas

Para a avaliação do estande de plantas, no estágio fenológico V3, foi utilizada uma trena em duas fileiras com dois metros de comprimento, ao redor de cada ponto. Logo em seguida, contou-se o número de plantas, obtendo o resultado em plantas por

metro e transformando-o para plantas por hectares, em cada um dos 80 pontos amostrais delimitados anteriormente por meio do C7 GPS Dados.

### 3.5.2 Distribuição longitudinal

Na avaliação de distribuição longitudinal ou uniformidade de espaçamentos entre plantas, foram feitas as medições do espaçamento entre plantas, por meio de uma trena, em duas fileiras de dois metros de comprimento em cada um dos 80 pontos amostrais. As porcentagens de espaçamentos normais, falhos e duplos foram obtidas usando método proposto por Kurachi et al. (1989), considerando a distância entre plantas ( $X_p$ ) como espaçamento duplo (D) se:  $X_p < 0,5 \times X_{ref}$ ; Normais (A):  $0,5 \times X_{ref} < X_p < 1,5 \times X_{ref}$  e falhos (F):  $X_p > 1,5 \times X_{ref}$ . O  $X_{ref}$  (distância de referência) foi de 33,3 cm.

### 3.5.3 Diâmetro do colmo

O diâmetro do colmo foi mensurado no colo da planta de milho, aproximadamente 5 cm do solo, usando um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm.

### 3.5.4 Altura de planta e altura de inserção da primeira espiga (AIPE)

A altura de planta e altura de inserção da primeira espiga (AIPE) foram realizadas em duas fileiras com dois metros de comprimento, com duas repetições por ponto amostral. Para a altura de planta foi medida entre o solo até inserção da folha bandeira, nos estádios V3 e R6. E a AIPE foi obtida pela distância entre o solo e a primeira espiga produtiva.

### 3.5.5 Comprimento de espiga

Para o comprimento de espiga, foi mensurado em milímetros, da base até o ápice da espiga. A avaliação foi feita de duas em duas espigas de cada linha, de plantas distintas, sem palha, em cada ponto amostral contidas em duas fileiras com um metro de comprimento.

### 3.5.6 Número de grãos por espiga

O número de grãos por espiga foi obtido por meio da multiplicação do número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileiras, foram analisadas duas espigas por

ponto amostral, tendo o número de grãos por fileiras duas repetições e no final obtida a média.

### 3.5.7 Massa total, massa de grãos e massa do sabugo

A massa total foi obtida por meio da aferição da espiga sem palha em uma balança de precisão com duas casas decimais, logo em seguida a espiga foi para o processo de debulha, e feita a aferição de grãos por espiga e do sabugo. Foram utilizadas duas espigas por ponto amostral.

### 3.5.8 Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi obtida por meio da média da aferição de quatro subamostras de 100 grãos por repetição de cada ponto amostral. As massas foram aferidas em uma balança de precisão de duas casas decimais, e corrigidas para 13% de grau de umidade, conforme adaptado das RAS - Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

### 3.5.9 Umidade de grãos e produtividade estimada

A umidade de grãos foi obtida por meio da secagem das amostras de cada ponto amostral, em cadinhos de alumínio, na estufa a 105 °C por 24 horas, após este período foram aferidas com uma balança de precisão de duas casas decimais (BRASIL, 2009).

A produtividade média foi determinada por meio dos cálculos, demonstrados nas equações a seguir:

$$NG = NGPF \cdot NFG \quad (1)$$

$$ME = \frac{NG \cdot MMG}{1000} \quad (2)$$

$$MML = MPE \cdot NPM \quad (3)$$

$$PROD = PP \cdot MML \quad (4)$$

em que,

NG - número de grãos;

NGPF - número de grãos por fileira;

NFG - número de fileiras de grãos por espiga;

ME - massa de grãos da espiga, g;

MMG - massa de mil grãos, g;

MML - massa de grãos na linha de colheita,  $m^{-1}$ ;

MPE - massa por espiga, g;

NPM - número de plantas na linha de plantio,  $m^{-1}$ ;

PROD - produtividade do milho, com a umidade de 13%,  $kg\ ha^{-1}$ ;

PP - população de plantas.

### 3.6 Índices de vegetação

Os dados para a geração dos mapas de NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada) e NDRE (Diferença normalizada do vermelho limítrofe) foram retirados da plataforma Sentinel-Hub (Satélite Sentinel 2 L2A) com 10 metros de pixel de resolução, ambas plataformas dispõem de um banco de dados de acesso livre. Procurou-se selecionar imagens de satélite que fossem compatíveis com as datas dentro dos estádios vegetativos da cultura do milho indicados para o cálculo do índice de vegetação (IV). As imagens que apresentavam as menores porcentagens de nuvens na área estudada foram selecionadas para uma melhor qualidade de avaliação. Os dados para sensores Sentinel-2 (S2A e S2B) estão apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1. Bandas espectrais para sensores Sentinel-2 (S2A e S2B)

Número de Banda	S2A		S2B		Resolução Espacial (m)
	Comprim. de Onda Central (nm)	Largura de Banda (nm)	Comprim. de Onda Central (nm)	Largura de Banda (nm)	
B4 (Red)	664,6	31	492,1	66	10
B5 (Red Edge)	704,1	15	703,8	16	20
B8 (Infrared)	832,8	106	832,9	106	10

Fonte: ESA – European Space Agency, 2015.

Com as imagens já corrigidas do Sentinel L2A foram calculados os IV com as Equações 5 (ROUSE et al., 1974) e 6 (FITZGERALD et al., 2006).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (5)$$

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge} \quad (6)$$

em que,

NDVI - diferença normalizada do índice de vegetação;

NIR - infravermelho;

Red - comprimento de onda no espectro vermelho, nm;

NDRE - diferença normalizada dos índices da borda onde o *Red Edge* é o comprimento de onda da borda vermelha.

Segundo identificado por Henriques (2021), os índices de vegetação *Red Edge* foram considerados como melhores e mais altas correlações com a produtividade de grãos de milho no campo.

### 3.7 Análises dos dados

Os componentes agronômicos avaliados foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de assimetria e de curtose.

Posteriormente foi realizado a análise de dependência espacial procedendo os ajustes de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca, definida pela Equação 7.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

em que,

$\hat{\gamma}(h)$  - Semivariância em função da distância de separação (h) entre pares de pontos;

h - Distância de separação entre pares de pontos, m;

N(h) - Número de pares experimentais de observações Z(x<sub>i</sub>) e Z(x<sub>i</sub> + h) separados por uma distância h.

Foram testados modelos gaussiano, esférico e exponencial. O modelo foi ajustado apresentando a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR). Logo após a escolha do modelo, foram observados os valores de: efeito pepita (C<sub>0</sub>), contribuição da semivariância (C<sub>1</sub>), patamar (C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub>) e alcance (A).

O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado e classificado, segundo proposta de (ZIMBACK, 2001), utilizando a relação C<sub>1</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>), e assumindo os seguintes intervalos: dependência espacial forte para IDE > 0,75, moderada entre 0,25 e 0,75 e baixa para IDE < 0,25.

Para a interpolação dos mapas foi utilizado o método de Krigagem Ordinária, para se estimar os locais não amostrados sendo utilizados 16 vizinhos e um raio de busca igual a 50% do valor alcançado no ajuste de semivariograma, de forma a garantir o intervalo de continuidade espacial. Quando não se ajustou um modelo adequado, a interpolação foi feita usando o método do inverso do quadrado da distância (IDW), conforme descrito em Souza et al. (2010).

Para a análise de variabilidade espacial dos componentes foi utilizado o software QGIS, versão 3.10.16, e o complemento Smart-Map.

