



EDUARDO HENRIQUE ARANTES TERRA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE NA SEMEADURA E SEUS EFEITOS NA
PRODUTIVIDADE DE MILHO NO SUL DE MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2023

EDUARDO HENRIQUE ARANTES TERRA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE NA SEMEADURA E SEUS EFEITOS NA
PRODUTIVIDADE DE MILHO NO SUL DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos

Orientador

Octávio Pereira Costa

Coorientador

LAVRAS - MG

2023

EDUARDO HENRIQUE ARANTES TERRA

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE NA SEMEADURA E SEUS EFEITOS NA
PRODUTIVIDADE DE MILHO NO SUL DE MINAS GERAIS**

**ANALYSIS OF SEEDING VARIABILITY AND ITS EFFECTS ON CORN
PRODUCTIVITY IN THE SOUTH OF MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para
obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 18 de julho de 2023.
Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos – DAG/UFLA
Jéssica Elaine Silva – DAG/UFLA
Venicius Urbano Vilela Reis – DAG/UFLA

Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos
Orientador
Octávio Pereira Costa
Coorientador

LAVRAS - MG

2023

Dedico este trabalho à toda minha família e amigos, em especial minha mãe Renata Terra, meu Pai Adimir Arantes, meu irmão Caio Cesar Arantes Terra, e a minha noiva Isabelly Kelen Andrade de Carvalho, por todo apoio durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora do Carmo, por ter me presenteado com o dom do aprendizado, e por iluminar meus caminhos durante toda minha graduação. Agradeço também a toda minha família, em especial minha mãe Renata Terra, meu pai Adimir Arantes, e ao meu irmão Caio Cesar Arantes Terra, por desde minha infância proporcionar todo o suporte e apoio para seguir em busca dos meus sonhos e objetivos.

Faço um agradecimento em especial a minha noiva Isabelly Kelen Andrade de Carvalho, que esteve comigo na Engenharia Agrícola por alguns anos, e foi fundamental para meu desenvolvimento e crescimento como pessoa durante todos esses anos, sendo meu porto seguro e minha inspiração, dando força em meus estudos, e dividindo as alegrias e comemorações em cada conquista durante minha graduação.

Agradeço também a todos meus amigos e colegas que estiveram comigo durante a minha graduação, em especial a turma de 2017/2 da Engenharia Agrícola – UFLA. Agradeço também aos Grupos de Estudos aos quais participei e a todos membros e amigos que pude fazer neles, os quais me trouxeram grande bagagem e aprendizados teóricos e práticos além daquilo visto em sala de aula, sendo eles O Grupo de Estudos em Milho e Sorgo (G-MILHO), o Grupo de Estudos em Máquinas e Mecanização Agrícola, e o Grupo de Extensão e Pesquisa em Agricultura Digital (GEPAD), o qual também agradeço ao Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos, tutor do grupo e meu orientador, por todos os ensinamentos e pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, faço mais alguns agradecimentos, sendo eles a Fazenda Mato Verde, em especial ao Adriano Junqueira, por disponibilizar os dados a quais foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a minha psicóloga Paula Barbosa, o qual me ajudou a colocara cabeça no lugar em muitos momentos para seguir focado em meus objetivos. E a todos os colegas, colaboradores e entidades, em especial aos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFLA, que de alguma forma contribuíram com minha formação, fica minha gratidão.

Muito Obrigado!

RESUMO

O uso de tecnologia está cada vez mais presente no campo, em operações de semeadura essas tecnologias auxiliam durante a produção, e através da telemetria as máquinas agrícolas realizam a coleta e o compartilhamento de dados e informações gerados em campo, que podem ser acessados remotamente como forma de realizar o monitoramento das operações realizadas. A operação de semeadura é uma das etapas mais importante na implementação de uma lavoura podendo afetar diretamente na produtividade final, um dos fatores que podem influenciar é a densidade de plantas, onde para cultura existe uma taxa ideal para atingir o máximo rendimento de uma lavoura. Este trabalho tem como a utilização de mapas de semeadura e colheita para investigar a variabilidade na produção de milho em uma lavoura da Fazenda Mato Verde, em Luminárias – MG, investigando se existe a relação entre a densidade de plantas e a produtividade através das análises de mapas de semeadura e colheita. Para realização do tratamento desses dados serão utilizados softwares como o Qgis, Map Filter, GeoDa e JMP. Dessa forma, podemos verificar a variabilidade espacial utilizada na semeadura onde a taxa aplicada variou de 68.172 (sem/ha) até 77.863 (sem/ha), com média de 75.447 (sem/ha), e a variabilidade espacial encontrada na produtividade foi de 125 (sc/ha) até 183 (sc/ha), com produtividade média de 154 (sc/ha), onde realizando as devidas comparações, que a variação da densidade plantas impacta diretamente na produtividade até atingir certo ponto, onde maiores populações de plantas por hectare pode causar percas na produtividade final da lavoura.

Palavras Chaves: Densidade de Plantas; Produtividade; Agricultura de Precisão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Componentes de um monitor de produtividade (A) Sensor de umidade (B) Sensor de fluxo de grãos (C) Receptor GNSS (D) Computador de bordo (E) Sensor de levante de plataforma (F) Sensor de Velocidade	21
Figura 2 - Sensor de produtividade volumétrico	22
Figura 3 - Sensor de produtividade radiométrico.	22
Figura 4 - Sensor de produtividade por placa de impacto.	22
Figura 5 - Talhão C14, Fazenda Mato Verde	25
Figura 6 - Operação de Semeadura de Milho no Talhão C14, 02/10/2022	26
Figura 7 - Dados de colheita filtrados pelo Map Filter.....	27
Figura 8 - Semivariograma e validação cruzada Semeadura.....	29
Figura 9 - Semivariograma e Validação Cruzada Colheita	29
Figura 10 - Mapa de Variabilidade Espacial da Semeadura.....	31
Figura 11 - Mapa de Variabilidade Espacial de Produtividade	32
Figura 12 - Comparação dos Mapas de Semeadura e Produtividade	33
Figura 13 – Mapas de Agrupamento e Significância pelo Índice de Moran	34
Figura 14 - Carta de Controle IMR da População de Plantas.....	35
Figura 15 - Carta de Controle IMR da Produtividade	36

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	10
2.	Referencial Teórico	11
2.1.	Introdução a cultura do milho.....	11
2.1.1.	Características Gerais	11
2.1.2.	Importância Econômica	11
2.1.3.	Práticas Agrícolas na Cultura do Milho.....	12
2.2.	Importância da semeadura para produções agrícolas	13
2.2.1.	Tipos de Máquinas utilizadas na semeadura.....	13
2.2.2.	Plantabilidade.....	14
2.2.3.	Densidade de Semeadura do Milho	15
2.2.4.	Semeadura de Precisão	16
2.3.	Uso de tecnologia na Agricultura	17
2.3.1.	Agricultura de Precisão: Conceito, Histórico e avanço	17
2.3.2.	Ferramentas e Tecnologias na Agricultura de Precisão.....	18
2.3.3.	Mapas de Variabilidade Espacial.....	23
2.3.4.	Análise de Dados e Controle Estatístico.....	24
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1.	Área de Estudo	25
3.2.	Cultura e equipamentos utilizados.....	25
3.3.	Filtragem de Dados.....	26
3.4.	Interpolação dos mapas de variabilidade.....	27
3.5.	Ferramentas Estatísticas	29
4.	Resultados e Discussão.....	31
4.1.	Mapas de semeadura.....	31
4.2.	Mapas de produtividade.....	32
4.3.	Comparação: semeadura x Produtividade	33

4.4.	Carta de controle.....	34
5.	Conclusão	37
6.	Referências bibliográficas	38

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho é uma das mais produzidas no Brasil e no mundo, devido a sua capacidade de adaptação, sua produção ultrapassa a marca de 1 bilhão de toneladas, sendo o Brasil o terceiro maior produtor desse tipo de grão (SILVA et al., 2020). A produção de milho é uma das mais tradicionais em Minas Gerais, sendo a região do Sul de Minas um das que mais realiza o plantio do grão, estando em uma evolução crescente, alcançando bons rendimentos agrícolas, mas ainda existem alguns fatores que podem dificultar a produção das lavouras como mudanças climáticas, solo, pragas, doenças, qualidade da semente e a falta de manejo adequados.

A tecnificação das operações é uma forma de superar os desafios encontrados no campo, a semeadura é uma das operações mais importante para implementação e sucesso de uma lavoura, a qual será definido por alguns fatores como escolha da semente, espaçamento entre plantas, profundidade de semeadura e a população de plantas ideal, influenciando diretamente na colheita e no resultado final da produção da cultura, onde sendo feito com qualidade a lavoura apresentará grandes produtividades (MIRANDA et al, 2019).

Uma das formas de analisar a qualidade das operações agrícolas é com uso de tecnologias no campo, sendo a agricultura de precisão umas das técnicas utilizadas em campo para o gerenciamento da variabilidade agrícola das lavouras. A agricultura de precisão faz o uso de ferramentas que auxiliam no monitoramento de lavouras, gerando diferentes tipos de informações e dados a quais podem ser utilizados métodos de controle estatísticos para análise e entendimento das causas da variabilidade (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

Dessa forma, este trabalho visa realizar a análise da variabilidade na semeadura e seus efeitos na produtividade de milho no sul de minas, com objetivo de utilizar mapas de semeadura e de produtividade para conhecer a variabilidade de uma lavoura de milho e os efeitos que a mudança na população de plantas podem causar na produtividade final da lavoura, sendo utilizado das informações geradas por sensores instalados nas máquinas durante as operações agrícolas, do uso de softwares SIG's e ferramentas estatísticas, para análise e tratamento dos dados. Dessa forma foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Verificar a variabilidade espacial utilizada na semeadura a partir da taxa aplicada x taxa alvo de sementes por hectare.
2. Investigar os efeitos da densidade de plantas na semeadura e sua relação a produtividade do milho.
3. Definir os limites da variação da densidade de plantas de forma que não afete a produtividade do milho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INTRODUÇÃO A CULTURA DO MILHO

2.1.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

O milho (*Zea mays* L.) é umas principais culturas agrícolas produzidas no Brasil, pertencente a família das gramíneas, é uma planta herbácea e anual, onde completa seu ciclo de desenvolvimento em torno de cinco meses (DA SILVA et al., 2021). O cultivo de milho no Brasil pode ocorrer em diferentes períodos, sendo principalmente produzido ou na safra verão ou o milho de segunda safra, a qual é principal época de produção do grão, devido principalmente a expansão da soja nas regiões produtoras de milho, as quais podem fazer com que ocorram condições pouco favoráveis ao desenvolvimento pleno da cultura (SILVA et al., 2020).

