

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO DE AGRONOMIA**

MATHIAS SASSETI KLEIN

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DE ARRANJOS
POPULACIONAIS EM DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DEFINIDAS PELA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

CHAPECÓ

2022

MATHIAS SASSETI KLEIN

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DE ARRANJOS
POPULACIONAIS EM DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DEFINIDAS PELA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Siumar Pedro Tironi

CHAPECÓ

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Klein, Mathias Sasseti
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DE ARRANJOS
POPULACIONAIS EM DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DEFINIDAS
PELA AGRICULTURA DE PRECISÃO / Mathias Sasseti Klein. --
2022.

72 f.:il.

Orientador: Doutor Siumar Pedro Tironi

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Chapecó, SC, 2022.

1. Zea mays. 2. População de plantas. 3. Manejo
sítio-específico. 4. Agricultura regenerativa. I.
Tironi, Siumar Pedro, orient. II. Universidade Federal
da Fronteira Sul. III. Título.

MATHIAS SASSETI KLEIN

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO EM FUNÇÃO DE ARRANJOS
POPULACIONAIS EM DIFERENTES ZONAS DE MANEJO DEFINIDAS PELA
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 11/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Siumar Pedro Tironi – UFFS
Orientador

Prof. Dr. João Guilherme Dal Belo Leite – UFFS
Avaliador

Prof. Dra. Vanessa Neumann Silva – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, Tenário Roque Klein e Sônia Maria Sasseti Klein, ao meu irmão Gabriel Sasseti Klein que sempre me auxiliaram e me incentivaram durante o período de graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus, por ter me guiado e iluminado meus passos durante toda a trajetória na graduação.

Aos meus pais, por todo amor, carinho, ensinamentos e principalmente por proporcionar essa oportunidade de estudo, não medindo esforços para que eu pudesse chegar a esse momento, vocês são meus exemplos de vida.

Ao meu irmão, pela amizade, apoio, confiança, conselhos, por estar sempre ao meu lado quando precisei, por toda ajuda em diversos momentos da graduação e por todos os conhecimentos compartilhados.

Ao amigo Diego Alessio pela oportunidade de desenvolver esse trabalho durante meu período de estágio supervisionado, por todo conhecimento compartilhado, contribuindo para minha formação pessoal e profissional, pelo apoio, conselhos, confiança e amizade construída durante esse período.

Aos amigos Carlos e Rodrigo Alessio por todos os conselhos e conhecimentos compartilhados durante o período de estágio.

Aos meus amigos mais próximos que sempre estiveram comigo tanto nos momentos bons quanto em momentos ruins, sempre me ajudando e me incentivando.

Ao professor Dr. Siumar Pedro Tironi, pela sua orientação, por todo conhecimento, apoio e amizade construída durante a graduação.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e pelas inúmeras contribuições durante a graduação.

A Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Chapecó, por proporcionar a possibilidade de adquirir inúmeros conhecimentos e experiências. A todos os professores da UFFS, que contribuíram para a minha formação pessoal, profissional e acadêmica.

E por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente para que eu pudesse chegar a esse momento.

“A agricultura ecológica não trabalha somente com as plantas, mas com o sistema inteiro solo-planta-clima.” (PRIMAVESI, 1997).

RESUMO

A utilização de ferramentas de agricultura de precisão (AP), como a taxa variável de semeadura, é uma alternativa para adequar a população de plantas de milho em zonas de manejo de acordo com a variabilidade temporal e espacial presente nas lavouras, que afetam a produtividade de grãos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico do híbrido de milho P3016VYHR, em função da população de plantas e zonas de manejo. Para isso, foi realizado um experimento no município de Faxinal dos Guedes – SC, na safra 2021/22. As zonas de manejo foram delimitadas através de um mapa de produção de milho e através do conhecimento do histórico de produção observado pelo produtor rural, separando o talhão em zonas alta (ZA), média (ZM) e baixa (ZB), definidos a partir da produtividade de safras anteriores. O experimento foi bifatorial com quatro taxas de semeadura, de 55.000, 70.000, 85.000 e 100.000 plantas ha^{-1} em três zonas de manejo (ZA, ZM e ZB) sob Latossolo Bruno. Foram avaliadas variáveis biométricas (diâmetro de colmo, altura de planta e altura de inserção de espiga), componentes de rendimento (número de fileira de grãos, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos) e a produtividade de grãos. Com os resultados da produtividade foi realizada uma projeção de semeadura em taxa variável e foram realizados os cálculos de retorno econômico comparando a taxa variável com a taxa fixa. A produtividade de grãos sofreu influência da população de plantas e zonas de manejo, na ZA, a população de 85.000 pl ha^{-1} apresentou maior produtividade (14.915,76 kg ha^{-1}), na ZM e ZB, a população de 55.000 pl ha^{-1} apresentou a maior produtividade de grãos. A taxa variável pode aumentar em 23% o rendimento médio de grãos quando, diminuir o custo com sementes e aumentar a lucratividade por hectare.

Palavras-chave: *Zea mays*; população de plantas; manejo sítio-específico; agricultura regenerativa.

ABSTRACT

The use of precision agriculture (PA) tools, such as the variable rate seeding, is an alternative to adapt the population of corn plants in management zones according to the temporal and spatial variability present in the crops, which affect productivity of grain. The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of the corn hybrid P3016VYHR, as a function of plant population and management zones. For this, an experiment was carried out in the municipality of Faxinal dos Guedes - SC, in the 2021/22 harvest. The management zones were delimited through a map of corn production and through knowledge of the production history observed by the rural producer, separating the plot into high (ZA), medium (ZM) and low (ZB) zones, defined from the productivity of previous crops. The experiment was bifactorial with four seeding rates, 55,000, 70,000, 85,000 and 100,000 plants ha⁻¹ in three management zones (ZA, ZM and ZB) under Oxisol. Biometric variables (stem diameter, plant height and ear insertion height), yield components (number of grain rows, number of grains per row, number of grains per ear and weight of 1,000 grains) and grain yield were evaluated. With the productivity results, a projection of sowing in a variable rate was carried out and the calculations of economic return were carried out comparing the variable rate with the fixed rate. Grain yield was influenced by plant population and management zones, in the ZA, the population of 85,000 pl ha⁻¹ showed higher productivity (14,915.76 kg ha⁻¹), in the ZM and ZB, the population of 55,000 pl ha⁻¹ had the highest grain yield. The variable rate can increase the average grain yield by 23%, decreasing seed cost and increasing profitability per hectare.