Quando os dados não apresentavam dependência espacial, foi realizada a análise do coeficiente de correlação de Pearson entre os componentes avaliados e a produtividade, a 5% de probabilidade pelo teste t.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise descritivas dos dados

O estande de plantas apresentou média de 3,14 plantas m<sup>-1</sup>, representando um estabelecimento em campo da totalidade das sementes semeadas (Quadro 2). Tourino e Klingensteiner (1983) consideram como ótimo desempenho da semeadora que obtenha uma distribuição acima de 90% das sementes dentro da faixa de espaçamento aceitável. Desse modo, os dados de distribuição normal do trabalho encontram-se dentro da classificação considerada ótima.

QUADRO 2. Estatística descritiva dos dados de estande e distribuição longitudinal

Parâmetros	Estande (Plantas m <sup>-1</sup> )	Distribuição longitudinal		
		Falho (%)	Duplo (%)	Normal (%)
Média	3,14	4,85	1,02	94,12
Desvio Padrão	0,24	5,78	3,06	6,79
CV	7,56	119,28	298,18	7,21
Máximo	3,50	20,00	17,00	100
Mínimo	2,50	0	0	70,0
Assimetria	-0,47	0,90	3,05	-1,25
Curtose	2,90	2,82	12,49	4,49
Intervalo de confiança *	0,05	1,29	0,68	1,51

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t. CV: Coeficiente de Variação.

A distribuição de falhos (4,85%) atingiu a meta para uma boa distribuição longitudinal de sementes que está abaixo de 5%. A distribuição dupla também atingiu o valor (1,02%), apresentando um valor inferior a 5%.

De acordo com Weirich Neto et al. (2015), os principais motivos para um significativo aumento de espaçamentos falhos estão: os discos e/ou anéis inadequados, uma pressão imprópria no sistema pneumático, falta ou excesso de grafite, tratamento de semente com elevada abrasividade, posicionamento das sementes dentro do sulco, ataque de pragas, umidade do solo inadequada para a semeadura, contato solo-semente, abertura e fechamento do sulco.

Quando se observa no estande o coeficiente de variação (CV), estão relativamente baixos, 7,56. Seguindo a classificação de Wilding e Dress (1983), valores de CV para os componentes de falho e duplo, tendem a apresentar valores alto (CV maior que 25%), já os componentes de estande e normal foram considerados baixos (CV menor que 15%).

O coeficiente de variação (CV) de falhos e duplos também foram observados por Arcoverde et al. (2016) e Arcoverde et al. (2017), corroborando com as indicações realizadas por Wilding e Dress (1983).

Os valores de curtose estão acima de zero, podendo indicar que os dados não estão em uma distribuição normal. Os valores estão fora do intervalo de curtose de -2 e 2, que demonstram que os dados não respeitam uma distribuição normal (MELO et al., 2013).

Em relação aos componentes de produção (Quadro 3), os valores de desvio padrão e coeficiente de variação estão baixos, demonstrando uma uniformidade dos dados.

QUADRO 3. Estatística descritiva dos dados de altura no estágio V3, altura no estágio R6, comprimento de espiga (CE), diâmetro do colmo (DC), altura de inserção da primeira espiga (AIPE) e umidade (U)

Parâmetros	Atributos da cultura e grãos					
	Altura V3 (cm)	Altura R6 (cm)	CE (cm)	DC (cm)	AIPE (cm)	U (%)
Média	23,48	150,49	15,64	6,22	61,97	38,95
Desvio Padrão	2,75	12,06	0,94	0,66	6,34	3,04
CV	11,71	8,01	6,00	10,58	10,22	7,80
Máximo	28,5	183,00	18,00	7,67	75,33	46,59
Mínimo	12,00	123,33	13,67	4,17	50,33	33,38
Assimetria	-1,08	0,26	0,23	-0,51	0,02	0,07
Curtose	5,47	3,05	2,47	3,11	2,11	2,51
Intervalo de confiança *	0,61	2,68	0,21	0,15	1,41	0,67

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t. CV: Coeficiente de Variação.

Analisando os valores de curtose (Quadro 3), observa-se curtose positivas em todos os parâmetros com valores maiores que 2, podendo indicar uma distribuição não normal.

Ao analisar o componente de produção AIPE, observa-se uma diferença de 15 cm, sendo os valores de 50,33 a 75,33 cm, onde na prática não interferiu no acamamento das plantas do talhão estudado.

A AIPE (altura da inserção da primeira espiga) é uma característica importante na cultura do milho, devido a uma distância média entre o solo e o ponto em que a primeira espiga tem a inserção, não pode ser muito grande esta diferença devido ao

equilíbrio da planta, podendo causar acamamento e diminuição da produtividade (KAPPES et al., 2011).

Ao analisar o componente de produção diâmetro do colmo, onde variam de 4,17 a 7,67 cm, esta diferença pode interferir na planta, funciona como um órgão de reserva da cultura do milho, nos momentos de estresse que a planta sofreu devido ao estresse hídrico, algumas plantas por terem uma reserva de nutrientes maior, acabaram utilizando deste recurso para o enchimento dos grãos e espiga.

Pereira et al. (2020) constataram que a massa seca do milho tem relação com variáveis como altura, diâmetro e área foliar, sendo que quanto maiores mais produtivos. Também concluíram que o diâmetro do colmo menor diminui a produtividade de grãos, podendo funcionar como um órgão de reserva da cultura com relação aos nutrientes, que podem ser utilizados no enchimento de grão e espiga. Assim os maiores valores de altura, diâmetro e área foliar podem se relacionar, juntamente com a genética e nutrição dos híbridos.

O diâmetro de colmo é uma característica importante, assim como a AIPE, pois reduz o risco de quebramento e acamamento das plantas, quanto maior o diâmetro do colmo maior é este acúmulo de reservas que podem auxiliar no enchimento dos grãos (KAPPES et al., 2011).

Os valores de coeficiente de variação (CV) se mantiveram baixos nas variáveis de número de fileiras por espiga e massa de mil grãos, porém foram relativamente mais altos no número de grãos por espiga, massa por espiga e produtividade (Quadro 4). Para a produtividade, o valor foi de CV foi de 15,02%, o que pode ser explicado pela variação hídrica (Figura 1), que demonstra uma estiagem nos períodos iniciais da cultura do milho, podendo ter afetado seu potencial produtivo, já que os estádios iniciais de V4 ao V6 induz as características produtivas, como número de fileiras por espiga e tamanho da espiga (DA COSTA et al., 2018; MENGEL e BARBEAR, 1974).

QUADRO 4. Estatística descritiva dos dados de número de grãos por fileira (NGPF), Número de fileiras por espiga (NFPE), número de grãos por espiga (NGPE), massa de mil grãos (MMG), massa por espiga (MPE) e Produtividade (Prod)

Parâmetros	Componentes de produção					
	NGPF	NFPE	NGPE	MMG (kg)	MPE (kg)	Prod (kg ha <sup>-1</sup> )
Média	25,61	15,65	401,11	0,21	0,08	5.331,63
Desvio Padrão	2,95	0,81	51,83	0,02	0,01	800,66
CV	11,50	5,19	12,92	8,22	14,43	15,02
Máximo	32,67	18,67	512,00	0,27	0,11	7.097,40
Mínimo	19,17	14,00	281,11	0,14	0,06	3.712,18
Assimetria	0,20	0,33	0,02	-0,48	-0,02	-0,03
Curtose	2,71	4,29	2,29	6,28	2,07	2,21
Interv. de confiança*	0,656	0,18	11,53	0,00	0,00	178,14

\*Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t. CV: Coeficiente de Variação.