A planta do milho possui algumas características gerais como, caule do tipo colmo, com nós e entrenós, folhas largas, lisas e compridas, distribuídas de forma alternada, sistema radicular fasciculado podendo atingir de 1,5 metros a 3,0 metros de profundidade, com raízes adventícias, que auxiliam na fixação e absorção de nutrientes da planta. (DA SILVA et al., 2021).

A partir do melhoramento genético, vem se desenvolvendo novos híbridos de milhos, com maior potencial produtivo, ciclo variados, arquitetura mais ereta e portes baixos (DA SILVA et al, 2021). Sendo assim, nota-se uma tendencia dos produtores em optar pelo uso de sementes de milho modificadas geneticamente, principalmente para o controle de pragas, como exemplo a tecnologia Bt, a qual revolucionou a produção desse grão, fazendo com que em 2011 cerca de 80% da área de cultivo de milho segunda safra no Brasil passasse a utilizar essa tecnologia (SILVA et al, 2020).

Para o milho atingir seu máximo potencial produtivo, é preciso se atentar a alguns requisitos, como o clima, no qual a faixa de temperatura máxima deve ser entre 25 a 30°C, e as mínimas entre 15 a 18°C. Além disso, é importante de que a região tenha uma boa distribuição pluviométrica, nas fases de maior necessidade da planta. De acordo com as necessidades da área, devem ser feitas correções e adubações, controle de plantas daninhas, pragas e doenças (SILVA,2020).

2.1.2. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A importância econômica do milho, se deve ao fato do cereal ser um dos mais produzidos e consumidos no mundo, onde sua grande versatilidade foi essencial para a ampla disseminação de cultivo em todo o mundo. A planta de milho possui, alta capacidade de

adaptação a diferentes ambientes e seus produtos gerados podem, ser destinados tanto para alimentação humana, quanto alimentação animal, como grão, silagem, rações, farinhas, entre outros, tendo grande valor nutricional, (PINHEIRO et al, 2021).

O uso do milho para a alimentação animal representa maior parte do destino final desse produto, cerca de 70% do mundo consome esse produto para estes fins, sendo nos Estados Unidos 50% do que é produzido destinado a alimentação animal, e no Brasil pode variar de 60 a 80%. Mesmo, em menores quantidade, o milho ainda apresenta bastante uso na alimentação humana, principalmente em regiões de baixas rendas.

Devido esses fatores, o milho alcançou o título de maior cultura agrícola do mundo, ultrapassando a marca de 1 bilhão de toneladas. Os líderes mundiais de produção de milho são os Estados Unidos, seguido pela China, tendo o Brasil na terceira colocação do ranking mundial de produção do grão, além de ser o quarto maior consumidor de milho, com 60,5 milhões de toneladas (PINHEIRO et al, 2021).

O Brasil é um país que tem destaque no cenário internacional, além de ser um grande produtor, é o quarto maior consumidor de milho, e atualmente é líder mundial de exportação nesse setor, tendo também como expectativa a exportação de 46 e 47 milhões de toneladas de milho em 2023. Segundo o boletim de safra da 2022/2023 da CONAB, o Brasil teve uma área total de 22.972,9 mil hectares produzidos de milho, representando uma produção total de 124.879,7 mil toneladas, com uma produtividade média de 5634 kg/ha, aproximadamente 95 sacas por hectares.

2.1.3. PRÁTICAS AGRÍCOLAS NA CULTURA DO MILHO

A produção de milho é composta por diversas etapas e operações, como as de preparo de solo, semeadura, tratamentos culturais, colheita e pós-colheita, práticas essas que precisam ser bem feitas afim de garantir um bom desenvolvimento da cultura (SANTANA JUNIOR, 2021).

O preparo de solo pode ser realizado com uso de arados, grades pesadas e grades niveladoras, operações que proporcionam o revolvimento do solo visando o nivelamento e destorroamento do solo, antes da semeadura, etapas comuns no plantio convencional. Em regiões onde o plantio direto já está consolidado, o preparo do solo está entrando em desuso, onde as operações focam principalmente na semeadura sobre a palhada da última colheita. Um fator de extrema importância a ser realizado é uma análise do solo para identificação dos fatores limitantes que possam causar prejuízos a lavoura, além de servirem como base para correções de acidez e faltas de nutrientes através de cálculos de recomendações agrícolas (MIRANDA et al, 2019).

A semeadura é uma das etapas mais importantes, pois nela vai se definir todas as situações para o sucesso da lavoura. Desde a escolha da semente, tipo de cultivar, espaçamento entre plantas, densidade de plantas, sentido de plantio, profundidade que serão alocadas as sementes, época de semeadura, podendo ser implementada na primeira safra que ocorre entre os meses de outubro e novembro, ou segunda safra que ocorre entre os meses de janeiro a março (Miranda et al, 2019).

Os tratos culturais são realizados para que possam garantir que as plantas possam atingir seu potencial produtivo e facilitar a colheita, podendo nessa etapa tratar de problemas como controles das plantas daninhas, pragas e doenças ocorrentes na cultura do milho. Operações para o controle de plantas daninhas podem ocorrer 20 a 60 dias após a emergência das plantas, sendo utilizados herbicidas de pré ou pós emergência. Para o controle e prevenção de pragas e doenças é preciso fazer algumas práticas como uso de sementes de boa qualidade, tratadas com fungicidas, cultivares resistentes e o controle químico (MIRANDA et al, 2019).

A colheita é a etapa que conhecemos o resultado de todas as outras práticas, onde se foram feitas com qualidade apresentará grandes resultados. Essa etapa pode ocorrer entre 125 e 160 dias após a emergência, dependendo do ciclo da cultivar e da época de semeadura, ressaltando que a colheita deve ser realizada quando o grão atinge sua maturação fisiológica, e apresentar com no máximo 16% de umidade. A colheita pode ser realizada de diferentes formas, como a colheita manual em lavouras menores, ou com colhedoras mecânicas que podem ser acopladas em tratores, ou automotrizas, apresentando diversas tecnologias embarcadas afim de alcançar alto rendimento, qualidade do produtor colhido e eficiência no tempo de colheita (Santana Junior, 2021).

2.2. IMPORTÂNCIA DA SEMEADURA PARA PRODUÇÕES AGRÍCOLAS

2.2.1. TIPOS DE MÁQUINAS UTILIZADAS NA SEMEADURA

As operações de semeadura são realizadas por semeadoras, máquinas que tem como objetivo depositar as sementes no solo, de forma a promover condições para sua germinação, emergência e desenvolvimento das plantas. As semeadoras podem ser classificadas de acordo com o tipo de distribuição de sementes, podendo ser de precisão ou fluxo contínuo (CASÃO JUNIOR, SIQUEIRA, 2006).

As semeadoras de precisão são máquinas que tem como características distribuir sementes espaçadas a distâncias homogêneas no sulco de semeadura, utilizando de mecanismos dosadores. Esse tipo de semeadoras é utilizado principalmente para cultivar sementes graúdas, como por exemplo milho, soja, feijão, sorgo e algodão. As semeadoras de fluxo contínuo, tem

como característica a distribuição de sementes em grandes quantidades no sulco de semeadura, sem depositar elas com precisão ou espaçamentos homogêneos entre as sementes, utilizadas principalmente para plantio de sementes miúdas como por exemplo trigo, aveia, centeio, milho, entre outras (CASÃO JUNIOR, SIQUEIRA, 2006).

Para o funcionamento das semeadoras de precisão, ela deve desempenhar algumas funções como corte da palhada sobre o solo, abrir o sulco para depósito das sementes, depositar e dosar as sementes e em casos de semeadoras e adubadoras realizar o depósito na dosagem correta de fertilizantes, na posição e profundidade correta e realizar o fechamento e compactação do sulco de semeadura, de forma que possam absorver água durante seu processo de germinação e emergência. As semeadoras de precisão para cumprir suas funções, ela deve possuir um conjunto de sistemas e componentes, esses sistemas, podemos destacar o sistema de dosagem, onde temos como componente principal o mecanismo dosador de sementes, que fica responsável pela distribuição das sementes nas linhas de semeadura com precisão no espaçamento predeterminado entre linhas e entre sementes (CASÃO JUNIOR, SIQUEIRA, 2006).

A dosagem das sementes pode ser feita em dois tipos de sistemas diferentes, sendo eles o sistema dosador mecânico, que é composto de disco horizontais perfurados, onde as sementes são depositadas no disco e conduzidas até o solo de acordo com a velocidade trabalho do conjunto trator e semeadora, devido a isso esse tipo de sistema podem ocasionar falhas na uniformidade da distribuição das sementes. O segundo tipo é o sistema dosador pneumático, que funcionam através de uma corrente de ar que geram uma sucção nas sementes, deixando-as presas nas aberturas do disco dosador, evitando assim danos as sementes e ajudando a ter uma maior uniformidade na distribuição das sementes, possibilitando maiores velocidades de trabalho, podendo ser realizada a semeadura em velocidades de 6 à 8 km/h. (OLIVEIRA et al, 2019).

2.2.2. PLANTABILIDADE

O conceito de plantabilidade está relacionado com a semeadura, onde o Paulo Arbex Silva (2022) define como “a capacidade de distribuir sementes no sulco de plantio de modo uniforme, com a máxima equidistância possível e na profundidade adequada, com o objetivo de atingir o estande desejado de plantas”. Sendo assim, para se obter uma boa plantabilidade é preciso de uma boa distribuição longitudinal das sementes no campo, fator esse que contribuem para a obtenção de um estande adequado de plantas (SILVA, 2022).

A etapa da semeadura do milho é uma das mais importantes, pois nela estão cerca de 70% dos custos de produção e é a qual mais utilizam de tecnologias no campo. A importância da semeadura deve também ao fato que não tem como corrigir, por isso erros na semeadura devem ser evitados, por exemplo no milho, cada falha de semente depositada faz com que ocorra perdas de aproximadamente 200 g de grãos (SILVA,2022).

A ocorrência de uma má plantabilidade durante as operações de semeadura, podem ocasionar a deposição desuniforme das sementes, que podem causar plantas duplas ou falhas. Plantas duplas são aquelas que estão localizadas com menos de 50% do espaçamento entre sementes, o que pode ocasionar em uma maior competição entre as plantas, já as falhas são consideradas quando é encontrado espaçamento entre sementes 50% maior do que o desejado, que ocasiona além da diminuição do estande de plantas, espaço para o surgimento de plantas daninhas (Ribeiro, 2021).