Keywords: *Zea mays*; plant population; site-specific management; regenerative agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Localização do município de Faxinal dos Guedes e localização do experimento	22
Figura 02 – Visão aérea do local onde o experimento foi instalado.....	23
Figura 03 – Visão geral dos tratamentos (população de plantas e zonas de manejo) e locais avaliados	24
Figura 04 – Definição das zonas de manejo através de mapa de produtividade de milho	26
Figura 05 – Avaliação dos parâmetros relacionados as variáveis biométricas.....	30
Figura 06 – Visão geral dos pontos amostrados para determinação do rendimento de grãos..	32
Figura 07 – Zonas de manejo definidas a partir do mapa de produtividade da safra 2021/22.	33
Figura 08 – Mapa de elevação do talhão	48
Figura 09 – Mapa de declividade do talhão.....	48
Figura 10 – Mapa de locais com limitações no perfil de solo	49
Figura 11 – Método de calibração das bases (Ca, Mg e K).....	51
Figura 12 – Projeção da semeadura em taxa variável em função das zonas de manejo.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos formado pela população de plantas e zonas de manejo	25
Tabela 2 – Características do híbrido P3016VYHR.....	28
Tabela 3 – Dados de precipitação (mm) durante a execução do experimento	29
Tabela 5 – Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (APL) e altura de inserção de espiga (AIE) em função de diferentes arranjos populacionais	35
Tabela 6 – Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (APL) e altura de inserção de espiga (AIE) em função de diferentes zonas de manejo	38
Tabela 7 – Valores médios do número de fileiras de grãos por espiga (FG), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG) em função de diferentes arranjos populacionais.....	40
Tabela 8 – Número de fileiras de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG) em função de diferentes zonas de manejo.....	42
Tabela 9 – Rendimento de grãos dos arranjos populacionais em função das zonas de manejo	44
Tabela 10 – Rendimento médio de grãos em função das zonas de manejo.....	46
Tabela 11 – Custo de sementes utilizando taxa variável e taxa fixa	53
Tabela 12 – Projeção do rendimento de grãos em área total para semeadura em taxa variável	53
Tabela 13 – Valor bruto da produção em taxa variável e taxa fixa de semeadura	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CEPA	Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
g	gramas
ha	hectare
kg	quilogramas
kg ha ⁻¹	quilogramas por hectare
m	metros
sc	sacas
sc ha ⁻¹	sacas por hectare
R\$	reais
R\$ ha ⁻¹	reais por hectare
t	toneladas
t ha ⁻¹	toneladas por hectare

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	A CULTURA DO MILHO E SUA IMPORTÂNCIA	18
3.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO E DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO ..	19
3.3	ARRANJOS POPULACIONAIS	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO	22
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	23
4.3	DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE MANEJO	25
4.4	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	26
4.5	CARACTERIZAÇÃO DO HÍBRIDO	28
4.6	DADOS PLUVIOMÉTRICOS	29
4.7	AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS	29
4.8	AVALIAÇÃO DE COMPONENTES DE RENDIMENTO	30
4.9	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	31
4.10	RETORNO ECONÔMICO DA TAXA VARIÁVEL DE SEMEADURA	32
4.11	ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	PARÂMETROS RELACIONADOS A VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS	35
5.1.1	Parâmetros em função da população de plantas	35
5.1.2	Parâmetros em função de zonas de manejo	37
5.2	COMPONENTES DE RENDIMENTO.....	39
5.2.1	Componentes de rendimento relacionado as espigas em função da população de plantas	39
5.2.2	Componentes de rendimento relacionado as espigas em função de zonas de manejo	42
5.3	RENDIMENTO DE GRÃOS E RETORNO ECONÔMICO	44
5.3.1	Rendimento de grãos.....	44

5.3.2	Retorno econômico da taxa variável.....	52
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A – Arranjo populacional de plantas de milho	63
	APÊNDICE B – Colheita do experimento.....	65
	APÊNDICE C – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de alta	66
	APÊNDICE D – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de média	68
	APÊNDICE E – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de baixa.....	70

1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais cultivados e produzidos no mundo, os maiores produtores atualmente são Estados Unidos, China e Brasil. Apesar do Brasil ocupar um lugar de destaque entre os maiores produtores de milho, a produtividade média das lavouras brasileiras é inferior quando comparada à de outros países, como os Estados Unidos, onde a produtividade média por hectare é 52% superior que a média brasileira (USDA, 2022).

No cenário nacional, o setor agropecuário, especialmente no estado de Santa Catarina, demanda grande quantidade de milho, tendo em vista que seus grãos são matéria-prima para fabricação de rações ou produção de silagem. No entanto, a produção de milho no estado não atende a demanda pois há déficit de produção, sendo necessário buscar-se estratégias para o aumento na produção (EPAGRI/CEPA, 2022).

A agricultura de precisão (AP) surge como uma das alternativas para auxiliar no aumento da produtividade da cultura do milho, com inúmeras ferramentas disponíveis no mercado. Os mapas de produtividade são uma dessas ferramentas que podem contribuir para o início da adoção de práticas ligadas à AP. Por meio dos mapas de produtividade, é possível observar a variabilidade espacial e temporal presente nas lavouras (AMADO *et al.*, 2007) e assim definir zonas de produção, também chamadas de zonas de manejo ou sítio específico (MOLIN, 2002).

Com a definição de zonas de manejo, pode-se adequar técnicas de manejo, tendo em vista que essas zonas apresentam diferentes características com relação ao solo (SANTI, 2007). O relevo é outro fator que deve ser considerado para definição dessas zonas, uma vez que interfere na disponibilidade de água no solo (IBRAHIM e HUGGINS, 2011).

Dentre as tecnologias de AP disponíveis atualmente no mercado, a semeadura em taxa variável é uma das opções capaz de promover aumento do potencial produtivo. Com a utilização da semeadura em taxa variável, pode-se manipular a distribuição da população de plantas, promovendo o uso de recursos de maneira mais eficiente, o que resulta em maior produtividade (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

Trabalhos realizados no Brasil, utilizando a semeadura em taxa variável para a manipulação da população de plantas da cultura do milho em diferentes zonas de manejo, mostraram que essa tecnologia é capaz de aumentar o rendimento de grãos e diminuir o custo de produção, especialmente com o custo da aquisição e utilização de sementes (HORBE, 2012; ANSELMI 2016).

Contudo, ainda há uma carência de estudos utilizando a taxa variável de semeadura para a adequação da população de plantas em zonas de manejo. Além de que, a resposta de diferentes híbridos de milho a essas tecnologias pode ser distinta e há um grande número de híbridos no mercado. Assim, é de suma importância a realização de novas pesquisas na área.

Diante da conjuntura apresentada, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agronômico do híbrido de milho P3016VYHR, utilizando taxa variável de semeadura a fim de avaliar diferentes arranjos populacionais em zonas de manejo.

2 OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em geral e específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho agronômico do híbrido de milho P3016VYHR sob diferentes arranjos populacionais em zonas de manejo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Quantificar parâmetros relacionados a variáveis biométricas em função dos arranjos populacionais e das zonas de manejo;
- II. Avaliar os componentes de rendimento e a produtividade de grãos para as diferentes populações de plantas nas zonas de manejo;
- III. Identificar a melhor combinação de população de plantas que proporcione melhor produtividade de grãos do híbrido de milho P3016VYHR nas diferentes zonas de manejo;
- IV. Estimar o retorno econômico da variação do arranjo populacional do híbrido de milho P3016VYHR em função das zonas de manejo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A CULTURA DO MILHO E SUA IMPORTÂNCIA

O milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais cultivados e produzidos no mundo, sendo de interesse agrônomo para produção de grãos, forragem e uso pela indústria para a produção de diversos produtos (PAES, 2006). É uma planta originária do continente americano e atualmente seu cultivo está presente em quase todos os continentes, principalmente pela grande diversidade de genótipos que garantem adaptação em diferentes condições climáticas (BARROS e CALADO, 2014).