O coeficiente de variação (CV) é um importante indicador da variabilidade com relação aos dados analisados, portanto quanto maior for, maior a possibilidade de haver heterogeneidade nas variáveis (MIQUELONI et al., 2015). Altos valores de CV entre variáveis, podem indicar que o manejo tomado com base nos valores médios, podem ser ineficientes (SANA et al., 2014). Portanto, ao analisar os dados de coeficiente de variação dos componentes de produção, que variou de 5,19 a 15,09%, podem observar uma homogeneidade da área estudada.

Observando a área, vê-se uma diferença de altitude o que pode ter contribuído para a heterogeneidade na produtividade. Entretanto, a média de produtividade condiz com a média observado para a safra de 2021, que foi cerca de 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021).

#### 4.2 Análise da variabilidade espacial

Nos Quadros 5 e 6, identificam os parâmetros dos semivariogramas da distribuição longitudinal e componentes de produção, onde observa que os valores de R<sup>2</sup> e coeficiente de variação estão baixos e não são adequados para uma interpolação por krigagem ordinária (YAMAMOTO e LANDIM, 2015), portanto, assim sendo interpolados por IDW.

QUADRO 5. Parâmetros dos semivariogramas ajustados do modelo matemático para a distribuição longitudinal

Distribuição longitudinal	Modelo	C0	C0+C	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	VC-CA	IDE
Estande	GS	0,053	0,058	526,891	0,138	-1,291	0,914
Normal	GS	38,635	48,110	526,891	0,434	-0,595	0,80
Duplo	GS	8,697	9,438	526,870	-0,001	-1,318	0,921
Falho	GS	31,087	34,087	526,891	0,401	-0,990	0,912

GS: modelo gaussiano; C0: efeito pepita; C0+C: patamar; VC: Validação cruzada; CA: coeficiente angular da reta.

QUADRO 6. Parâmetros dos semivariogramas ajustados do modelo matemático para a Altura de planta no estágio fenológico V3 (Altura V3), número de fileiras de grãos por espiga (NFPE), Produtividade (Prod).

Componentes de Produção	Modelo	C0	C0+C	Alcance (m)	R <sup>2</sup>	VC-CA	IDE
Altura V3	EX	5,303	8,003	526,891	0,616	0,247	0,663
NFPE	ES	0,716	0,647	286,511	0,105	-1,154	1,107
Prod	GS	616840,9	689274,2	487,806	0,475	0,435	0,895

GS: modelo gaussiano; ES: modelo esférico; EX: modelo exponencial; C0: efeito pepita; C0+C: patamar; VC: Validação cruzada; CA: coeficiente angular da reta.

A massa de mil grãos (MMG) e a massa por espiga (MPE) não foi possível realizar a validação cruzada.

#### 4.2.1 Mapas de qualidade de semeadura

Analisando o mapa temático do estande de plantas verifica-se que seus valores ficaram na faixa de 3 a 4 plantas por metro, representando uma boa uniformidade (Figura 5), corroborando com o planejamento de semeadura onde foi definido previamente que seriam estabelecidas 3 plantas por metro. Uma pequena área teve estande com menos de 3 plantas por metro, mas aparentemente sem relação com a variabilidade do solo, podendo estar associada ao controle de deposição feita pelo controlador da máquina e/ou operador.

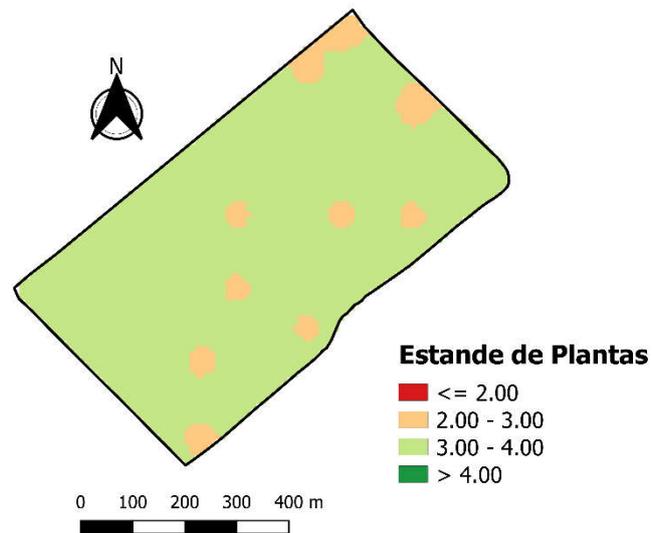


FIGURA 5. Mapa temático do estande de plantas por metro.

A distribuição longitudinal dos espaçamentos normais foi superior a 90% em quase toda área (Figura 6), enquanto a distribuição de duplos foi inferior a 3,3% (Figura 7), e distribuição de falhos inferior a 8% (Figura 8), portanto significando uma semeadora satisfatória (TOURINO e KLINGENSTEINER, 1983).

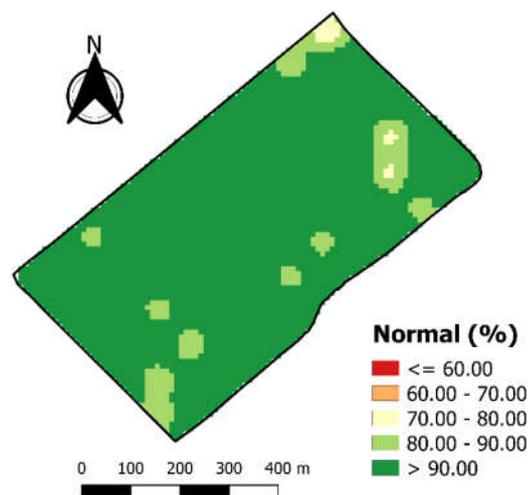


FIGURA 6. Mapa temático da distribuição espacial para espaçamento normal.

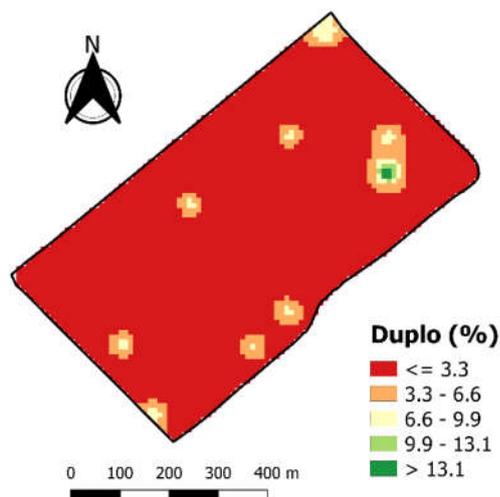


FIGURA 7. Mapa temático da distribuição longitudinal para espaçamentos duplos.

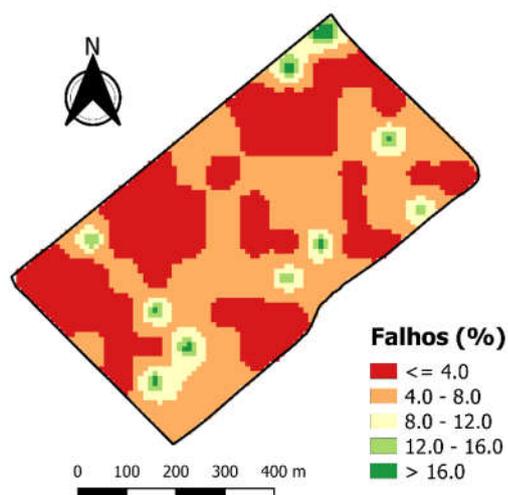


FIGURA 8. Mapa temático da distribuição longitudinal para espaçamentos falhos.