Existem alguns fatores que podem influenciar para se obter uma boa plantabilidade, efeitos esses que causam prejuízos no estabelecimento do estande plantas adequadas, como por exemplo, uniformidade de tamanho das sementes, profundidade de deposição das sementes, velocidade de deslocamento da máquina, quantidade de sementes depositados no sol e distância entre as sementes na linha de semeadura (Silva, 2022). É importante conhecer esses fatores, para se atentar e não ocorrer erros, onde uma semeadura com distribuição das sementes adequadas tem algumas vantagens como a diminuição de plantas daninhas, maior incidência de luz nas plantas, maior disponibilidade de nutrientes para absorve e um melhor estande de plantas (Ribeiro, 2021).

2.2.3. DENSIDADE DE SEMEADURA DO MILHO

A densidade de plantas na semeadura do milho, também conhecido como estande de plantas, é definido pelo número de plantas dividido por unidade de área, por exemplo plantas por hectares, sendo um fator de extrema importância que relaciona diretamente com o rendimento de uma lavoura de milho, onde para cada sistema de produção, existe uma população que maximiza o rendimento de grãos (CRUZ et al., 2021).

O milho é a gramínea mais sensível as variações na densidade de plantas, pois seus mecanismos de compensação de espaço por perfilhamento ou florescimento, são bastante restritos e se reduzem a alterações no tamanho da espiga e na quantidade de espigas por planta, de forma que variação de 10.000 a 15.000 plantas por hectares podem resultar em grande diferença na produtividade final de grãos (CRUZ, 2011).

A população ideal visando maximizar a produção de uma lavoura de milho varia de 30.000 a 90.000 plantas por hectare, fator que varia de acordo com a disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura, espaçamento entre linhas e o próprio genótipo como principal determinante da densidade de planta (CRUZ et al., 2021).

A produtividade das lavouras de milho aumenta linearmente de acordo com o aumento da densidade de plantas, até atingir suas condições ideais, após isso o aumento da densidade de plantas será prejudicial ao rendimento da lavoura. Sendo assim, o uso de densidades de plantas acima do adequado podem ocasionar na competição entre plantas por nutrientes, espaço, água e luz, porém a recomendação de densidade populacional varia de acordo com a fertilidade do solo, seleção do híbrido e cultivar, época de semeadura e sistema de plantio (UATE et al., 2015).

2.2.4. SEMEADURA DE PRECISÃO

A semeadura é uma das etapas mais importantes e que necessita de mais investimentos durante a implementação de uma lavoura. Como forma de otimizar essa operação e reduzir custos, tem-se adotado o uso de ferramentas da agricultura de precisão, visando principalmente a redução no uso de insumos e aumento da produtividade. Na semeadura de precisão umas técnicas utilizadas é a semeadura em taxa variável, onde é usado a variabilidade espacial e quantitativa de sementes por hectare, isso se dá pela alta tecnologia embarcada nos equipamentos agrícolas que realizam a variação da taxa de sementes no exato posicionamento longitudinal das sementes nas linhas de plantio, através do uso de sistemas Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e pilotos automáticos durante a semeadura (GOEHL, 2015).

A recomendação de sementes em taxa variável é feita conhecendo alguns fatores como o tipo de cultivo, época de semeadura, variabilidades do solo e as situações gerais da lavoura. Por isso, realizar a semeadura levando em consideração a diversidade do solo e da lavoura é fundamental para aumentar a eficiência produtiva. Para realizar uma semeadura com taxa variável de sementes, é preciso conhecer o potencial produtivo de cada zona de cultivo, definindo como zonas de baixas, médias e altas produtividades. Por exemplo no milho nas zonas de alta produtividade, é indicado aumentar a população de plantas, já nas zonas de baixa produtividade, diminui-se a população de plantas. A definição de uma população de plantas ideal tem sido o maior desafio encontrado para utilização dessas tecnologias durante a semeadura, pois se baseiam em diversos fatores de acordo com a cultura e condições da lavoura. Porém, essas condições, podem ser ajustadas ano a ano de acordo com rendimento produtivo da cultura (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

As semeadoras aptas a realizar plantio em taxa variável são equipadas de controladores, que armazenam as informações do mapa de recomendação, realiza o processamento e leitura dos sensores e envia os sinais para os atuadores. O controle dos mecanismos dosadores, que na maioria dos casos são feitos por engrenagens, para realizar a semeadura de precisão é preciso de sistemas hidráulicos ou elétricos para controlar o discos de horizontal ou vertical das semeadoras, compensando as variações de velocidade de forma a atender as recomendações dos controladores (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

2.3. USO DE TECNOLOGIA NA AGRICULTURA

2.3.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO: CONCEITO, HISTÓRICO E AVANÇO

O uso de tecnologias estão presentes em diversos setores da sociedade, inclusive na agricultura, onde tem como objetivo principal o aumento da produtividade, a redução de custos, otimização das operações em campo e a adoção de práticas sustentáveis. Neste contexto, a agricultura de precisão é uma das técnicas que permitem o uso de tecnologias no campo, resultando em impactos positivos no setor agrícola (ALMEIDA, 2021).

Agricultura de precisão é o conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir o gerenciamento de sistemas agrícolas baseado na variabilidade espacial e temporal das unidades produtivas, tendo seu conceito definido pelo O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como:

Um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e propriedades do solo e das plantas encontradas nas lavouras e visa à otimização do lucro, sustentabilidade e proteção do ambiente. Trata-se de um conjunto de tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento que considere a variabilidade espacial da produção. (BRASIL, 2013).

O início da adoção de práticas de agricultura de precisão foi por volta de 1980, com os primeiros mapas de produtividades gerados na Europa, e as primeiras adubações em taxa variável sendo realizadas no Estados Unidos. Um dos fatores que ajudou na implementação das técnicas de agricultura de precisão foi a liberação do uso civil do Sistema de Posicionamento Global por volta de 1990. No Brasil as primeiras atividades ligadas a agricultura de precisão foram realizadas na década de 90, com a importação de equipamentos agrícolas, principalmente colhedoras equipadas com monitores de produtividade. Já no início dos anos 2000 surgiram as primeiras máquinas brasileiras de aplicação em taxa variável (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

A agricultura de precisão teve avanço no Brasil a partir do uso de barras de luzes, que já eram utilizadas na aviação agrícola e passaram a ser utilizadas em veículos terrestres agrícolas, com os sistemas de direcionamento automático posteriormente (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015). Neste contexto, um estudo realizado principalmente com produtores de milho e soja de diversas regiões do Brasil, mostrou que 79% fazem mapeamento para fins do manejo da fertilidade do solo, e 60% fazem o uso de sistemas de direcionamento automático em suas operações agrícolas, com a expectativa de aumentos de produtividade e redução do custo de produção. (MOLIN, 2017).

A agricultura de precisão não se resume a compra de máquinas e equipamentos agrícolas com tecnologias de ponta, mas sim em um conjunto de ações de gerenciamento, desde a coleta de dados até a aplicação dos insumos, trabalhando dentro de um ciclo, que podem ser divididos em quatro etapas, sendo elas a coleta de dados, processamento de dados, tomada de decisão e aplicação, de forma a gerar novos dados para serem analisados e criar um histórico para a lavoura (DA SILVA, SILVA-MANN, 2020).

2.3.2. FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

A aplicação das técnicas de agricultura de precisão no campo é feita a partir do uso de ferramentas e tecnologias, que podem ser utilizadas em conjuntos ou separadamente de acordo com os objetivos e investimentos realizados. Dentre essas ferramentas podemos destacar algumas como o GNSS, Sistema de Informações Geográficas (SIG), sensores, sensoriamento remoto, monitoramento de colheita, amostragens de atributos de solos, aplicações em taxa variável, telemetria agrícolas e equipamentos como tratores, pulverizadores, colhedoras e drones (SPINELLI, 2021).

O GNSS é uma das principais ferramentas utilizadas, onde é feito a aquisição de sinais por receptores instalados em máquinas agrícolas, tanto para mapeamentos de variabilidade como o georreferenciamento de pontos de análises de solo. O GNSS atualmente é composto por quatro sistemas que fornecem a coordenadas de um ponto, sendo eles o GPS, GLONASS, GALILEO e o COMPASS. (DA SILVA, SILVA-MANN, 2020).

O sensoriamento remoto é a técnica de obtenção de dados de alvos da superfície terrestre sem a necessidade de adentrar a lavoura, podendo ser feito em grandes áreas de forma simples e rápida, sendo feito através de sensores instalados em satélites, aeronaves, e veículos aéreos não tripulados (VANT), também conhecidos como drones. Outros tipos de sensores utilizados na agricultura são os sensores proximais, que tem como objetivo monitorar as lavouras e

auxiliar nas tomadas de decisões. Foram desenvolvidos para obter dados do contato direto com alvos que possibilita o monitoramento em tempo real, podendo ser feito de forma manual ou instalados em máquinas, como por exemplo de coleta de dados do solo e do dossel de plantas (PUSCH, MACHADO, AMARAL, 2019).

O monitoramento de colheita é feito através dos mapas de produtividade, sendo uma informação de extrema importância, que traz o resultado de todo manejo adotado nas lavouras. Esses dados fornecem um ponto inicial para investigação e definição das estratégias de amostragens, que vão identificar os atributos físicos, químicos ou biológicos do solo. Conhecendo as variabilidades que influenciam a lavoura, podem ser feitos mapas de recomendação para aplicações ou semeadura em taxa variável, visando aplicar de forma correta, e com as doses necessárias para otimizar os custos com insumos (PUSCH, MACHADO, AMARAL, 2019).

Os SIG são sistemas computacionais que trabalham com dados georreferenciados utilizando de softwares com o Qgis, ArcGis, entre outros, que realizam o geoprocessamento e a integração dos dados obtidos nas lavouras. Esses dados podem ser do tipo raster, que apresentam pixels com diferentes valores que formam uma imagem, já os dados dos tipos vetoriais que podem ser divididos em pontos, linhas e polígonos. Os softwares do SIG além da visualização de dados permitem a manipulação, e interpolação desses dados, realização de álgebras de mapas e também o processamento digital de imagens (TREVISAN, MOLIN, 2014).

Os dados são importantes ferramentas para aplicar técnicas de agricultura de precisão no campo, principalmente quando desejamos aplicar conceitos da geoestatística para análise dessas informações. Os dados georreferenciados, podem ser obtidos a partir coletas locais, mapas temáticos, imagens de satélite ou fotografias aéreas feitas por drones. Essas informações podem ser obtidas através do uso de sensores, sendo também utilizados algoritmos onde as informações geradas por múltiplos sensores são sintetizados em índices numéricos, que facilitam o entendimento das causas de variabilidade (GREGO, DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014).