O milho é uma planta que pertence à família Poaceae, classificada no grupo de metabolismo fotossintético C4, tendo grande eficiência com o uso da água quando comparada a plantas C3, como a soja (DE PAULA LIMA; LAPERA; VILARINHO, 2018). Pelo fato de o milho ser uma planta C4, faz com que a mesma possua uma grande interação com o ambiente, isso faz com que em condições de déficit hídrico e altas temperaturas a planta aciona mecanismos fisiológicos, que acabam modificando seu crescimento e desenvolvimento, podendo reduzir seu potencial produtivo (MAGALHÃES *et al*, 2002).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022), na safra 2021/22 a área plantada de milho no mundo foi 206,26 milhões de hectares, alcançando uma produção total de 1.215,6 milhões de toneladas. O Brasil é o terceiro maior produtor e também o segundo maior exportador mundial de milho com um total de 44,5 milhões de toneladas exportadas na safra 2021/22 (FIESP, 2022).

No Brasil, milho é o segundo grão mais produzido, ficando atrás apenas da soja. Seu cultivo ocorre em três safras por ano agrícola (início em setembro), sendo a primeira safra ou safra de verão, cultivada de setembro a dezembro, a segunda safra, também conhecida como safrinha, de janeiro a abril e a terceira safra, na qual o plantio ocorre de abril a junho. Na safra 2021/22, a produção brasileira de milho é estimada em 115,22 milhões de toneladas, sendo a safrinha com maior representatividade, estimada em 88,01 milhões de toneladas que correspondem a 76,4%, já safra de verão correspondeu a 21,5% com produção de 24,81 milhões de toneladas e a terceira safra é estimada em 2,39 milhões de toneladas, equivalente a 2,1% da produção brasileira (CONAB, 2022).

No estado de Santa Catarina, o milho é de extrema importância na alimentação animal, tendo em vista que as atividades agropecuárias como avicultura, suinocultura, bovinocultura de

corte e bovinocultura de leite demandam o cereal para alimentação animal. Entretanto, a produção de milho no estado não é capaz de atender a demanda, no ano de 2020, houve um déficit de 4,36 milhões de toneladas, sendo necessário buscar alternativas como a importação de outros estados e também importando de países como Paraguai e Argentina (EPAGRI/CEPA, 2022).

3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO E DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO

Há relatos do uso de técnicas de agricultura de precisão (AP) desde o início do século XX, com a amostragem de solo em malhas para aplicação de calcário. Somente nos anos de 1980 que realmente foram adotadas na prática o uso de técnicas de AP como a obtenção de mapas de produtividade e a aplicação de adubo em doses variadas. Nos anos de 1990, com o surgimento e a liberação do sinal do Sistema de Posicionamento Global (GPS), as práticas de agricultura de precisão (AP) passaram a ter maior êxito na sua implementação (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

No Brasil, os primeiros equipamentos de agricultura de precisão foram importados a partir dos anos de 1995, sendo a barra de luz uma das primeiras ferramentas utilizadas, uso em aeronaves para aplicação de defensivos e posteriormente passou a ser utilizada em tratores e outros equipamentos para aplicação terrestre. No início do século XXI, a indústria brasileira passou a desenvolver os primeiros equipamentos de AP e com isso fez com que as ferramentas de AP fossem difundidas no país (MOLIN, 2017).

Segundo Pierce e Nowak (1999), a agricultura de precisão, abrange aspectos como a variabilidade das características do solo, clima, genética de plantas, diversificação de culturas, desempenho de máquinas e os insumos utilizados na produção de diferentes culturas. Com base nesses princípios, os autores definem que a agricultura de precisão é aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal, associada com todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental.

Para o sucesso na implantação da agricultura de precisão, segundo Tschiedel e Ferreira (2002), é necessário obter o máximo possível de dados para que seja possível ter conhecimento sobre a variabilidade existente na lavoura. Segundo França *et al.*, (2002) através do levantamento de dados com ferramentas de AP, como mapas de atributos químicos e físicos do solo, mapas de colheita, mapas de relevo, mapas de condutividade elétrica, é possível dividir as

áreas de um talhão em zonas de manejo ou produção, também chamadas de sítio específico, onde é possível adequar práticas agronômicas de acordo com a necessidade e potencialidade de cada zona.

As práticas agronômicas que podem ser empregadas nas zonas de manejo são amplas, abrangendo preparo de solo através de escarificação, utilização e dose de aplicação de corretivos e fertilizantes, escolha de cultivares e híbridos, ajuste da população de plantas (SCHWALBERT *et al.*, 2014).

A semeadura em taxa variável na cultura do milho é uma das práticas de AP que pode ser aplicada com a definição de zonas de manejo. Em estudo realizado por Horbe (2012), o uso da taxa variada para semeadura da cultura do milho foi eficiente para a definição da população de plantas de acordo com as zonas de manejo. Em zonas de baixo potencial produtivo (ZB) a diminuição na população apresentou incremento de 20% na produção e na zona de alta (ZA) foi possível um aumento da população obtendo um aumento na produtividade. Segundo Anselmi (2016), para a utilização da semeadura em taxa variável devem ser considerados alguns fatores, como o potencial produtivo das zonas de manejo, o híbrido utilizado e sua resposta ao aumento da população de plantas, e as condições climáticas que possam afetar o aumento do arranjo populacional.

Mesmo com pesquisas realizadas sobre semeadura em taxa variada de milho para definição da população em diferentes zonas de manejo, é necessário que o produtor que fará uso dessa prática de manejo realize experimentos na propriedade com diferentes híbridos e posteriormente com diferentes arranjos populacionais, a fim de definir o que melhor se adapta a suas condições de solo e ambiente (EITELWEIN *et al.*, 2016).

3.3 ARRANJOS POPULACIONAIS

Com o desenvolvimento de híbridos mais modernos, uma das estratégias para maximizar a produtividade de milho por área é através da diminuição do espaçamento entre linhas e a manipulação de arranjos populacionais, na qual objetiva-se alterar a distribuição de plantas na linha de semeadura buscando aumentar-se a eficiência no uso de recursos como luz, água e nutrientes (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). Em estudo realizado por Schmitt (2014) com o aumento na população de plantas foi possível alcançar uma produção acima de 18.000 kg ha⁻¹ de grãos por hectare. Em contraste a isso, a média de produção nacional na safra

2021/22 foi de 5.330 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022). Dessa forma o aumento da população de plantas é uma forma de alcançar altos rendimentos na cultura do milho.