#### 4.2.2 Mapas dos componentes de produção

No Quadro 7, observa-se os valores ajustados dos componentes de produção que se ajustaram para a interpolação de krigagem ordinária. Com os valores de efeito de pepita e patamar, pode-se calcular o valor do índice dependência espacial (IDE) de 0,188 para Altura de planta no estágio fenológico R6, 0,514 para comprimento de espiga, 0,447 para diâmetro do colmo, 0,399 para AIPE, 0,60 para umidade e 0,866 para número de grãos por fileira, que segundo classificação de ZIMBACK (2001) somente o componente de altura de planta no estágio fenológico R6 apresentou uma dependência espacial baixa, número de grãos por fileira (NGPF) uma dependência forte e os outros componentes avaliados apresentaram uma dependência moderada.

O alcance varia de uma máxima nos componentes de diâmetro do colmo e número de grãos por fileiras de 526,891 m, e mínima de 371,421 na altura de inserção da primeira espiga.

Na validação cruzada os índices apresentaram valores de coeficiente angular próximas a 1, o que apresenta um coeficiente aceitável (YAMAMOTO e LANDIM, 2015).

QUADRO 7. Parâmetros ajustados aos semivariograma da altura das plantas no estágio fenológico R6 (Altura R6), comprimento de espiga (CE), diâmetro do colmo (DC), Altura de inserção da primeira espiga (AIPE), umidade e Número de grãos por fileira (NGPF)

Variáveis	Modelo	C0	C0+C	Alcance (m)	RMSE	R <sup>2</sup>	VC-CA	IDE
Altura R6	ES	36,203	192,159	508,016	10,806	0,99	0,914	0,188
CE	GS	0,575	1,109	499,818	0,005	0,97	1,018	0,514
DC	GS	0,234	0,523	526,891	0,009	0,85	0,945	0,447
AIPE	ES	18,26	45,652	371,421	40,949	0,86	0,981	0,399
Umidade	GS	6,273	10,449	469,771	0,337	0,97	0,837	0,60
NGPF	GS	7,818	9,025	526,891	0,412	0,69	0,607	0,866

ES: modelo esférico; GS: modelo gaussiano; C0: efeito pepita; C0+C: patamar; RMSE – resíduo; VC: Validação cruzada; CA: coeficiente angular da reta.

Na Figura 9 observa-se a distribuição da altura de planta em toda a área do talhão sede no estágio fenológico V3, onde a sua grande maioria ficou entre a faixa de 20 a 25 cm, demonstrando uma uniformidade de altura de plantas. Não foi observando grandes manchas de plantas heterogêneas em relação ao componente analisado.

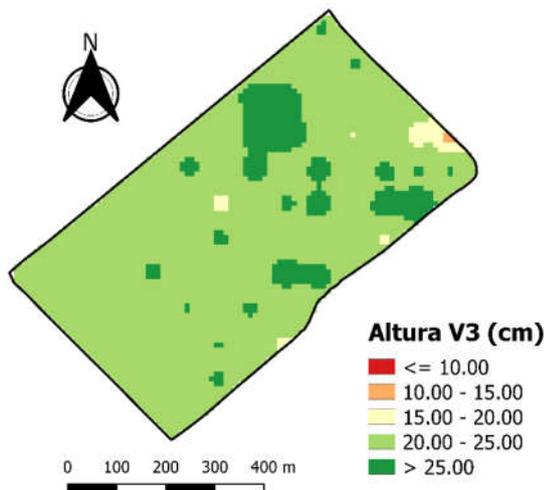


FIGURA 9. Mapa da altura de planta no estágio fenológico V3.

Na Figura 10, observa-se uma heterogeneidade na altura de plantas no estágio fenológico R6 (Figura 9), onde pode-se identificar três grandes manchas com relação ao componente analisado, com uma diferença de altura superior a 30 cm. Ao analisar o mapa de altitude (Figura 4) a região onde as menores plantas estão organizadas, é onde o terreno tem as maiores altitudes, observa-se também (Figura 1) uma estiagem no período inicial, podendo ter influenciado na altura de planta.

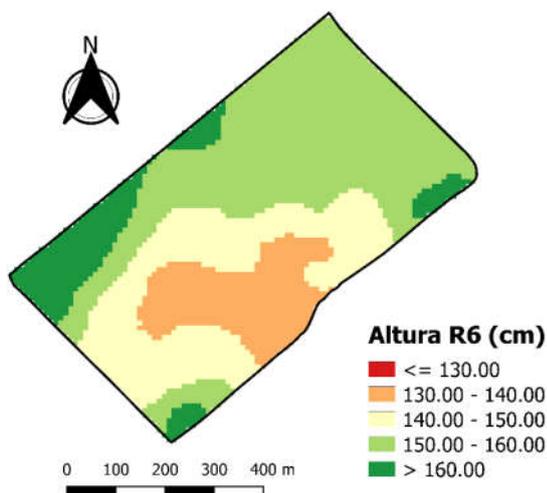


FIGURA 10. Mapa da altura de planta no estágio fenológico R6.

Na Figura 11, observa-se uma diferença no comprimento de espiga no talhão de mais de 1,5 cm, coincidindo novamente com a altitude do talhão (Figura 4), podendo

este fator ter influenciado neste componente de produção também, sendo a umidade nas regiões mais altas menores que nas regiões mais altas do talhão sede.

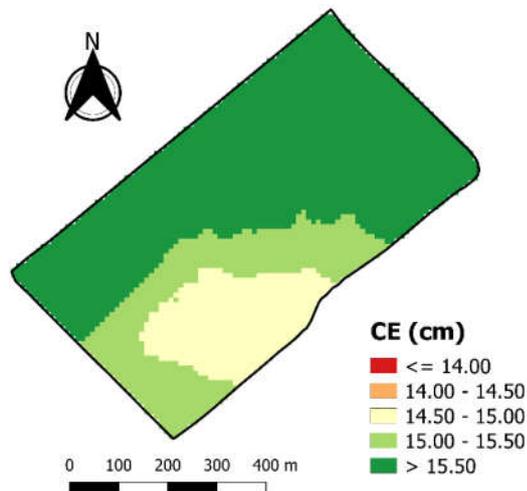


FIGURA 11. Mapa do comprimento de espiga.

Na Figura 12, observa-se uma diferença equivalente a 1,5 cm no diâmetro do colmo, não se identifica nenhum fator de relevância para esta diferença. Considerando a média do diâmetro (Quadro 3), verifica-se que houve variação que corresponde a 24% em torno da média.

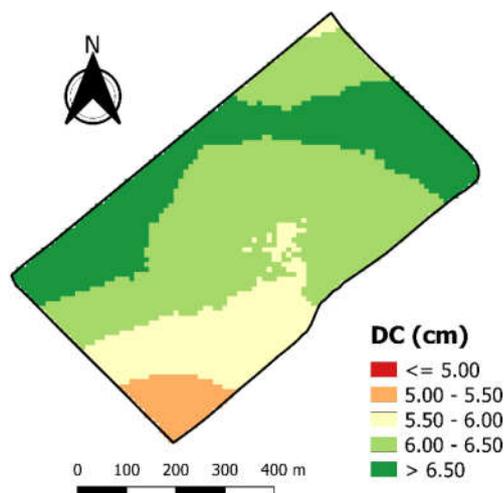


FIGURA 12. Mapa do diâmetro do colmo.

Ao analisar o componente de altura de inserção da primeira espiga (Figura 13), tem-se uma diferença de mais de 15 cm entre as manchas identificadas no mapa, nas regiões com maior velocidade do vento este fator pode alterar o equilíbrio da planta de milho e facilitando o acamamento. As plantas mais baixas (Figura 10) são onde as espigas estão mais baixas consequentemente.