A coleta de dados pode acontecer de diferentes maneiras, como por meio de amostragens em campo a partir de número adequado de pontos ou com o uso de imagens de satélites ou fotografias aéreas. A partir das informações obtidas dessa forma, pode-se identificar regiões afetadas, com análises geradas a partir da reflectância das plantas, classificando em níveis de cores, que servem tanto como forma de conhecer a variabilidade da lavoura e como forma de direcionar as amostragens em campo (GREGO, DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014).

Os sensores proximais têm ampla aplicação nas lavouras, pois podem gerar grandes quantidades de dados em alta resolução, realizando medições através do contato direto entre solo e plantas. Quando sincronizado com coordenadas de GPS, em pequenos intervalos de tempo, promovem uma alta densidade de amostras que permite uma representatividade espacial dos atributos analisados e maior precisão nos cálculos. Os sensores mais utilizados na agricultura para obtenção de dados são os sensores de posicionamento que permitem obter a localização precisa no campo assim como atributos topográficos. Como exemplo têm-se GPS, DGPS e RTK, sensores de produtividade que quantificam a produção com relação a área colhida podendo ser por fluxo ou por impacto, sensores de propriedades do solo que quantificam atributos como nutrientes, textura, matéria orgânica, entre outros, e os sensores de cultivo que indicam o grau de desenvolvimento das plantas (GREGO, DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014).

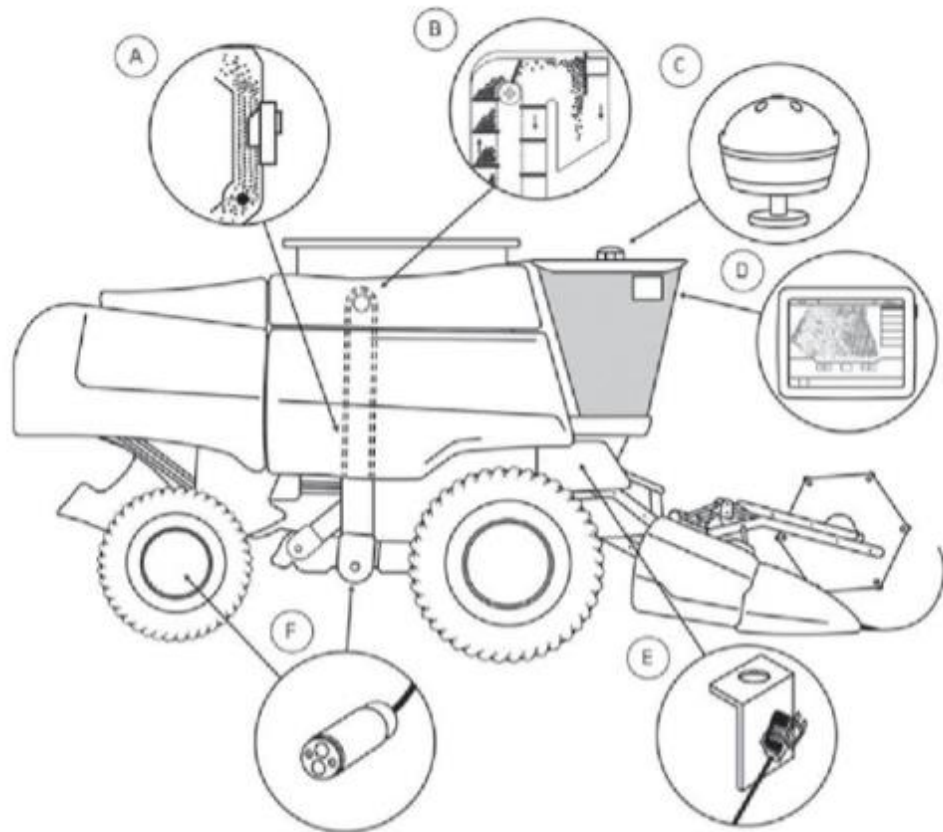
De acordo com o SENAR-GO, a agricultura de precisão na semeadura pode melhorar a qualidade da operação com o uso de sensores nas semeadoras. Esses sensores são responsáveis por controlar os mecanismos dosadores, medir a velocidade, o fluxo de descida de sementes e a massa nas sementes. Os sensores dosadores controlam a abertura ou fechamento dos mecanismos dosadores através de atuadores elétricos ou hidráulicos. Os sensores de velocidade podem ser magnéticos ou de radar. Os sensores de massa nos reservatórios de sementes medem a quantidade de sementes restantes. Os sensores para a medição do fluxo de descida de sementes podem ser ópticos ou capacitivos. Os sensores ópticos geram um pulso elétrico toda vez que uma semente passa por um feixe de luz. Os sensores capacitivos realizam a leitura da massa das sementes.

Todos esses sensores desempenham um papel importante na eventual variação da deposição que pode acontecer, além de informar sobre possível entupimento ou esvaziamento do reservatório. Os sensores são compostos por um monitor de comando, módulos de distribuição de sensores, cabos de comunicação e sensores

As colhedoras de grãos equipadas com tecnologias de agricultura de precisão possuem dispositivos instalados que realizam a mensuração do rendimento da colheita por meio dos monitores de produtividade, onde os dados obtidos são gerados em formato de pontos com a representação da quantidade de grãos colhidos em relação a uma unidade de área. Cada ponto é obtido por um receptor GNSS, a área representada por esse ponto é dada de acordo com velocidade de deslocamento, o tempo de coleta de cada ponto e a largura da plataforma de colheita, onde as informações de cada ponto são mensuradas a partir de sensores instalados nas máquinas agrícolas. Dessa forma para mensurar a produtividade as colhedoras são compostas

por diversos componentes como podemos observar através da Figura 1 (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

Figura 1- Componentes de um monitor de produtividade (A) Sensor de umidade (B) Sensor de fluxo de grãos (C) Receptor GNSS (D) Computador de bordo (E) Sensor de levante de plataforma (F) Sensor de Velocidade

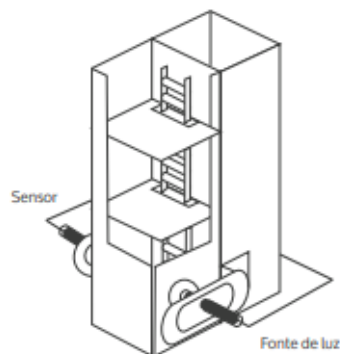


Fonte: MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, Livro Agricultura de Precisão 2015.

Os dados de produtividade são obtidos de forma automatizada através de sensores que realizam o monitoramento da massa de grãos colhidos, na maioria dos casos instalados nos elevadores de grãos, existindo diferentes tipos desses sensores, sendo eles:

- a. Sensor Volumétrico: Consiste em um emissor e um receptor infravermelho, onde a radiação gerada pelo sensor é captada e convertida em sinais elétricos para estimar a taxa de fluxo de volume de grãos.

Figura 2 - Sensor de produtividade volumétrico



Fonte: SENAR – GO, (2015)

- b. Sensor Radiométrico: Realiza a medição através de uma fonte radioativa na saída do elevador, e um anteparo no lado oposto que mede a radiação absorvida pela massa de grãos e converte esse valor na quantidade de grãos colhidos.

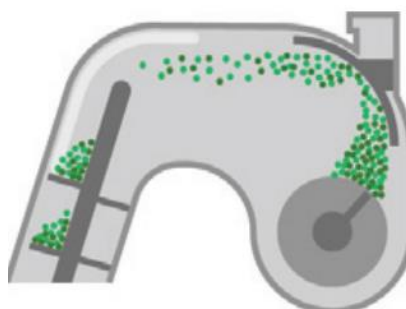
Figura 3 - Sensor de produtividade radiométrico.



Fonte: SENAR-GO, (2015)

- c. Sensor de Placa de Impacto: Realizam a mensuração da quantidade de grãos colhidos através da força com que a massa de grãos é arremessada contra uma placa metálica, transformados em sinais elétricos convertidos em quantidade de grãos colhidos em determinada área.

Figura 4 - Sensor de produtividade por placa de impacto.



Fonte: SENAR-GO, (2015)

2.3.3. MAPAS DE VARIABILIDADE ESPACIAL

A variabilidade espacial é uma característica presente em todos os fenômenos naturais, principalmente em sistemas complexos e dinâmicos como o solo-planta, sendo determinado através de um conjunto de técnicas de análises que buscam entender as diferenças presentes em toda área cultivada. A importância de conhecer a variabilidade de uma área é devido alguns fatores como no ajuste dos manejos realizados na lavoura e para a compreensão dos fatores que determinam o potencial produtivo de cada cultura (RIBEIRO, 2021).

A quantificação e o mapeamento da variabilidade espacial existente em uma lavoura é o ponto inicial para colocar em prática técnicas de agricultura de precisão. Sendo assim, os mapas de produtividade são a fonte de informações mais completas e verdadeiras para visualizar a variabilidade de uma lavoura pois representa a resposta da cultura ao manejo. A produtividade tende a apresentar variabilidade temporal, e seu comportamento espacial pode ter mudanças de acordo com cada cultura, fazendo com que uso de diferentes ferramentas e histórico de mapas de produtividade possam auxiliar ainda mais na tomada de decisão a partir do estudo da variabilidade (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

Realizando o mapeamento da produtividade é possível estabelecer áreas com baixo e alto potencial produtivo, sendo o indicador de fracasso ou sucesso nos processos de gerenciamento das operações agrícolas em campo. O uso dos mapas de produtividade traz alguns benefícios, se forem feitos de forma confiável e eficiente, sendo necessário entender os mecanismos e equipamentos utilizados nesse processo para a obtenção dos dados (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

O mapeamento da variabilidade pode ser feito também em outras etapas como por exemplo na semeadura, onde podemos realizar o mapeamento da variabilidade espacial da densidade de semeadura, espaçamento normal entre sementes, e a presença de falha e duplas entre outros fatores, servindo como forma de identificar a qualidade na semeadura e de realizar comparações com os mapas de produtividades para correlacionar os dados e entender os efeitos causados.

Os mapas são gerados pela junção de pontos que representam uma porção da lavoura, a partir desses dados é realizado a conversão para arquivos do formato raster utilizando softwares SIG's, onde essa análise é feita através de parâmetros que caracterizam uma dependência espacial, para que se possa utilizar técnicas de interpolação, para a elaboração dos mapas temáticos, que podem ser utilizados em uma tomada de decisão (KESTRING et al., 2015).

2.3.4. ANÁLISE DE DADOS E CONTROLE ESTÁTISTICO

O aumento do uso de técnicas e ferramentas de agricultura de precisão, ocasionou um aumento dos dados que podem ser utilizados para auxiliar na tomada de decisão em campo. Esses dados podem ser analisados com o uso de geoestatística, que tem como objetivo caracterizar a variabilidade espacial e correlacionar diferentes atributos no espaço e no tempo, que são representados por dados georreferenciados das variáveis em estudo, podendo também ser utilizado de ferramentas computacionais para análise e processamento dos dados transformando em informações úteis ao produtor (BASSOI et al, 2019).