Argenta *et al.* (2001), salientam que o sucesso do incremento de produção pela manipulação do arranjo populacional está ligado ao tipo de híbrido utilizado, seu ciclo e a arquitetura de planta, sendo os híbridos simples de ciclo precoce e de baixa estatura respondem melhor ao incremento de população, com aumento na produção de grãos. Além dos fatores já mencionados, é importante levar em consideração aspectos, como histórico de chuvas, disponibilidade hídrica, tecnologias adotadas e o nível de fertilidade e adubação para que seja possível obter sucesso com a manipulação do arranjo populacional (NUMMER FILHO e HENTSCHEKE, 2006; WORDELL FILHO e CHIARADIA, 2016).

Além dos aspectos citados anteriormente, deve-se estar atento ao custo de produção, principalmente com custo da semente de milho, já que com o aumento da população de plantas, aumenta-se o uso de sementes utilizadas no momento da semeadura, fazendo com que o custo de produção seja elevado. Em um levantamento dos custos de produção realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (2021) para a safra 2021/22, para a região oeste de Santa Catarina, o custo da semente de milho correspondeu a aproximadamente 20% do custo total de produção em condições de alta tecnologia.

Entretanto, ao mesmo tempo que o aumento na população de plantas de milho contribui para o aumento de produção, pode ser observado o efeito contrário em anos com eventos climáticos adversos, como estiagens. Andrade *et al.* (1996) *apud* Wordell Filho e Chiaradia (2016), observaram que em condições de déficit hídrico, o aumento da população de plantas de milho reduz significativamente o rendimento de grãos, ficando evidente que em situações de déficit hídrico é recomendado diminuir a população de plantas para diminuir a competição por recursos como a água.

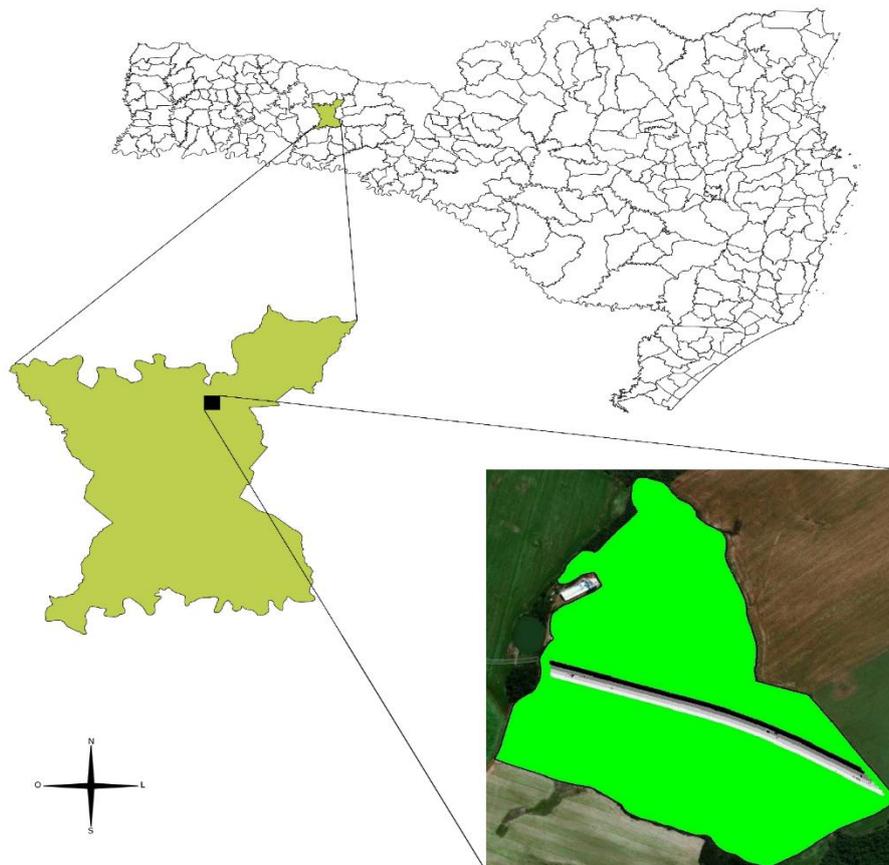
Em diversos estudos realizados, que comprovam que o aumento populacional na cultura do milho é uma forma de aumentar o rendimento de grãos (CALONEGO *et al.*, 2011; PASSOS *et al.*, 2019; ZUCARELI *et al.*, 2019), os autores destacam que essa estratégia é influenciada principalmente pelos híbridos utilizados. Para Silva *et al.* (2021), é necessária a realização de experimentos com diferentes híbridos, devido ao fato de os diferentes genótipos responderem de formas distintas a manipulação do arranjo populacional, a fim de poder recomendar-se de acordo com esses experimentos qual é a melhor população de plantas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO

O presente estudo foi realizado a campo, durante a safra 2021/2022, em uma área de produção agrícola no município de Faxinal dos Guedes – SC, localizado nas seguintes coordenadas geográficas, latitude 26°47'25.30"S e longitude 52°13'28.61"O (ponto central) (Figura 01), com altitude de 920m. O solo presente na área é classificado como Latossolo Bruno (EMBRAPA, 2004), com relevo ondulado. O clima da região é classificado por Köppen como Cfb, clima temperado, sem estação seca e verão fresco.

Figura 01 – Localização do município de Faxinal dos Guedes e localização do experimento



Fonte: Adaptado do banco de dados IBGE (2021).

A área onde o experimento foi realizado é manejada sob sistema plantio direto (SPD) a mais de 40 anos e em sistema de agricultura regenerativa a aproximadamente 15 anos, com cultivos rotacionados de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) no verão, trigo (*Triticum aestivum* L.) e plantas de cobertura como aveia-branca (*Avena sativa* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), cultivadas em diferentes composições de coquetéis no outono e inverno (Figura 02).