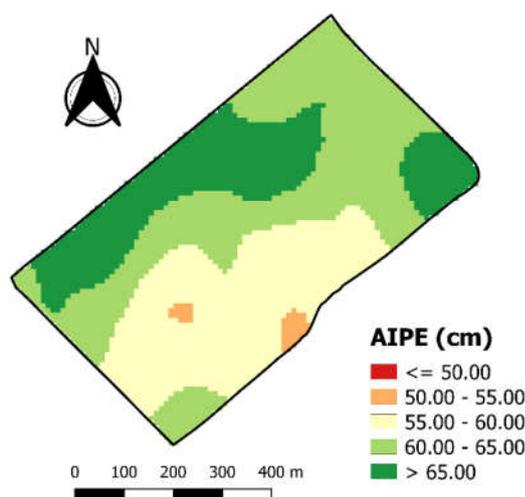


FIGURA 13. Mapa da altura de inserção da primeira espiga.

Quanto a análise dos componentes de produção de número de grãos por espiga (NGPE) (Figura 14) e número de fileiras de grãos por espiga (NFPE) (Figura 15), percebe-se uma diferença entre os mapas, uma heterogeneidade no componente de NGPF de 23 a números maiores de 26 grãos, contudo no componente de NFPE, observa-se uma homogeneidade no mapa, onde na sua grande parte do talhão tem-se fileiras de 14 e 16 grãos. Como um fator limitante nessa safra destaca-se a estiagem na região (Figura 1), novamente vemos números de maiores de grãos nas regiões mais baixas do talhão.

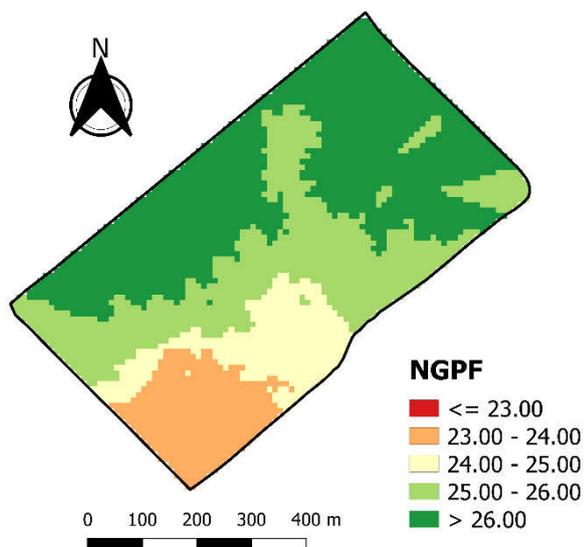


FIGURA 14. Mapa do número de grãos por fileira.

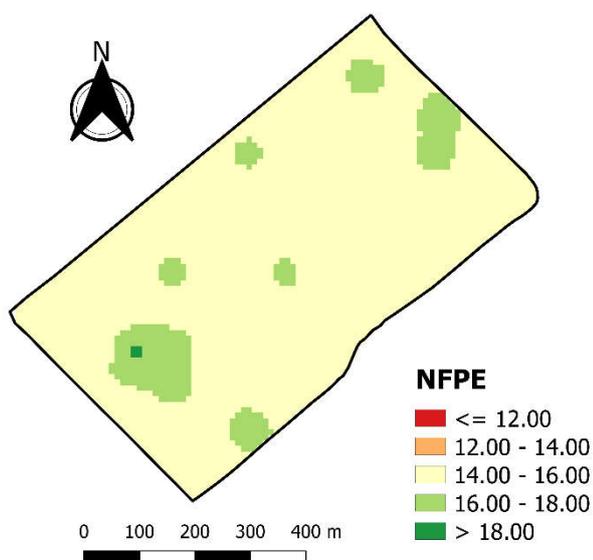


FIGURA 15. Mapa do número de fileiras por espiga.

Na Figura 16, observa-se um componente de produção importante, que é a massa de mil grãos, ao analisar o mapa, temos uma homogeneidade deste fator em todo o talhão sede, na sua grande maioria dos pontos estudados entre 0,20 e 0,25 kg em mil grãos. Na Figura 17 o fator de massa por espiga, diferente de MMG, temos uma pequena heterogeneidade no talhão estudado de 0,03 kg, variando de 0,07 a 0,10 kg por espiga.

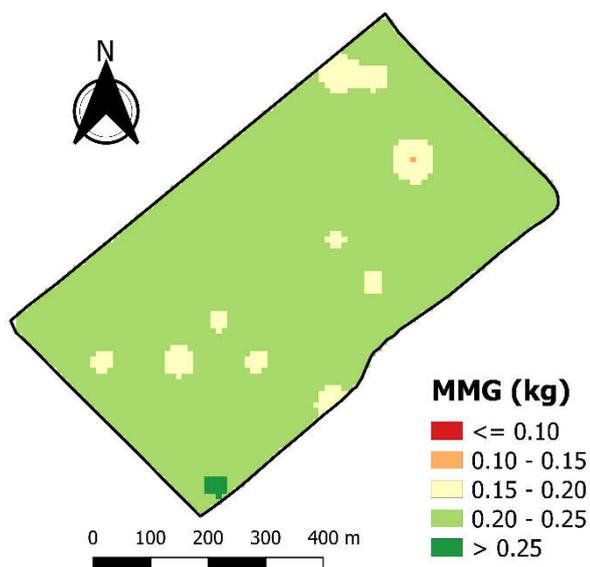


FIGURA 16. Mapa da massa de mil grãos.

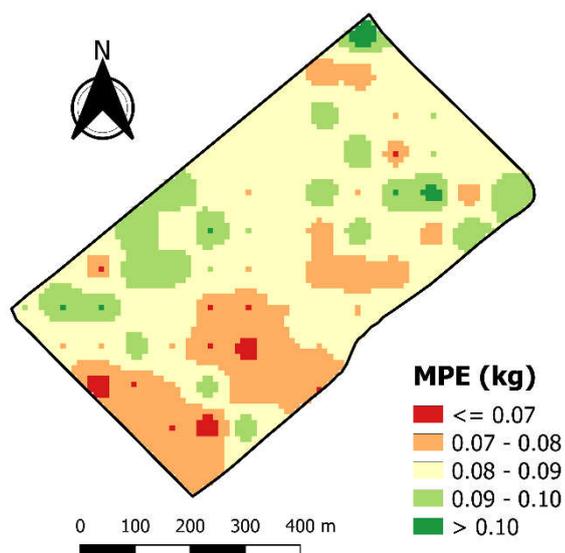


FIGURA 17. Mapa da massa por espiga.

#### 4.2.3 Mapas de NDVI e NDRE

A geração dos mapas NDVI são importantes para identificarmos possíveis heterogeneidade nas áreas avaliadas (Figura 18 e 19). Somente a imagem de NDVI do dia 24 de março de 2021, demonstra uma pequena mancha no centro do talhão, porém com pouca diferença para as demais regiões, o que desaparece nos demais mapas de NDVI e NDRE dos dias 24 de março de 2021 e 03 de maio de 2021.

As maiores diferenças visualmente nos índices de vegetações, foram na região de cabeceira, onde geralmente encontram-se diferenças com relação a região central dos talhões devido a entrada de pragas, ficam mais expostos ao vento (Figura 20 e 21).