Antes de realizar a análise de geoestatística, é preciso fazer uma análise exploratória para identificar dados discrepantes, a normalidade de distribuição de frequência e a variação nos dados, pois podem ocorrer erros por problemas na amostragem, mau contato, descalibragem do sensor utilizado, ou por erros humanos (GREGO, DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014). Uma forma de amenizar esses erros é por meio de ferramentas de filtragem e limpeza de dados que utilizam algoritmos e softwares baseados em metodologias estatísticas e parâmetros de variabilidade informados pelo usuário, realizando a remoção de conjuntos de dados discrepantes para serem feitas análises geoestatística (GREGO et al, 2020).

A interpolação por krigagem tem como objetivo estimar valores para qualquer local a partir da combinação linear de valores medidos, mas como a condição de existir dependência espacial para a variável em estudo. Isso pode ser comprovado por meio de um semivariograma que consideram a estrutura da variação espacial dos valores medidos. O algoritmo de krigagem mais utilizado é o de krigagem ordinária onde não há necessidade de se conhecer o valor da média, considerando a média constante, mas desconhecida, já na krigagem simples deve-se conhecer o valor da média (GREGO, DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014).

Outra forma de realizar à análise de dados de agricultura de precisão é por meio do controle estatístico com o uso de cartas de controles. Esse método consiste em um sistema de várias ferramentas estatísticas que podem analisar a estabilidade e qualidade de operações. O controle estatístico é fundamental para analisar de forma ampla operações e processos realizados, apontando falhas e melhorias, detectando alterações nos parâmetros predeterminados, com objetivo de realizar melhorias a qualidade da operação. A cartas de controle é a ferramenta estatística mais importante quando deseja-se visualizar o andamento de operações, indicando os limites que podem ocorrer variações, sendo composto por três linhas, onde a linha central indica a média do tratamento utilizado, e as linhas que limitam são denominadas limites de controle calculados através do desvio-padrão dos dados de cada tratamento (DAMASCENO, 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na fazenda Mato Verde, no município de Luminárias, Minas Gerais. A área utilizada é uma parte do talhão denominado de C14, com uma área de aproximadamente 14,1 hectares, com declividade média de 13,5%, localizado nas seguintes coordenadas 21°29'6.54"S e 44°49'9.15"O.

Figura 5 - Talhão C14, Fazenda Mato Verde



Fonte: Do Autor (2023)

3.2. CULTURA E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Na safra 2022/2023, foi semeado a cultura do milho, utilizando o híbrido P2501 da empresa Pioneer, cultivar de ciclo precoce com excelente potencial produtivo, sendo utilizado uma taxa alvo de densidade de plantas de 75.000 plantas por hectare. A operação de semeadura foi realizada no dia 02/10/2022 utilizando um conjunto da marca John Deere. O trator utilizado foi do modelo 7230J, a semeadora John Deere modelo 1113 de 14 linhas, com espaçamento de 0,5 metros entre as linhas de semeadura e tecnologia SeedStar 2 que fornece em tempo real informações agrônômicas precisas da operação de semeadura.

Figura 6 - Operação de Semeadura de Milho no Talhão C14, 02/10/2022



Fonte: Adriano Junqueira, (2022).

A colheita foi realizada entre os dias 20/02/2023 e 22/02/2023, utilizando a colhedora modelo S760 da marca John Deere, contendo monitor de colheita que permite mensurar a produtividade e umidade a partir de sensores instalados na máquina.

A aquisição dos dados foi feita pela plataforma Operations Center da marca John Deere, a qual permite a análise dos dados gerados pelos equipamentos em campo, realizando o processamento em tempo real a partir do uso de ferramentas de telemetria agrícola, disponibilizando as informações para ser acessadas pela plataforma ou baixadas em arquivos do tipo *shapefile*, que podem ser trabalhadas em softwares de SIG's, como por exemplo o Qgis.

3.3. FILTRAGEM DE DADOS

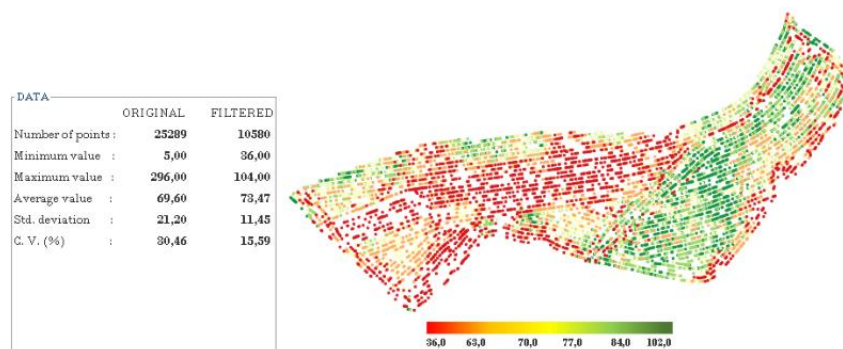
A remoção de erros oriundos dos dados obtidos nas operações de semeadora e colheita, foi realizado em duas etapas, sendo a primeira uma análise manual dos dados e a segunda de forma automatizada utilizando o software Map Filter 2.0, desenvolvido pelo laboratório de agricultura de precisão da Universidade de São Paulo (LAP – USP). A análise manual foi realizada utilizando o arquivo de texto delimitado separado por vírgulas (.CSV) através do Excel, onde foram retirados valores iguais e próximos de zero, e valores muito grandes que não representam o atributo analisado.

Utilizando o Map Filter 2.0, foi realizado a filtragem dos dados de forma automatizada, a partir de análises global dos dados e uma análise local isotrópica e anisotrópica levando em consideração os valores da vizinhança, utilizando de parâmetros estatístico para classificar os dados espaciais. Na filtragem global foi obtido o valor da mediana dos dados, onde fornece a variação máxima da mediana dos dados de forma a definir os limites inferiores e superiores de corte, já na filtragem local é feita a partir da definição de dois parâmetros, sendo o intervalo para pontos em torno de um raio e a variação máxima da mediana aceitável para um intervalo agrupado de pontos (MALDANER; WEI; MOLIN, 2019).

Devido a pequena variação nos dados de semeadura, foi realizado apenas uma filtragem manual nesses dados, para não comprometer os dados analisados. Dessa forma foi realizado a filtragem pelo Map Filter apenas nos dados da colheita, sendo definido alguns parâmetros no Map Filter para realizar a filtragem dos dados. Para filtragem global a variação do limite foi de 70%, e na filtragem local teve com parâmetros a dependência espacial de 25 m e a variação do limite de 10%.

A filtragem foi realizada considerando a produtividade, onde após a filtragem realizada pelo Map Filter foi possível exportar em arquivo de texto delimitado separados por vírgulas, sendo encontrado os seguintes padrões nos dados (Figura 7):

Figura 7 - Dados de colheita filtrados pelo Map Filter



Fonte: Do autor (2023)

3.4. INTERPOLAÇÃO DOS MAPAS DE VARIABILIDADE

A interpolação dos dados é uma das etapas para realizar a análise das operações de semeadura e plantio, onde são gerados os mapas de variabilidade espacial. Para realização desse tipo de operação são utilizados softwares SIG's, onde neste caso foi utilizado o software Qgis, com a instalação do complemento Smart-Map desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, que contém funções específicas para realizar a interpolação de dados com base em krigagem ordinária.

Utilizando o software Qgis, foram adicionados os dados em formatos de pontos, que podem ser usados no complemento Smart-Map, no qual primeiramente foi realizada uma reamostragem dos dados para atender o limite de pontos permitidos para análise dentro do Smart-Map. Após essa etapa foram definidos alguns parâmetros como a área limite da análise através do uso de um polígono de contorno e o tamanho dos pixels em 5 metros.

A interpolação foi feita de acordo com a definição do atributo a qual deseja-se realizar a análise. Neste trabalho os atributos escolhidos foram a taxa aplicada de sementes (sementes/hectare), e a produtividade (sacas/hectares). Nos dados de produtividades, foi preciso fazer uma correção nos seus valores com relação a umidade ideal, sendo utilizada da equação 1 para realizar esse cálculo, e com uso da equação 2 foi transformado a unidade dos dados de toneladas por hectare, para sacas por hectare, onde cada saca representa 60 quilos.

Na equação 1 foram utilizados alguns parâmetros, como rendimento da colheita (t/ha), umidade do momento da colheita (%), e a umidade ideal desejada (%), sendo adotado a umidade ideal de 13%.

Equação 1. Correção da produtividade pelo teor de umidade ideal

$$Prod\ 13\% \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{[Rendimento \left(\frac{t}{ha} \right) * (100 - Umidade(\%))]}{(100 - Umidade\ Ideal)} \quad (1)$$

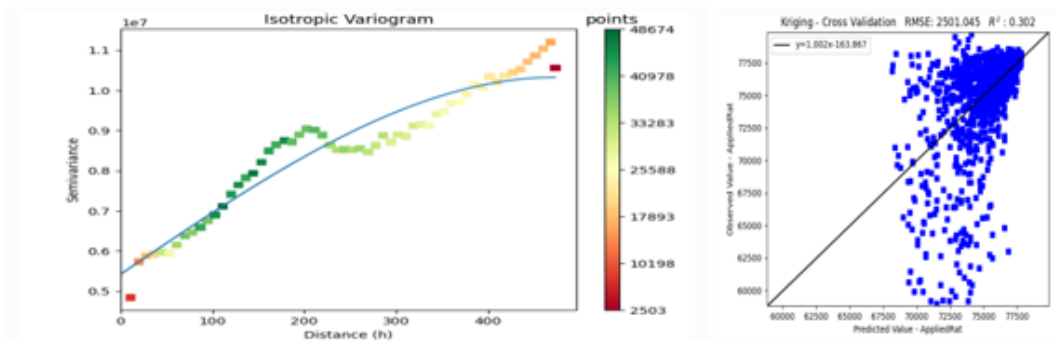
Equação 2. Transformação de unidade da produtividade

$$Prod \left(\frac{sc}{ha} \right) = \frac{Prod\ 13\% * 1000}{60} \quad (2)$$

Antes de realizar a interpolação, é preciso fazer uma análise do semivariograma e da validação cruzada que são gerados dentro do complemento Smart-Map. Estes parâmetros são modelos que podem ser ajustados e que irão definir a qualidade da interpolação por krigagem. O semivariograma representa a dependência espacial, identificando a semelhança entre dados vizinhos. A validação cruzada é uma técnica para saber o quão preciso está o modelo para realizar a interpolação e gerar um novo conjunto de dados, sendo quanto mais próximos os pontos da reta, mais preciso será a interpolação (GREGO; DE OLIVEIRA, VIEIRA, 2014).