Figura 02 – Visão aérea do local onde o experimento foi instalado



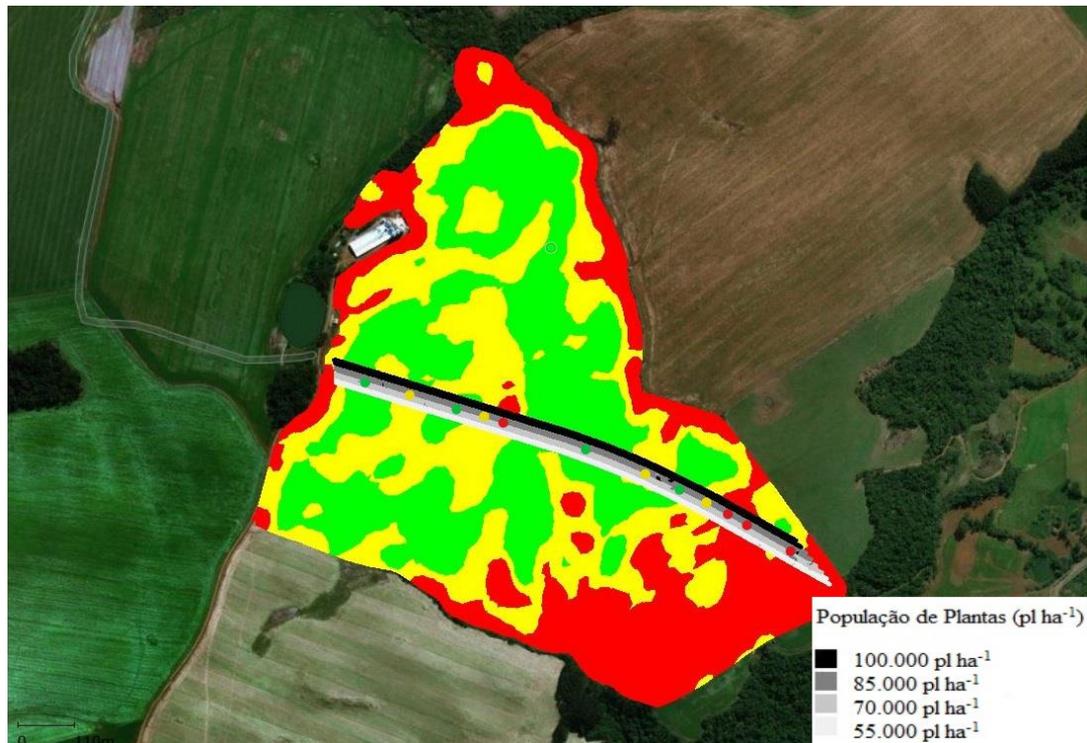
Fonte: Acervo do autor.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso e arranjados em esquema bi-fatorial (4x3), com quatro repetições, totalizando 12 tratamentos e 48 unidades experimentais, onde: os arranjos populacionais compuseram as faixas (sub parcelas) e as zonas de manejo (alta, média e baixa) as parcelas. Para avaliação nas zonas de

manejo, foram definidos pontos amostrais georreferenciados para a realização das avaliações do experimento (Figura 03).

Figura 03 – Visão geral dos tratamentos (população de plantas e zonas de manejo) e locais avaliados



Legenda: Verde – zona alta; Amarelo – zona média; Vermelho – zona baixa.

Fonte: Acervo do autor.

Os doze tratamentos (Tabela 1) resultaram na combinação entre quatro arranjos populacionais (55.000, 70.000, 85.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) e três zonas de manejo (zona de alta (ZA), zona de média (ZM) e zona de baixa (ZB)). As populações de 70.000 e 85.000 pl ha⁻¹ são recomendadas pela empresa detentora do híbrido para o híbrido P3016VYHR (PIONEER SEMENTES, 2020).

Tabela 1 – Tratamentos formado pela população de plantas e zonas de manejo

Tratamento	População de plantas ha⁻¹	Zona de manejo
T1	55.000	Zona de Alta (ZA)
T2	70.000	Zona de Alta (ZA)
T3	85.000	Zona de Alta (ZA)
T4	100.000	Zona de Alta (ZA)
T5	55.000	Zona de Média (ZM)
T6	70.000	Zona de Média (ZM)
T7	85.000	Zona de Média (ZM)
T8	100.000	Zona de Média (ZM)
T9	55.000	Zona de Baixa (ZB)
T10	70.000	Zona de Baixa (ZB)
T11	85.000	Zona de Baixa (ZB)
T12	100.000	Zona de Baixa (ZB)

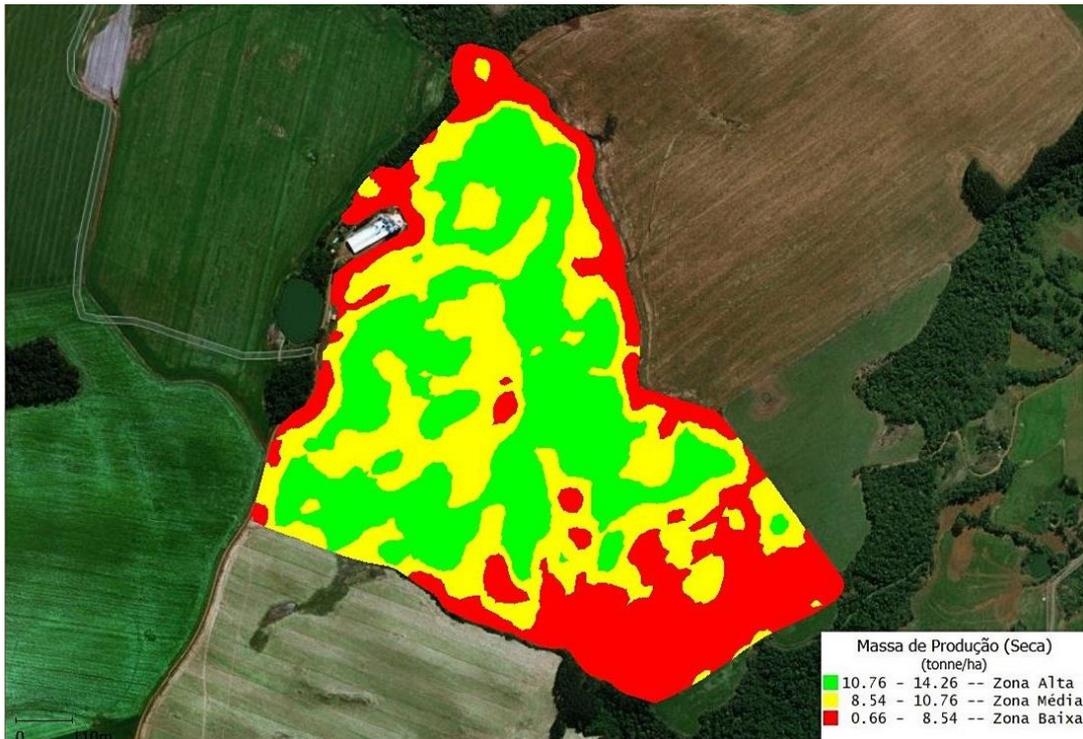
Fonte: Autor (2022).

A semeadura ocorreu em faixas a fim de facilitar a implantação do experimento e a colheita do mesmo, já que a colheita foi realizada de forma mecanizada. As faixas consistiram na semeadura de 24 linhas (duas passadas da semeadora) com espaçamento de 0,5 m, totalizando 12 m de largura e 1.000 m de comprimento, totalizando cada faixa em função da população de plantas com uma área de aproximadamente 1,2 hectares.

4.3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE MANEJO

As zonas de manejo foram definidas a partir de um mapa de produtividade da cultura do milho da safra 2017/18 (Figura 04). A utilização de mapas de produtividade da cultura do milho é eficiente para a definição de zonas de manejo devido as suas características que expressam a variabilidade espacial existente na lavoura (AMADO *et al.*, 2007).

Figura 04 – Definição das zonas de manejo através de mapa de produtividade de milho



Legenda: Verde – zona alta; Amarelo – zona média e Vermelho – zona baixa.