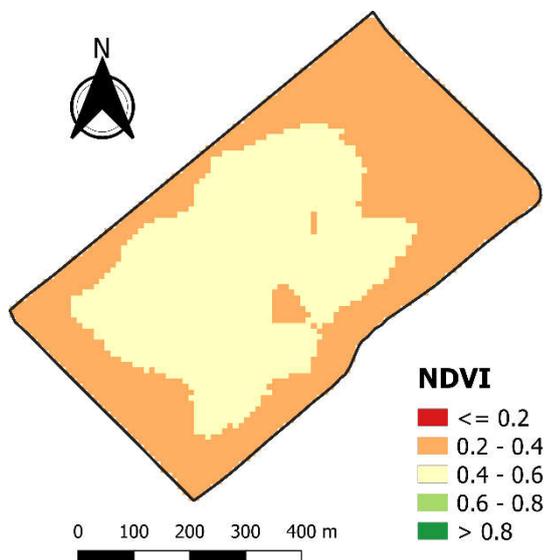


FIGURA 18. Mapa de NDVI, 24/03/2021 do talhão Sede.

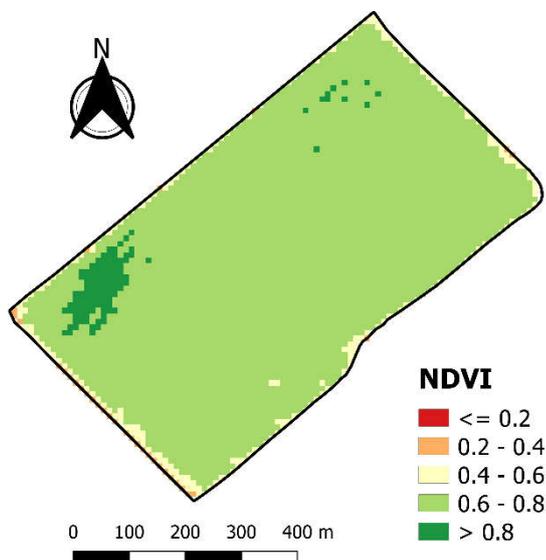


FIGURA 19. Mapa de NDVI, 03/05/2021 do talhão Sede

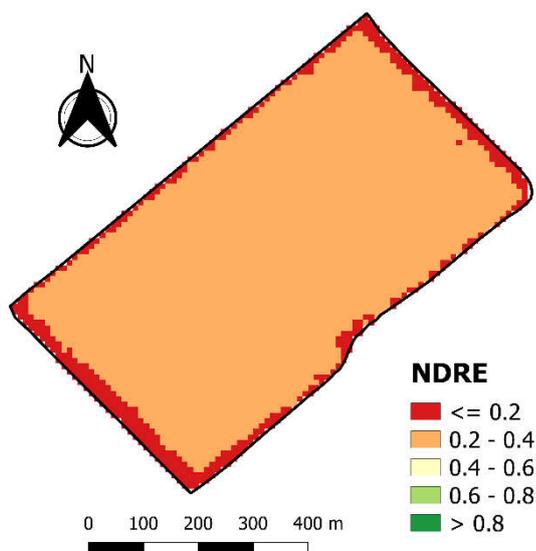


FIGURA 20. Mapa de NDRE, 24/03/2021 do talhão Sede.

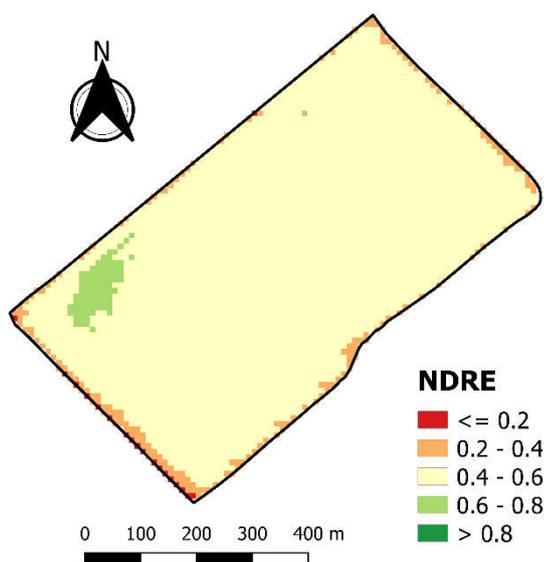


FIGURA 21. Mapa de NDRE, 03/05/2021 do talhão Sede.

#### 4.2.4 Mapa de produtividade

Analisando os dados do mapa temático da umidade dos grãos (Figura 22) no estágio fenológico R6, pode-se observar que houve uma homogeneidade dos valores, variando aproximadamente 5 pontos percentuais de umidade entre os diferentes pontos estudados. Como a maioria dos grãos tinham menos de 40% de umidade pode-se garantir, que somadas a observação visual que as folhas estavam ficando amareladas, as sementes

já haviam atingindo a maturidade fisiológica, não mais sendo transportado nutrientes aos grãos.

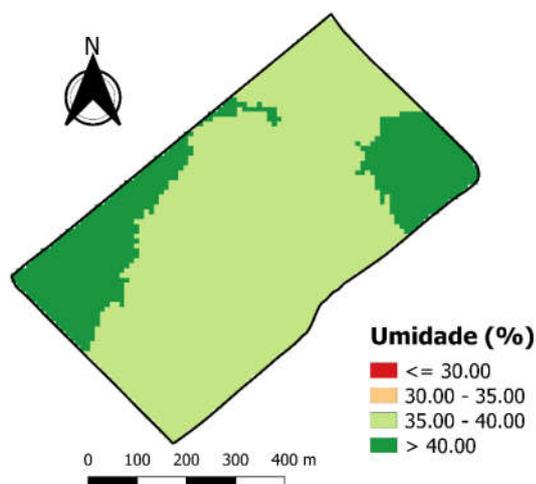


FIGURA 22. Mapa da porcentagem de umidade dos grãos do talhão sede.

Não houve ajuste há um modelo de semivariograma para os dados de produtividade, não podendo interpolar pelo método de krigagem, portanto o mapa foi gerado pela interpolação por IDW (Figura 23).

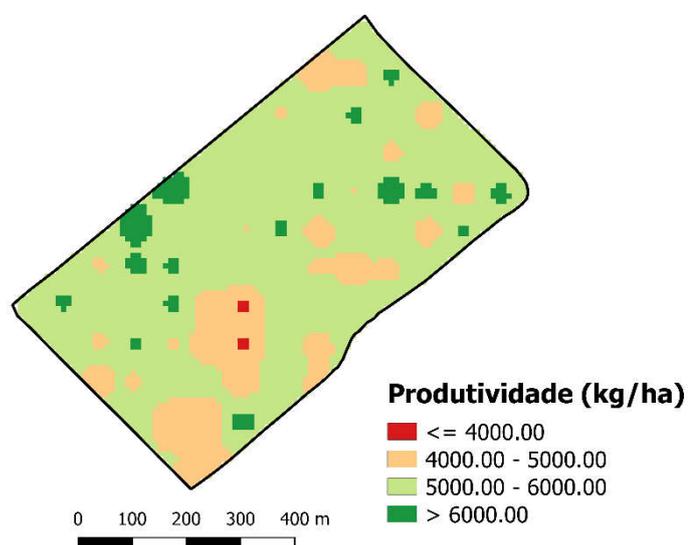


FIGURA 23. Mapa de produtividade de grãos de milho do talhão Sede.

A produtividade variou com uma diferença de 3.379,22 kg ha<sup>-1</sup>, o que é grande para uma pequena área, onde a variação vista em outros fatores estudados foram

menores. Assim, alguns fatores, como a estiagem no início do ciclo e as geadas ocorridas no final do ciclo, podem ter contribuído para essa grande variação.