Nos dados de semeadura foi utilizado o modelo de ajuste exponencial, com R^2 de 0,929, gerando o seguinte semivariograma e validação cruzada (Figura 8):

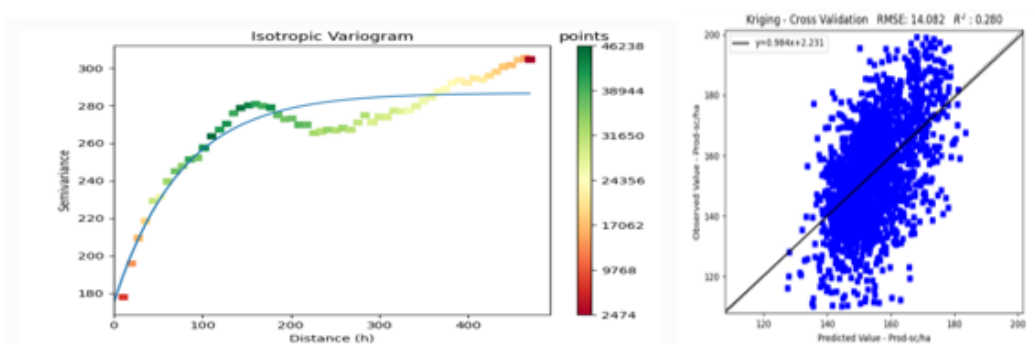
Figura 8 - Semivariograma e validação cruzada Semeadura



Fonte: Do Autor (2023)

Nos dados de colheita foi utilizado o modelo de ajuste exponencial, com R^2 de 0,866, gerando o seguinte semivariograma e validação cruzada (Figura 9):

Figura 9 - Semivariograma e Validação Cruzada Colheita



Fonte: Do Autor (2023)

3.5. FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

A estatística é uma importante ferramenta para realizar análises dos dados de formas precisas, identificando padrões e tendências nos dados trabalhados, afim de gerar resultados confiáveis para a interpretação das informações geradas auxiliando na tomada de decisão. Nesse trabalho foi utilizado o índice de Moran para realizar uma autocorrelação espacial entre a população de plantas na semeadura (sementes/ha) e a produtividade da lavoura (sacas/ha), outra ferramenta utilizada para análise desses atributos são as cartas de controle.

O índice de Moran local bivariado é utilizado para obtenção do coeficiente de autocorrelação espacial local com mais de uma variável, através de associação linear positiva ou negativa, entre o valor de uma variável em uma região e a média de uma outra variável localizada próxima, mapeando os valores medidos de forma significativa (MARCONATO et

al,2015). Para o cálculo do índice de Moran, foi utilizado o software GeoDa, utilizando matriz de peso de convenção rainha de primeira ordem, a população de plantas com primeira variável, e a produtividade como segunda variável.

A Carta de controle foi realizada com intuito de estabelecer o padrão aceitável de variação dentro de uma operação, em que nesse trabalho a operação analisada foi a taxa de aplicação de sementes por hectare na semeadura, e a os valores de produtividade em sacas por hectare para efeito de comparação com a carta de controle da semeadura. Para realização dessa análise foi utilizado o software JMP, onde será feito análise da qualidade e processo através da carta de controle IMR, de forma que são definidas o valor médio e o limite inferior e superior aceitável de variação com relação ao padrão da operação, sendo esses valores definidos através das seguintes equações:

Equação 3 - Cálculo da Médias dos Valores

$$\bar{x} = \frac{\sum Xi}{n} \quad (3)$$

Equação 4 - Cálculo do Limite de Controle inferior

$$LCL = \bar{x} - k \frac{MR}{d2} \quad (4)$$

Equação 5 - Cálculo do Limite de Controle Superior

$$UCL = \bar{x} + k \frac{MR}{d2} \quad (5)$$

De forma, com que k é fator de distância dos limites, geralmente igual a 3, MR é amplitude móvel média, e d2 o fator de correção para estimadores estatístico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MAPAS DE SEMEADURA

A partir da interpolação dos dados obtidos, podemos analisar os resultados gerados pela operação de semeadura no campo, onde foi selecionado uma taxa alvo de 75.000 sementes por hectare, mas devido a diversos fatores como regulagem da semeadora, velocidade de trabalho, declividade da área, entre outros, ocorreram variações na taxa aplicada, sendo encontrado variações de 68.172 (sementes/ha) como menor taxa aplica até 77.863 (sementes/ha) como maior taxa aplicada, sendo a taxa aplicada média de 75.447 (sementes/ha).

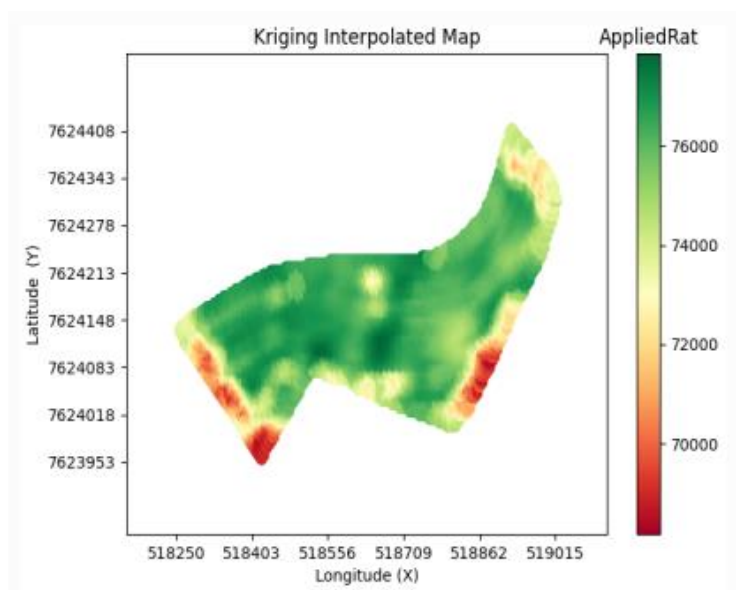
Para criação do mapa temático foram separados em diferentes faixas de classificação sendo elas, sendo definido a área que a densidade de semeadura para cada faixa e o percentual da área total, a qual podemos observar através da Tabela 1.

Tabela1. Faixas de Classificação com relação a área aplica

Faixa de Classificação (semente/ha)	Área (Ha)	Percentual da Área Total (%)
68172 - 74909	3.4	24.0
74909 - 76100	2.5	18.0
76100 - 76600	1.7	12.0
76600 - 77863	6.5	46.0
Total	14.1	100.0

O mapa temático de variabilidade espacial da semeadura pode ser observado pela figura 10, onde tem sua variação temática de vermelho a verde, onde os tons de verde representam áreas com maior população de plantas por hectare e os tons mais avermelhados áreas com menor população de plantas.

Figura 10 - Mapa de Variabilidade Espacial da Semeadura



Fonte: Do autor (2023)

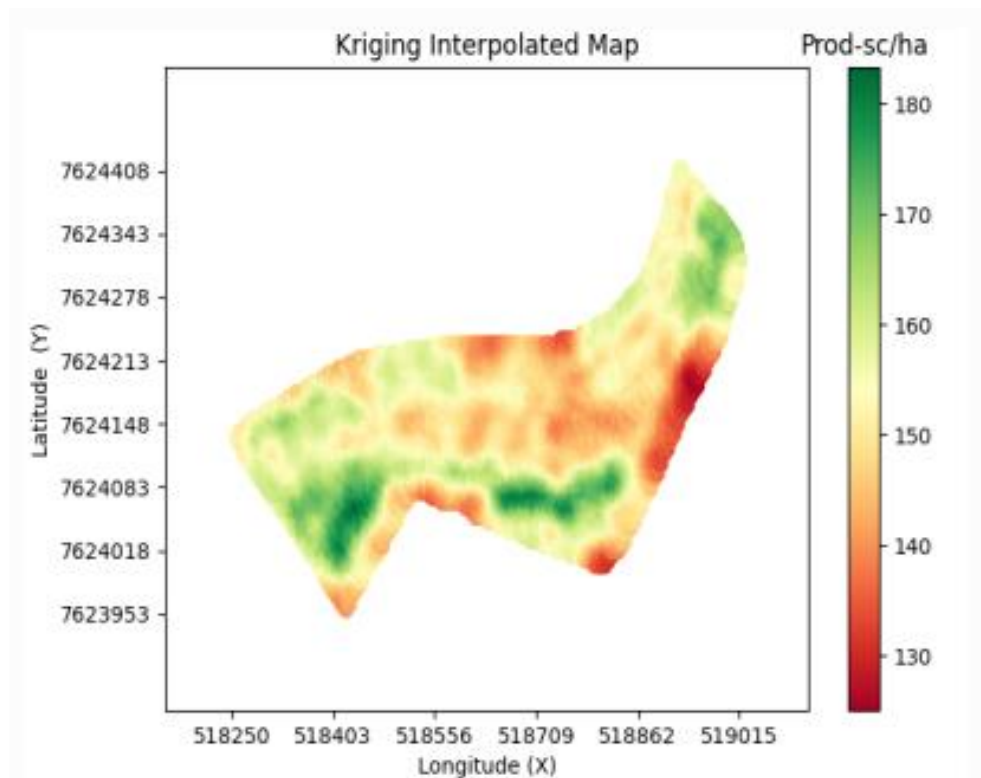
Dessa forma, podemos notar que em mais de 50% da área de plantio a população de plantas encontra-se acima da taxa recomendada de 75.000 mil plantas por hectare. Fazendo uma comparação com as informações fornecidas pela empresa com relação ao híbrido utilizado, é sugerido uma densidade de plantas entre 70 a 80 mil sementes por hectare, com isso podemos notar que a variabilidade encontrada na semeadura esteve quase por maioria dentro da faixa sugerida, e menos de 24% da área esteve com densidade de planta abaixo da recomendação.

4.2. MAPAS DE PRODUTIVIDADE

Utilizando os dados obtidos durante a operação de colheita, podemos encontrar os resultados de produtividade da lavoura durante a safra, onde encontramos uma produtividade média de aproximadamente 154 (sc/ha), variando a produtividade de 125 (sc/ha) até aproximadamente 183 (sc/ha).

Para a elaboração do mapa temático da variabilidade espacial da produtividade, foi realizada a classificação dos dados em classes temáticas, variando de tons verde em áreas de maior produtividade a tons de vermelho em áreas de menor produtividade, que pode ser observado através da Figura 11.