Fonte: Acervo do autor

As zonas de manejo foram definidas levando em consideração o potencial produtivo, através de um mapa de produtividade considerando produção de grãos em $t\ ha^{-1}$. O mapa de produtividade foi submetido a uma filtragem de dados com o auxílio do software Map Filter 2.0, de acordo com a metodologia proposta por Maldaner; Molin; Spekken (2021). Após a filtragem dos dados, a distribuição das zonas foi através de quebras naturais (Jenks), possibilitando homogeneizar dados internos e maximizar as diferenças entre as zonas (alta, média e baixa) (MARQUES *et al.*, 2012). Através dos dados obtidos através da metodologia utilizada, as zonas de manejo foram definidas da seguinte forma:

Zona de alta (ZA): acima de $10,76\ t\ ha^{-1}$;

Zona de média (ZM): de $8,54$ a $10,76\ t\ ha^{-1}$;

Zona de baixa (ZB): de $0,66$ até $8,54\ t\ ha^{-1}$.

4.4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura foi realizada no dia 01 de setembro, em sistema de plantio direto, sobre um mix de plantas de cobertura composto por ervilhaca (*Vicia sativa* L.), nabo forrageiro

(*Raphanus sativus* L.), centeio (*Secale cereale* L.) e aveia-branca (*Avena sativa* L.), que foi manejado com a utilização de um rolo faca acoplado na dianteira do trator no momento da semeadura.

Para a semeadura, foi utilizado uma semeadora de precisão SSM 13 FFI[®] (Semeato[®], Passo Fundo, Brasil) com espaçamento entre linhas de 0,5m. A semeadora é equipada com sistema de distribuição de sementes VACUUM SYSTEM[®] (Semeato[®], Passo Fundo, Brasil) e ISOBUS[®], que controla a transmissão dos dosadores de fertilizantes e sementes, possibilitando a definição de taxa fixa ou variável através de console instalado no trator. O trator é equipado com display AFS PRO 700[™] (Case IH, Piracicaba, Brasil) na qual foi realizado o controle da taxa de distribuição de sementes, com sinal RTX (Real Time eXtended).

O híbrido de milho utilizado foi o P3016VYHR da empresa PIONEER[®] (Corteva Agriscience[™], Barueri, Brasil) com finalidade para produção de grãos.

Foi realizada a inoculação de bactérias promotoras de crescimento e solubilizadoras de nutrientes (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*) no momento da semeadura com a aplicação via sulco, com sistema de pulverização de jato dirigido acoplado a semeadora.

A adubação foi realizada em duas etapas, sendo a primeira delas a adubação de sistema, que leva em consideração a reposição de nutrientes de acordo com as entradas e saídas, em condições onde a fertilidade do solo já tenha sido construída (CARVALHO et al., 2020). A adubação de sistema foi realizada no momento da semeadura do *mix* de plantas de cobertura com a aplicação em taxa fixa na base de pó de rocha basáltico (200 kg ha⁻¹) e fosfato natural com 24% de P₂O (100 kg ha⁻¹). A segunda etapa, ocorreu no momento da semeadura do milho, com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de NPK da fórmula 08-30-15. Para a adubação de cobertura, foi utilizado 250 kg ha⁻¹ de ureia com fórmula 45-00-00, dividido em 2 aplicações de 125 kg ha⁻¹, entre os estádios de V3 e V8.

As avaliações das variáveis biométricas foram realizadas no dia 11 de fevereiro, onde o milho encontrava-se no estágio R6 (maturação fisiológica), posteriormente foram realizadas as avaliações dos componentes de rendimento, já a colheita do experimento foi realizada no dia 16 de fevereiro, de forma mecanizada.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO HÍBRIDO

O híbrido utilizado foi o P3016VYHR que tem finalidade para grão e silagem, recomendado para cultivo na região. Suas características agrônômicas estão apresentadas na tabela 2, de acordo com a empresa desenvolvedora (PIONEER SEMENTES, 2020).

Tabela 2 – Características do híbrido P3016VYHR

Características	P3016VYHR
Ciclo	Precoce
Finalidade	Grão/silagem
Altura da planta (m)	2,70
Altura da inserção de espiga (m)	1,30
Graus dias Florescimento	748
Graus dias Maturidade fisiológica	1498
Região recomendada	Sul
Época semeadura	Cedo/Normal
População (mil plantas ha ⁻¹)	70 - 85
Ferrugem comum (<i>Puccinia sorghi</i>)	MS
Ferrugem polissora (<i>Puccinia polysora</i>)	S*
Mancha-branca	MS
Mancha de turcicum (<i>Exserohilum turcicum</i>)	S
Cercosporiose (<i>Cercospora zea-maydis</i>)	S
Enfezamentos (<i>Corn stunt</i>)	T

*Legenda: S – susceptível; MS – moderadamente susceptível; MT – moderadamente tolerante; T – tolerante.
Fonte: PIONEER SEMENTES (2020).

Além das características listadas na Tabela 2, alguns pontos fortes do híbrido são o elevado potencial produtivo; alta resposta ao manejo e estabilidade; excelente qualidade de colmo e de raiz; sob adequada condição de manejo (PIONEER SEMENTES, 2021). O híbrido conta ainda com as tecnologias de resistência a insetos-pragas e herbicidas (Leptra[®], Herculex[®], LibertyLink[®], Agrisure Viptera[®] e Roundup Ready[™]).

4.6 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos foram coletados durante a condução do experimento, a partir da data de semeadura no dia 01 de setembro de 2021 até a data em que foi avaliado e colhido o experimento, no dia 16 de fevereiro de 2022. Os dados de precipitação foram coletados diariamente com o auxílio de um pluviômetro instalado próximo do local do experimento. Os dados pluviométricos são apresentados na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de precipitação (mm) durante a execução do experimento

MÊS	ESTÁDIO	PRECIPITAÇÃO (mm)
SETEMBRO	V*	181
OUTUBRO	V	283
NOVEMBRO	V/R	92
DEZEMBRO	R	19
JANEIRO	R	123
FEVEREIRO	R	34

*Legenda: V – estágio vegetativo; R – estágio reprodutivo.

Fonte: Autor (2022).

4.7 AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS

As variáveis biométricas avaliadas foram diâmetro de colmo, altura de planta e altura de inserção de espiga, na maturação fisiológica das plantas (Figura 05). Foram avaliadas dez plantas, para todas as variáveis, aleatoriamente no centro de cada unidade experimental.

O diâmetro de colmo foi determinado com a utilização de um paquímetro, sendo realizada a medida do diâmetro do segundo internódio a partir da base da planta. Os valores obtidos foram expressos em milímetros (mm).

Para determinação da altura da planta, foi utilizada uma trena, medindo-se o comprimento do caule da superfície do solo até a inserção do pendão. Os valores obtidos foram expressos em centímetros (cm).

A altura de inserção de espiga foi determinada com o auxílio de uma trena, considerando o comprimento do caule da superfície do solo até a inserção da espiga. Foram avaliadas as

mesmas plantas utilizadas para a determinação da altura de planta. Os valores obtidos foram expressos em centímetros (cm).

Figura 05 – Avaliação dos parâmetros relacionados as variáveis biométricas



Esquerda: Medida do diâmetro de colmo com auxílio de paquímetro; Centro: Medida da altura de planta; Direita: Medida da altura de inserção de espiga.