O mapa de produtividade é tido como o resultado da variabilidade total área, ou seja, de toda a variação dos parâmetros intrínsecos do solo e também daqueles vinculados aos índices agronômicos (MOLIN et al., 2015).

Como vistos em alguns mapas a estiagem durante períodos críticos, como nos estágios iniciais, V4 ao V8, contribuíram para a variação do talhão estudado. Segundo Silva et al. (2009), o déficit hídrico é um dos fatores mais impactantes na produção da cultura do milho, principalmente onde esse estresse estende-se por um longo período.

Há uma alta demanda de água exigida por essa cultura, principalmente nos estágios de emergência, antese e formação dos grãos, podendo ser prejudicial o excesso ou escassez (SILVA, 2019).

Um dos principais fatores que amenizam as perdas de produção na cultura do milho relacionado ao estresse hídrico é a utilização de genótipos adaptados a seca, que são separados através de simulação de condições de estresse osmótico e condições de laboratório (ALVES et al. 2018).

#### **4.3 Análise de correlações**

Quando se analisa a qualidade de semeadura observa-se que quando maior o estande de plantas maior será a produtividade de grãos (Quadro 8). O fator espaçamento duplo não foi significativo com produtividade de grãos.

Segundo Nascimento et al. (2014), quando se observa as correlações positivas entre características morfológicas da planta ou características produtivas, estas podem ser benéficas ou malélicas por essas causas de variação.

Ao analisar os demais atributos, somente a altura de planta no estágio V3 do milho não foi significativo com a produtividade. A altura de planta no estágio R6, AIPE, comprimento de espiga, massa de mil grãos, e número de fileiras de espiga tiveram correlações fracas positivas. Diâmetro do colmo obteve uma correlação moderada positiva. Número de grãos por fileiras, número de grãos por espiga e massa da espiga apresentaram uma correlação forte positiva, assim pode-se concluir que esses fatores quanto maiores forem, maior será a produtividade de grãos de milho segunda safra.

QUADRO 8. Coeficiente de correlação de Pearson entre os componentes de produção e a produtividade de grãos

Fator	Correlação	Classificação <sup>(1)</sup>
Qualidade de semeadura		
Falho	-0,2968**	Fraca Negativa
Duplo	0,0648 <sup>NS</sup>	
Normal	0,2237*	Fraca Positiva
Estande	0,4704**	Moderada Positiva
Características agrônômicas		
ALTV3	0,0753 <sup>NS</sup>	
ALTR6	0,2974**	Fraca Positiva
DIACOLMO	0,3051**	Moderada Positiva
AIPE	0,2436*	Fraca Positiva
COMESPIG	0,2367*	Fraca Positiva
MMG	0,2624**	Fraca Positiva
NRGRÃOSFIL	0,6861**	Forte Positiva
NRFILESP	0,2786**	Fraca Positiva
NRGRÃOS	0,7161**	Forte Positiva
MASSAESP	0,8302**	Forte Positiva

ALTV3: Altura de planta no estágio fenológico V3; ALTR6: Altura de planta no estágio fenológico R6; DIACOLMO: Diâmetro do Colmo; AIPE: Altura de Inserção da Primeira Espiga; COMESPIG: Comprimento de Espiga; MMG: Massa de Mil Grãos; NRGRÃOSFIL: Número de Grãos por Fileiras; NRFILESP: Número de Fileiras por Espiga; NRGRÃOS: Número de Grãos por Espiga; MASSAESP: Massa da Espiga. \*\*Significativo a 1% de probabilidade. \*Significativo a 5% de probabilidade. (NS) Não Significativo. Classificação segundo CALLEGARI-JACQUES (2009).

CHAVES et al. (2018) identificaram que há uma correlação entre número de grãos por espiga e massa de grãos por espiga, indicando que quanto maior o número de grãos por espiga, maior será a massa de grãos por espiga, o que corrobora com os dados desse trabalho, como também a massa da espiga.

A correlação entre altura de planta, AIPE, que são considerados fator morfológico, e índices produtivos como número de fileiras por espiga, massa de grãos por espiga e número de grãos por fileira, na sua grande maioria são correlações significativas, portanto pode-se atribuir isto a uma maior uniformidade das plantas no campo (SOUZA et al., 2014; CHAVES et al., 2018).

## 5 CONCLUSÕES

O estande de plantas foi o indicador de qualidade de semeadura que demonstrou correlação aceitável com produtividade de grãos de milho, enquanto o erro na distribuição de plantas na área esteve abaixo daquele que prejudica a produção.

A altura de planta no estágio fenológico R6, comprimento de espiga, diâmetro do colmo, altura de inserção da primeira espiga, umidade, número de grãos por fileiras ajustaram-se a modelos matemáticos que explicam a suas variabilidades na área.

A distribuição dos espaçamentos falhos, duplos e normais, estande de plantas, altura de planta estágio fenológico V3, massa de mil grãos, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos e massa por espiga não apresentaram variabilidade espacial detectável na área.

Os índices de vegetação (NDVI e NDRE) não tiveram seus valores variados na área, demonstrando que nos dias das leituras da lavoura não houve detecção de déficit hídrico, danos de pragas, falta de captação de nitrogênio ou demanda de fertilizantes. que prejudicasse a produtividade.

O número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa da espiga, demonstram correlação forte com produtividade de grãos de milho, quando colhidas no estágio R6.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. C. O.; THUROW, L. B.; MAXIMINO, J. V. O.; GARCIA, S.C.; MALTZAHN, L. E., OLIVEIRA, A.C. Desempenho de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) em condição de déficit hídrico durante a germinação. XXVII Congresso de Iniciação Científica, **Anais...**, UFPEL, Pelotas, PR, 2018. Disponível em: [https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA\\_01164.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2018/CA_01164.pdf). Acesso em: 29 abr. 2022.
- ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, M. V. A. Drone aplicado na agricultura digital. **Ipê Agronomic Journal**, v.3, n.1, p.14-18, 2019.
- ARCOVERDE, S. N. S.; DE SOUZA, C. M. A.; CORTEZ, J. W.; GUAZINA, R. A.; MACIAK, P. A. G. Qualidade do processo de semeadura da cultura do milho de segunda safra. **Engenharia na Agricultura**, v.24, n.5, p.383-392, 2017.  
<http://doi.org/10.13083/reveng.v24i5.709>
- ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A. de; CORTEZ, J. W.; MACIAK, P. A. G.; NAGAHAMA, H. de J. Qualidade e variabilidade espacial na semeadura do milho de segunda safra. **Energia na Agricultura**, v.32, n.4, p.386-392, 2017.  
<http://doi.org/10.17224/EnergAgric.2017v32n4p386-392>
- BENTO, M.P.F. Análise da variabilidade espacial e temporal da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas para fertilização da vinha com apoio da Tecnologia a Taxa Variável (VRT). Lisboa: **ISA**, 2018, 116 p.
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, p.21-23, 2014.
- BOLTON, D. K.; M. A. FRIEDL. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.173, p.74-84, 2013.
- BRASIL. **Agricultura de precisão**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 31p. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/agric\\_precisao.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/agric_precisao.pdf)>
- BRASIL. **Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm)>
- BRASIL. **Regras para Análise de Sementes (RAS)**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. Artmed Editora, 2009.