Figura 11 - Mapa de Variabilidade Espacial de Produtividade



Fonte: Do Autor (2023)

A classes temáticas da interpolação foram definidas em diferentes faixas, como podemos observar através da tabela 2.

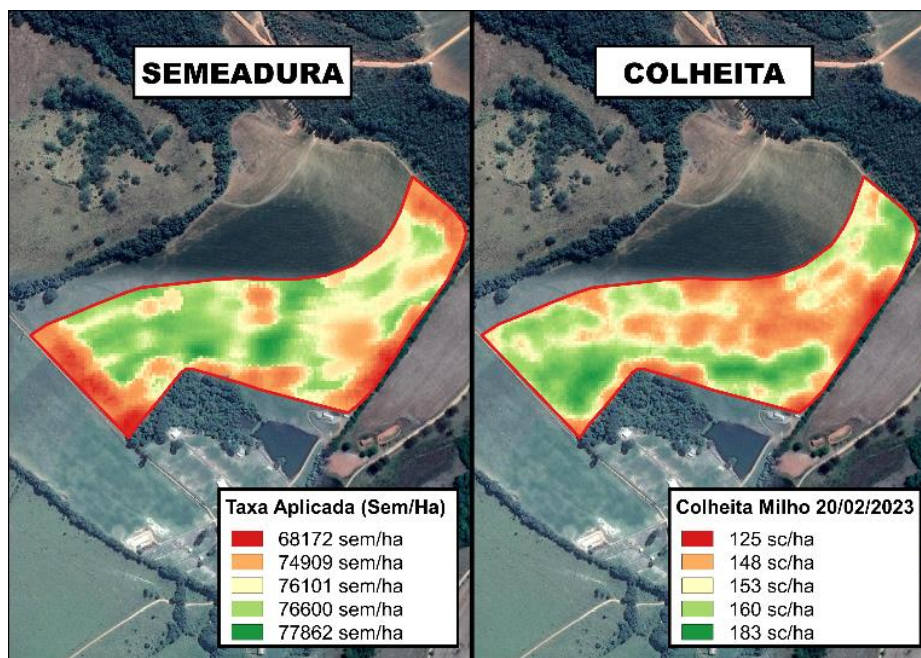
Tabela 2. Faixas de Classificação de Produtividade

Faixa de Classificação (sacas/ha)
124 - 148
148 - 153
153 - 160
160 - 183

4.3. COMPARAÇÃO: SEMEADURA X PRODUTIVIDADE

A partir da elaboração dos mapas temáticos de semeadura e de produtividade podemos relacionar as informações obtidas para realizar a comparação entre os mapas, e conhecer a influência da variabilidade da semeadura na variabilidade da produtividade final da lavoura. Fazendo uma análise visual primeiramente através da Figura 12, podemos observar as áreas onde tem as maiores e menores a taxas aplicadas de sementes, e as áreas de maior e menor produtividade.

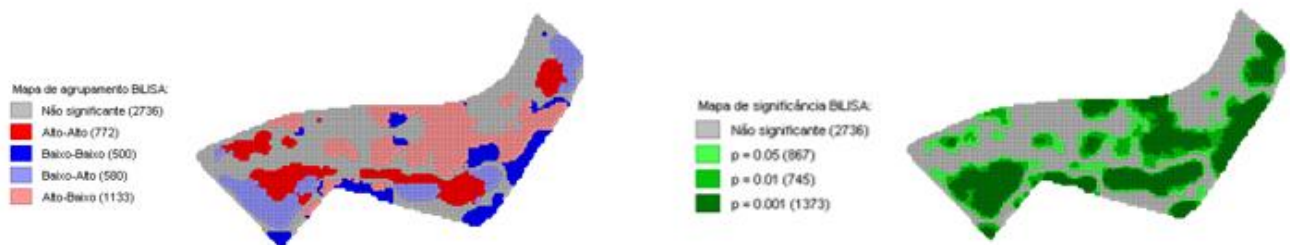
Figura 12 - Comparação dos Mapas de Semeadura e Produtividade



Fonte: Do Autor (2023)

Para a análise da autocorrelação espacial entre os dois mapas analisados foi utilizado o índice de Moran Bivariado, sendo gerados os mapas de agrupamento e significância (Figura 13), no qual o coeficiente de autocorrelação espacial negativo no valor de $-0,059$, indica que a inclinação da reta é descendente e as regiões estudadas concentram nas associações entre as variáveis classificadas em alto-alto, baixo-alto, baixo-baixo, alto-baixo, onde a primeira parte indica se a primeira variável teve alta ou baixa população de planta, assim como a segunda parte indica se a segunda variável obteve alta ou baixa produtividade.

Figura 13 – Mapas de Agrupamento e Significância pelo Índice de Moran



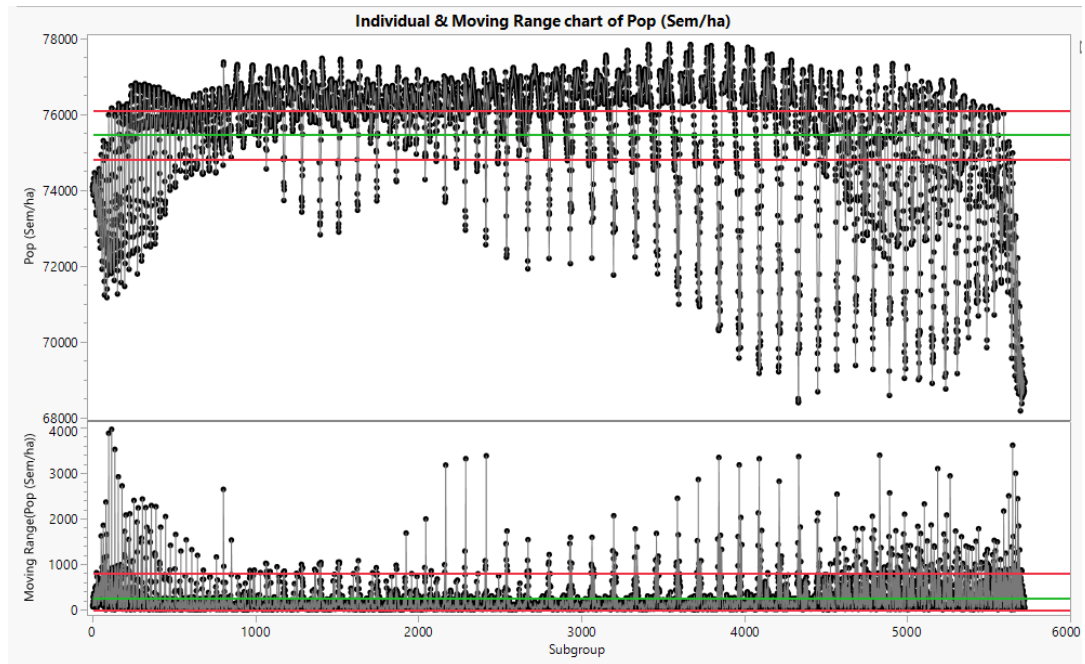
Fonte: Do Autor (2023)

De acordo com os estudos realizados por PASSOS et al, 2019, a população de 75 mil plantas por hectare apresenta maiores produtividade, o que vai de acordo com a população encontrada nas maiores produtividades desses estudos. Segundo ALVES et al., (2020) o milho apresenta um crescimento de produção de acordo com crescimento populacional até atingir seu ponto máximo, o que ocasiona em perdas de produtividades, que podem também ser observado por este trabalho.

4.4. CARTA DE CONTROLE

A carta de controle tem como função demonstrar a variabilidade da qualidade do processo de semeadura, utilizando como base a população de plantas, onde foi utilizado 75.000 plantas por hectare como taxa alvo da aplicação, de modo a classificar as variações aceitáveis. Neste caso, são definidas três retas, onde a localizada no meio representa o valor médio, que para essa operação foi encontrado o valor de 75.477 sementes por hectare, a reta abaixo representa o limite de controle inferior, que foi definido no valor de 74.790 sementes por hectare, e a reta acima representa o limite de controle superior, no valor de 76.103 sementes por hectare, como podemos observar na figura 14.

Figura 14 - Carta de Controle IMR da População de Plantas

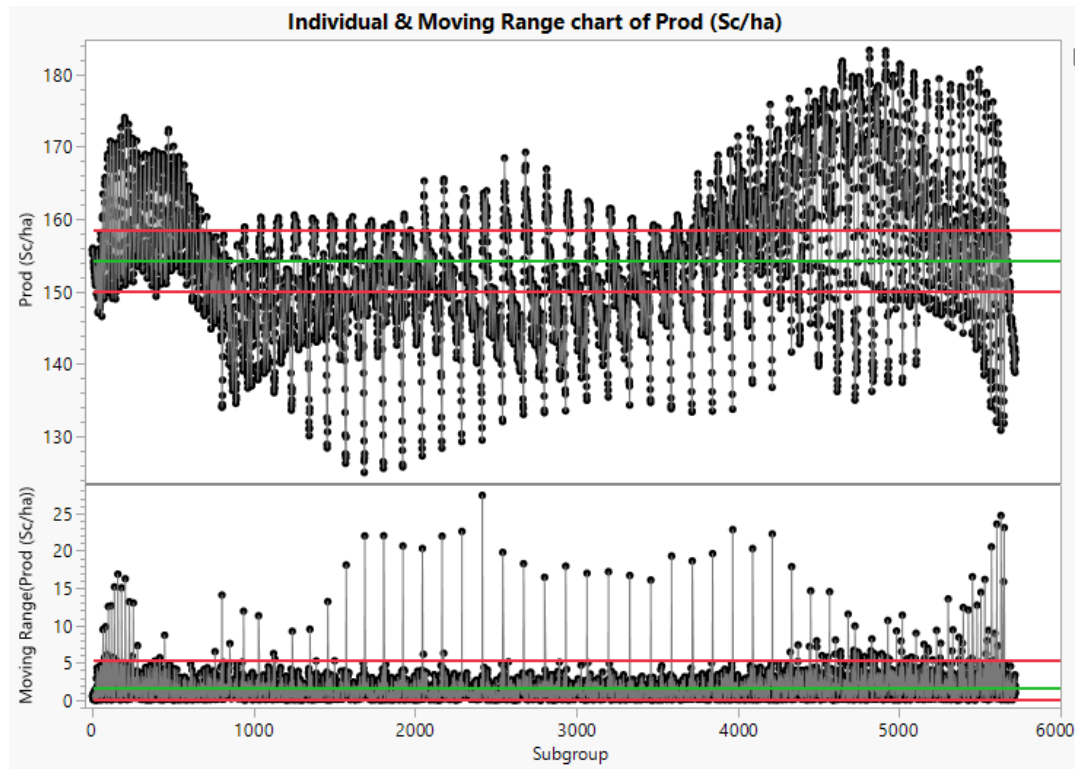


Fonte: Do Autor (2023)

Dessa forma os pontos localizados fora dos limites definidos são considerados como fora do padrão estatístico de controle, como forma de manter a operação mais estável possível sem que ocorra muita variação sobre a taxa alvo definida. A segunda parte da carta de controle Moving Range, representa a amplitude móvel que são a diferença entre cada leitura dos dados, onde seu valor médio foi de 246 sementes por hectare, e foi considerado seu limite superior como 806 sementes por hectare, dessa forma os pontos localizados fora do limite superior representa que a diferença entre leituras de um ponto para o outro saiu do padrão de controle estatístico ideal.