Fonte: Acervo do autor.

4.8 AVALIAÇÃO DE COMPONENTES DE RENDIMENTO

Os componentes de rendimento avaliados foram número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa de 1.000 grãos e rendimento de grãos.

A determinação do número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira foram realizadas através de uma contagem simples. Foram amostradas dez espigas descascadas coletadas das plantas utilizadas para determinação das variáveis biométricas de altura de planta, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo.

A determinação do número de grãos por espiga foi realizada através da multiplicação do número de fileiras de grãos pelo número de grãos por fileira.

A massa de 1.000 grãos foi obtida através da debulha das dez espigas utilizadas para determinação do número de fileiras de grãos e pelo número de grãos por fileira. Após a debulha, foram contados 1.000 grãos para realização da pesagem com o auxílio de uma balança de precisão. Após a pesagem foi determinada a umidade (U%) com o uso de um medidor de

umidade de grãos portátil AL-101 (Agrologic, Curitiba, Brasil) e logo após os valores da massa de 1.000 grãos foram corrigidos para 13% de umidade, através da fórmula:

$$\text{Peso corrigido (13\%)} = \text{Peso bruto (g)} \times \frac{100 - \text{Umidade amostrada}}{100 - 13 (\text{Umidade desejada})}$$

4.9 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

A produtividade de grãos foi obtida através da colheita das faixas com o auxílio de uma colhedora de grãos modelo 8230 Extreme (Case IH, Piracicaba, Brasil) equipada com plataforma para colheita de milho de 24 linhas com espaçamento de 0,5 m. Além disso, a colhedora é equipada com sensores de produtividade e umidade originais de fábrica, que foram calibrados de acordo com as recomendações do fabricante, e sistema de monitoramento de colheita FieldView™ Drive (Climate FieldView™, São Paulo, Brasil) que permite coletar os dados gerados pela máquina e gerar um mapa de produtividade em tempo real através do aplicativo FieldView™ Cab (APÊNDICE B).

Através do mapa de produtividade de grãos, em cada ponto georreferenciado correspondente a zona de manejo foi amostrada uma parcela de aproximadamente 50 m² em cada faixa correspondente a população de plantas, onde foram coletados os dados de produtividade de grãos e a umidade gerados pela colhedora. O valor da produtividade de grãos foi corrigido para 13% de umidade através da mesma fórmula utilizada para correção dos valores de massa de 1.000 grãos.

Após a colheita e determinação do rendimento de grãos, os dados foram analisados e foram consideradas apenas duas repetições, totalizando apenas 24 unidades experimentais. Essa análise levou em consideração o mapa de produtividade da safra 2017/18, o qual foi utilizado para definir as zonas de manejo. Por tratar-se de um mapa gerado em uma safra onde as condições climáticas favoreceram a cultura do milho, a variabilidade presente na área é ocultada. A utilização de mapas de produtividade de milho em anos com ocorrência de estiagens, são mais confiáveis para a definição de zonas de manejo, já que demonstram a variabilidade espacial e temporal presente na área de forma mais confiável (AMADO *et al.*, 2007).

As repetições consideradas, levaram em consideração características de relevo como a elevação e declividade (Figura 07 e Figura 08) de acordo com a metodologia sugerida por Ibrahim e Huggins (2011); Martinez-Faria e Basso (2020).

A Figura 06 apresenta os pontos georreferenciados utilizados para a determinação do rendimento de grãos em função dos arranjos populacionais e zonas de manejo.

Figura 06 – Visão geral dos pontos amostrados para determinação do rendimento de grãos



Legenda: A – zona alta; M – zona média; B – zona baixa.

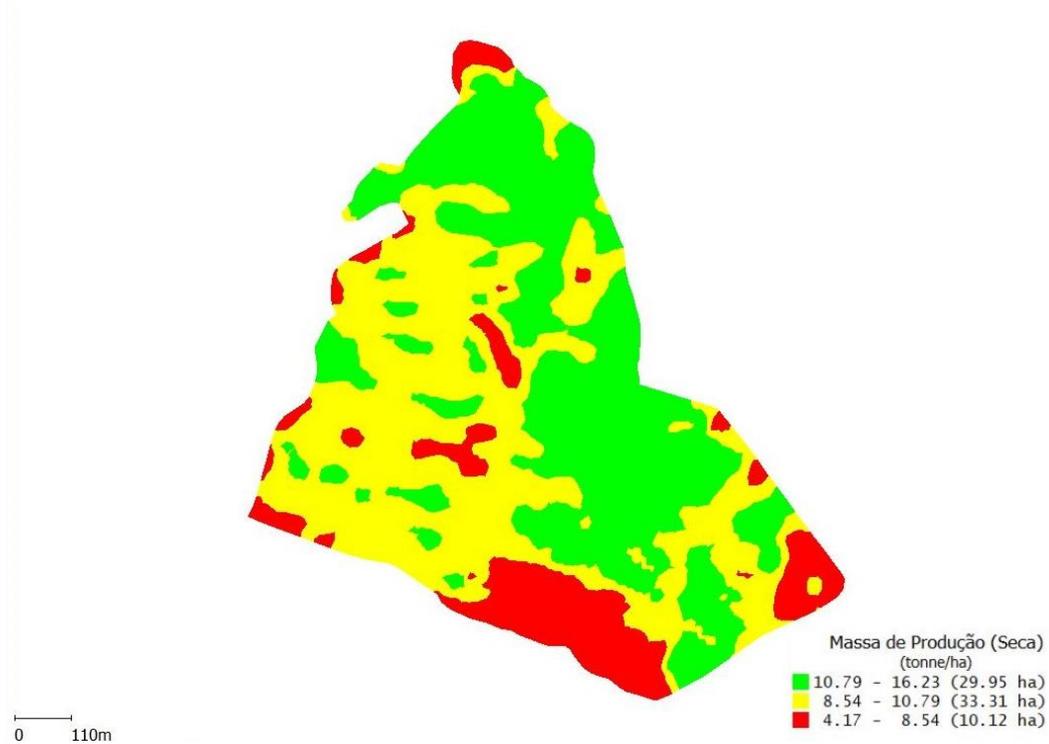
Fonte: Acervo do autor.

4.10 RETORNO ECONÔMICO DA TAXA VARIÁVEL DE SEMEADURA

O retorno econômico para a tecnologia de taxa variável de semeadura, foi realizado através de uma projeção utilizando os dados da produtividade de grãos em função da população de plantas e das zonas de manejo, que foi comparada ao retorno da taxa fixa. Para a comparação do retorno econômico de ambas formas de semeadura, foi utilizado um talhão com aproximadamente 73,3 hectares, no qual estava localizado o experimento do presente trabalho. Nesse talhão, foi cultivado na safra 2021/22 com o híbrido P3016VYHR utilizando taxa fixa de semeadura, com população de 80.000 pl ha⁻¹, a partir do mapa de produtividade gerado pela colhedora de grãos (Figura 07), foi obtida a produtividade média do híbrido e também foi

realizada a definição de zonas de manejo através da filtragem do mapa de produtividade pelo software Map Filter 2.0 (MALDANER; MOLIN; SPEKKEN, 2021). As zonas de alta corresponderam a 29,95 hectares, as zonas de média 33,31 ha e zonas de baixa, 10,12 ha.