- CHAVES NETO, J. R.; BOSCAINI, R.; GUERRA, R. C.; LEDUR, N. R.; TRAVESSINI, M.; COSTA., I. F. D. Correlação entre os componentes morfológicos e produtivos do milho em função do sistema de semeadura e do uso da irrigação. **REVISTA BIOCÊNCIAS (TAUBATÉ)**, v. 24, p. 48-59, 2018.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v.9 - safra 2021/2022 - N. 7 – Sétimo levantamento**, Brasília, p.1-94, abril 2022.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v.7 - safra 2019/2020 - N. 12 – Décimo Segundo levantamento**, Brasília, p.1-33, setembro 2020.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Decimo levantamento, julho/2021**. CONAB, 2021. <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: agosto de 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Decimo segundo levantamento, setembro/2021**. CONAB, 2021. <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: Setembro de 2021.
- CÓRDOBA, M. A.; BRUNO, C. I.; COSTA, J. L.; PERALTA, N. R., BALZARINI, M. G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, v.143, p. 95-107, 2016.
- COSTA, C.; DWYER, L. M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D. W.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p.1173-1194, 2001.
- DA COSTA, F.A.; BITTAR, D. Y.; SILVA, E. R. Características morfológicas na cultura do milho adubado com nitrogênio em diferentes estádios fenológicos. **Ipê Agronomic Journal**, v.2, n.1, p. 04-13, 2018.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412p.
- ESA – European Space Agency. **Sentinel-2 User Handbook**. ESA Standard Document. 2015. Disponível em: [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook). Acesso em: 13 de novembro de 2021.
- FITZGERALD, G.J.; RODRIGUEZ, D.; CHRISTENSEN, L. K.; BELFORD, R.; SADRAS, V. O.; CLARKE, T. R. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. **Precision Agriculture**, v. 7, n. 4, p. 233-248, 2006. <http://doi.org/10.1007/s11119-006-9011-z>
- GUIA CLIMA – EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Base de dados desde 01/06/1979 – Guia Clima**. Disponível em:

- [https://clima.cpa.br/?lc=site/banco-dados/base\\_dados](https://clima.cpa.br/?lc=site/banco-dados/base_dados). Acesso em: 24 de outubro de 2021.
- HENRIQUES, H. J. R.; SCHWAMBACH, D. A.; FERNANDES, V. J. M.; CORTEZ, J. W. Vegetation indices and their correlation with second-crop corn grain yield in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.20, p.13, 2021.
- KAPPES, C. ANDRADE, J. A. C, AFR, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de planta. **Bragantia**, v.70, n.2, p.333-334, 2011.
- KESTRING, F.B.F; GUEDES, L.P.C.; De BASTIANI, F.; URIBE-OPAZO, M.A. Comparação de mapas temáticos de diferentes grades amostrais para a produtividade da soja. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.4, p.733-743, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p733-743/2015>
- KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. D.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento e dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v.48, n.2, p.249-262, 1989.
- LEITNER, C. P. S.; ALVES FILHO, A. G. Applying the operations strategy construct to rural grain-producing enterprises: a theoretical framework. **Gestão & Produção**, v.26, n.1, 2019.
- LYLE, G.; BRYAN, B. A.; OSTENDORF, B. Post-processing methods to eliminate erroneous grain yield measurements: review and directions for future development. **Precision agriculture**, v.15, n.4, p.377-402, 2014.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, v.66, 1974, 399-402p.
- MIQUELONI, D.P.; GIANELLO, E.M.; BUENO, C.R.P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.1, p.18-28, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4528029>
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. In: MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: O Autor, 2011.
- MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agrícola**, v.65, p.567-573, 2008.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R. do; COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**, 2015.
- MOTTA, J.L.G.; WATZLAWICK, L.F. **A importância do geoprocessamento no planejamento rural**. Paraná: Mundo GEO, 2000. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2000/02/02/a-importancia-do-geoprocessamento-no-planejamento-rural>>. Acesso em: 30 set. 2020.

- NASCIMENTO, F.M.; BICUDO, S. J.; RODRIGUES, J. G. L., FURTADO, M. B., CAMPOS, S. Produtividade de genótipos de milho em resposta à época de semeadura. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p.193-201, 2011.
- NASCIMENTO, R. S.; CARDOSO, J. A.; COCOZZA, F. D. Caracterização física e físico-química de frutos de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.856-860, 2014.
- PEREIRA, C. S.; ZANETTI, V. H.; WIEST, G.; SCHOFFEN, M. E.; FIORINI, I. V. A. Desempenho produtivo de híbridos de milho na segunda safra no norte de Mato Grosso. **Tecno-Lógica**, v.24, n.2, p.160-165, 2020.
- PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v.67, p. 1-85, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
- PINOTTI, E. B.; BICUDO, S. J.; FERREIRA, M. C.; MONTEIRO, Á. A. Índice de espigas de dois híbridos de milho em quatro populações de plantas e três épocas de semeadura na safrinha. XII Seminário Nacional Milho Safrinha-EMBRAPA, **Anais**, 2013.
- PRESTES JUNIOR, J.V. **Sucessão soja-milho safrinha em função do arranjo de épocas de semeadura e ciclos de maturação da soja**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.
- RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, C. M. A. de; ORLANDO, R. C. Agricultura de Precisión. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v.10, n.3, p.7-10, 2001.
- REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v.17, n.1, p.329-339, 2020. <http://doi.org/10.31510/infa.v17i1.750>
- ROBERT, P. C. Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. **Plant and Soil**, v.247, n.1, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1021171514148>
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; WELL, J.A.; EDEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Goddard Space Flight Center**, v.1, p.309-317, 1973.
- SANA, R.S.; ANGHINONI, I.; BRANDÃO, Z.N.; HOLZSCHUH, M.J. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.994-1002, 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929>
- SILVA, L. Safrinha o solo, lucro à vista na mão. O Brasil agrícola. **A Granja**, Porto Alegre, n.723, p.16-19, mar., 2009.
- SILVA, N. P. da. **Desempenho agrônômico e fisiológico de híbridos de milho cultivados com e sem restrição hídrica**. 2019, 85p. Dissertação (Mestrado) –

- Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2019. Acesso em: 28 abr. 2022. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/204421/1/Paulo-Cesar-dissertacao-Natanael.pdf>.
- SOUZA, C.M.A. de; BOTTEGA, E.L.; VILELA, F.V.; RAFULL, L.Z.L.; QUEIROZ, D.M. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p.201-208, 2010. <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.3240>
- SOUZA, C. M. A. de; CANTEIRO, N. O.; COARESMA, M. O.; ARCOVERDE, S.N.S.; MACIAK, P. A. G. Performance of a planter-fertiliser under reduced soil preparation: furrowers, speeds and depths when sowing maize. **Revista Ciência Agronômica**, v.53, p. e20207476, 2022. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/7476/2064>
- SOUZA, C. M. A. de; RAFULL, L. Z. L.; ARCOVERDE, S. N. S.; BOTTEGA, E. L.; ORLANDO, R. C. Desempenho de semeadora-adubadora de milho de segunda safra em semeadura direta. **Agrarian**, v.12, p.346-353, 2019. <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/7965/5343>
- SOUZA, T. V.; RIBEIRO, C. M.; SCALON, J. D.; GUEDES, F. L. Relações entre componentes de rendimento e características morfológicas de milho. **Magistra**, v. 26, n. 4, p. 495-506, 2014.
- TOURINO, M. C. C.; KLINGENSTEINER, P. Ensaio e avaliação de semeadoras-adubadoras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - SBEA, 13., 1983, Rio de Janeiro. **Anais...**, Seropédica, Brasil, 1983.
- TRENTIN, R. **Estimativa de um índice de estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar com base na temperatura foliar**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p.464-471, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150539>.
- WILDING, L.P.; DRESS L.R. Spatial variability and pedology. In L.P. WILDING, N. SMECK.; HALL G.F. (ds.). **Pedogenesis and Soil Taxonomy**. Wageningen. Netherlands. p. 83-116, 1983.
- YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2015.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. 114, 2001.