Realizando o controle estatístico dos dados de produtividade, podemos observar através da figura 18, que o valor médio foi de 154 (sc/ha), o limite inferior de 150 (sc/ha) e o superior de 158(sc/ha), a amplitude móvel média de aproximadamente 2 (sc/ha) e o limite superior 5 (sc/ha). A utilização desse tipo de controle serve para efeitos de comparação com a variabilidade da densidade, onde podemos observar que no local em que os pontos apresentaram uma menor taxa de plantas por hectare, a produtividade aumentou. Em alguns pontos com população maior, foi encontrado também maiores produtividades, indo de encontro com os efeitos analisados anteriormente, que demonstram que a produtividade aumenta até certa população de plantas que após passar desse limite a produtividade tende a diminuir.

Figura 15 - Carta de Controle IMR da Produtividade



Fonte: Do Autor (2023)

Segundo SILVA et al, (2021), a utilização das cartas de controle estatístico é uma importante ferramenta para análise da qualidade das operações agrícolas, servindo como uma forma de detectar e reduzir a variabilidade, possibilitando impor padrões desejados para melhorar a eficiência da operação. Desse modo podemos observar que a variabilidade causada na semeadura, impacta diretamente nos resultados de produtividades, onde utilizando os limites proposto pelas cartas de controle, é possível manter a operação dentro dos padrões, evitando assim grandes variações na taxa aplicada de sementes por hectare, fazendo com que ocorra uma produção mais uniforme, que pode resultar na redução dos gastos com insumos na semeadura, evitando a ocorrência de plantas duplas, ou falhas, menor competitividade entre plantas e um melhor desenvolvimento da cultura, o que permite aumento da produtividade média da lavoura.

5. CONCLUSÃO

O uso de ferramentas de agricultura de precisão é uma importante técnica para realizar análise de diferentes fatores afim de conhecer a variabilidade espacial de uma lavoura, de forma que este trabalho mostra com a utilização dos mapas temáticos da variabilidade da semeadura e da produtividade junto com uso de ferramentas estatísticas se torna uma ferramenta útil para análise das operações agrícolas, além de servir como forma de auxiliar na tomada de decisões em campo. Informações essas que muitas vezes são produzidas pelas tecnologias embarcadas nos maquinários, mas que não são utilizados pelo produtor, então a elaboração de técnicas para uso desses dados é uma forma incentivar o uso de técnicas de agricultura de precisão nas lavouras, principalmente do Sul de Minas Gerais.

A variabilidade espacial da densidade de plantas por hectare na semeadura influencia sim, em suas devidas proporções na produtividade de milho, mas ainda que é difícil prever com segurança uma quantidade ideal de sementes por hectare a serem utilizadas durante o plantio para fazer com que a lavoura atinge o seu ápice de produção, pois este número irá depender de diversos fatores como tipo do híbrido de milho utilizados, fertilidade do solo e a região que está sendo cultivada. Dessa forma podemos notar que houve um aumento na densidade de plantio que até certo ponto ajudou no aumento da produtividade, até atingir um ponto máximo a qual gerou um perca de produtividade.

Sendo assim, podemos concluir a partir deste trabalho que conhecer a variabilidade de uma lavoura e as faixas de controle estatístico é uma forma de maximizar as futuras produções, trabalhando dentro de um limite que alcance a maior produtividade sem gerar perdas. Para isso deve-se atentar a outros tipos de fatores na hora do plantio, como velocidade, declividade, textura do solo, entre outros. Fatores limitantes para as análises realizadas nesse trabalho, por levar em consideração somente os efeitos da variabilidade da densidade de plantas, onde com esses outros tipos de dados a análise da variabilidade espacial da produtividade se torna mais assertiva, ficando como sugestão para futuras pesquisas envolvendo este tema.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Suelen Caroline De; **Agricultura De Precisão: Uma Revisão De Literatura**. 2021.

ALVES, Alexandre Ferigolo *et al.* **Densidade agronômica ótima para altas produtividades de milho em híbridos modernos**. Revista Plantio Direto, [s. l.], 31 dez. 2020.

ANDRADE, Alex Teixeira Et Al. **Desafios Do Sistema Plantio Direto No Cerrado**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, V. 39, N. 302, P. 18-26, 2018.

BASSOI, Luís Henrique et al. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. 2019.

BOTTEGA, E. L. et. al. **Diferentes Dosadores De Sementes E Velocidade De Deslocamento Na Semeadura Do Milho Em Plantio Direto**. Pesq. Agropec. Pernamb. Recife, N.22, 2018.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, Rubens. **Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto**. Plantio direto com qualidade. 1ed.Londrina-Foz do Iguaçu: Instituto Agronômico do Paraná - ITAIPU Binacional, v. 1, p. 85-126, 2006.

CINTRA, Pedro Henrique Nascimento; DE MELO, Osmany Francisco Pereira; DE MENEZES, Juliana Oliveira Silva. Produção agrícola: **Uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no brasil**. Rev. Agrotecnologia Ipameri, v. 11, p. 2179-5959, 2020.

Conab - Boletim da Safra de Grãos. Conab.gov.br. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 8 maio 2023.

Conab - Histórico do Milho - Minas Gerais. Conab.gov.br. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analise-regional-do-mercado-agropecuario/analise-regional-mg-milho>>. Acesso em: 9 maio 2023.

CONTINI, Elisio et al. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília: Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2), 2019.

CRUZ, José Carlos *et al.* **Espaçamento e Densidade**. Embrapa Milho e Sorgo, [s. l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/plantio/espacamento-e-densidade>. Acesso em: 17 maio 2023.

PINHEIRO, Luana da Silva et al. **Características agro econômicas do milho: uma revisão**. *Natural Resources*, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

DA SILVA, Davi Francisco et al. **Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão.** Research, Society and Development, v. 10, n. 3, , 2021.

DA SILVA, Wanderson de Vasconcelos Rodrigues; SILVA-MANN, Renata. **Agricultura de Precisão no Brasil: conjuntura atual, desafios e perspectivas.** Research, Society and Development, v. 9, n. 11, 2020.

DAMASCENO, André Ferreira. **Sistema dosador de sementes e velocidade de operação na semeadura direta de soja.** 2017.

DENARDIN, José Eloir et al. **Sistema plantio direto: evolução e implementação.** 2011.

DIAS, Fagner Souto. **Influência do espaçamento e da densidade de semeadura sobre o desempenho de híbridos de milho.** 2017.

GOEHL, Claudir Marcelo. **SEMEADURA DE PRECISÃO E UTILIZAÇÃO DE TRÁFEGO CONTROLADO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS: ESTUDO DE CASO.** 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

GREGO, Célia Regina et al. **Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão.** 2020.

GREGO, Célia Regina; DE OLIVEIRA, Ronaldo Pereira; VIEIRA, Sidney Rosa. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão.** 2014.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi et al. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola.** Londrina: Embrapa Soja, v. 14, 2012.

KESTRING, F.B.F; et al. **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.v35n4p733-743/201>

KOLLING, Caio Ericles; RAMPIM, Leandro. **AGRICULTURA DE PRECISÃO E DIGITAL: PERSPECTIVAS E DESAFIOS DOS PRODUTORES RURAIS DO ESTADO DO PARANÁ.** Uningá Review, v. 36, , 2021.

MALDANER, Leonardo Felipe; WEI, Marcelo Chan Fu; MOLIN, Jose Paulo. **Mapas de produtividade.** Agricultura de Precisão: Boletim Técnico 04, [s. l.], Jan 2019

MANSUR, Thiago Wadih. **Plantio direto no cerrado: uma revisão bibliográfica.** 2021.

MARCONATO, Marcio et al. **Análise espacial da taxa de pobreza e da população rural da região Sul do país.** Revista Textos de Economia, v. 18, n. 2, p. 16-40, 2015.

MIRANDA, G. V. et al. Milho (*Zea mays* L.). **Culturas manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: Epamig, 2019. (p628-p649).

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro**. Boletim 03, 7p, 2017.

MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André Freitas. **Agricultura de Precisão**. 1º. ed. [S. l.]: OFICINA DE TEXTOS, 224 p. ISBN 8579752132, 2015.

PASSOS, Fernanda Dall Agnol et al. **Produtividade do milho em diferentes populações de plantio**. Revista Cultivando o Saber, p. 1-11, 2019.

PUSCH, M.; MACHADO, T.P.; AMARAL, L.R. **Introdução a Agricultura de Precisão**, 03/2019. Disponível em: <https://www.feagri.unicamp.br/gitap/> Acesso em: 21 maio 2023.

RIBEIRO, Waniele Marley Rodrigues. **Variabilidade espacial da produtividade da soja e sua correlação com a qualidade da semeadura**. 2021.

SANTANA JUNIOR, Jairton Andre de. **Custos de produção de lavouras de milho no município de Carira-SE: estudo de caso**. 2021.

SENAR-GO. **Tipos de sensores utilizados nas semeadoras-adubadoras**. In: AGRICULTURA de Precisão na Semeadura. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Goiás: [s. n.], 2015. cap. 4

SILVA, Rouverson Pereira da et al. **Potential of using tatistical quality control in agriculture 4.0**. Revista Ciência Agronômica, v. 51, p. e20207745, 2021

SILVA, Luiz Eduardo Bezerra et al. **Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura**. Diversitas Journal, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SILVA, Paulo Roberto Arbex. **Plantabilidade correta do milho safrinha**. Revista Campo & Negócio, [s. l.], 10 fev. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/plantabilidade-correta-do-milho-safrinha/>. Acesso em: 16 maio 2023.

SPINELLI, Giovanna Gelak. **Consultoria em agricultura de precisão no Estado do Paraná**. 2021.

TREVISAN¹, Rodrigo G.; MOLIN, José P. **Sistemas de informação geográfica (sig) para agricultura de precisão**. 2014.

UATE, JOAQUIM VICENTE et al. **Épocas de semeadura e distribuição espacial de plantas na produção de milho**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 14, n. 3, p. 346-357, 2015.