Figura 07 – Zonas de manejo definidas a partir do mapa de produtividade da safra 2021/22.



Legenda: Verde – zona de alta, Amarelo – zona de média, Vermelho – zona de baixa.

Fonte: Acervo do autor.

Após a definição das zonas de manejo (zona de baixa (ZB), zona de média (ZM) e zona de alta (ZA), foram definidas as populações de plantas para cada zona de manejo a partir dos resultados da produtividade de grãos do presente trabalho, onde foi utilizado o arranjo populacional que apresentou a maior produção de grãos em cada zona de manejo. A taxa variável de sementes foi proposta levando em consideração a influência do fenômeno La Niña (estiagem) observado durante a execução do experimento a campo, durante a safra 2021/22.

Para o cálculo do retorno econômico de ambas tecnologias de semeadura, foram utilizados o custo com a quantidade de sementes (saco de sementes do híbrido P3016VYHR) e o valor bruto da produção (VPB) em R\$, obtido através da multiplicação da produção total do talhão em sacas pelo valor do milho comercializado no dia 16/03, que foi de R\$ 95,00 sc 60kg

⁻¹. Para a quantificação do custo com sementes, foi utilizado o valor pago (R\$ 1.215,00) por saco de sementes (60.000 sementes) do híbrido de milho P3016VYHR.

Através da definição da população de plantas, foi quantificado a quantidade de sacos de sementes utilizados por hectare e o custo por hectare e em área total. Foi quantificado também através dos resultados do rendimento de grãos, a produtividade na área total com a taxa variável para população de plantas e obtida a produtividade média, a qual foi utilizada para quantificar o ganho econômico da taxa fixa e taxa variável

Para a determinação do retorno econômico por hectare, foi subtraído o custo com sementes do valor bruto da produção. O retorno econômico total foi obtido para taxa fixa e taxa variável por hectare e na área total do talhão.

4.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, utilizando o programa estatístico R[®], as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PARÂMETROS RELACIONADOS A VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS

Os resultados dos parâmetros relacionados as variáveis biométricas diâmetro de colmo, altura de planta e altura de inserção de espiga, são apresentados em função da população de plantas e das zonas de manejo, devido ao fato de que a população e as zonas de manejo não apresentaram interação sobre os parâmetros avaliados.

5.1.1 Parâmetros em função da população de plantas

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de diâmetro de colmo (DC), altura de planta (AP) e altura de inserção de espiga (AIE). Observa-se que as diferentes populações de plantas por hectare influenciaram significativamente os parâmetros avaliados. O aumento da população de plantas interfere diretamente em características morfológicas, como a alongação dos entrenós, que acarreta na diminuição do diâmetro de colmo e leva ao aumento da altura de planta e da inserção de espiga (LIU *et al.*, 2009).

Tabela 5 – Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (APL) e altura de inserção de espiga (AIE) em função de diferentes arranjos populacionais

População de Plantas (pl ha⁻¹)	DC (mm)	APL (cm)	AIE (cm)
55.000	22,94 a ¹	245,54 b	134,37 c
70.000	22,38 b	247,75 b	141,61 bc
85.000	22,76 b	259,95 a	147,37 ab
100.000	21,85 b	260,65 a	152,83 a
CV (%)	4,2	2,86	5,34

¹Médias seguidas de letras iguais, dentro de cada fator, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

O diâmetro de colmo foi influenciado pela população de plantas, sendo a menor população, de 55.000 pl ha⁻¹ que apresentou maior diâmetro de colmo, diferenciando-se

estatisticamente das demais populações. O maior diâmetro de colmo é devido a menor competição intraespecífica pelo número reduzido de plantas, nas quais puderam aproveitar melhor recursos como água e nutrientes. O menor diâmetro de colmo foi encontrado nas populações de 70.000, 85.000 e 100.000 pl ha⁻¹, nas quais os valores não diferiram estatisticamente entre si. Menores valores no diâmetro de colmo evidenciam que com o aumento do número de plantas, aumentou a competição intraespecífica.

Segundo Fornasieri Filho, (2007) o colmo além de ser uma estrutura de suporte, também é um órgão de reserva, o qual armazena fotoassimilados após o crescimento vegetativo. Em condições de competição por recursos, quando a fonte de fotoassimilados apresenta limitações as reservas do colmo são translocadas para as espigas, fazendo com que o diâmetro de colmo possa sofrer uma redução de tamanho.

Os resultados corroboram com estudo realizado por Balem (2013), no qual observou o mesmo comportamento de diminuição do diâmetro de colmo utilizando o híbrido P30F36H submetido a populações de plantas de 50.000 para 110.000 plantas ha⁻¹. O autor verificou que o aumento na população de plantas reduziu em até 20% o diâmetro de colmo, devido a competição intraespecífica por recursos do meio.

Em estudo realizado por Zucareli *et al.* (2019), utilizando populações de 40.000 a 100.000 pl ha⁻¹, foi observado que a população de plantas teve influência negativa sobre o diâmetro de colmo, o maior valor de diâmetro de colmo foi obtido com a menor população de plantas, com o aumento do arranjo populacional, o diâmetro de colmo reduziu, apresentando seu menor valor na maior população.

Já para a altura de planta, a população de plantas teve influência significativa, sendo os maiores valores observados nas populações de 85.000 e 100.000 pl ha⁻¹, evidenciando que o aumento de indivíduos por área contribuiu para o aumento da competição intraespecífica. Os menores valores de altura de planta foram observados nas populações de 55.000 e 70.000 plantas ha⁻¹. Os resultados obtidos evidenciam que conforme aumentou a população de plantas, houve aumento na competição intraespecífica.

Zucareli *et al* (2019), observaram o mesmo comportamento para altura de planta utilizando o híbrido AG9010 YG, submetido a populações de 40.000 a 100.000 pl ha⁻¹. A menor população foi a que apresentou a menor altura de planta, conforme aumentou a população de plantas, foi observado um comportamento linear do aumento da altura de planta.

A altura de inserção de espiga respondeu significativamente a população de plantas, com o aumento da população de plantas, aumentou-se a altura da inserção de espiga. O menor valor da altura de inserção de espiga foi observado com a população de 55.000 plantas,

conforme aumentou a população de plantas, aumentou a altura de inserção de espiga, sendo o maior valor do parâmetro avaliado obtido com a população de 100.000 plantas ha⁻¹. Esses resultados evidenciam que houve competição intraespecífica, o que levou as plantas a aumentarem sua altura e conseqüentemente a altura de inserção de espiga para buscar maior interceptação de luz solar (SANGOI, 2002).

Da Silva *et al.*, (2014) verificaram para os híbridos de milho AS 32 e AS 1540 avaliados em populações de 40.000, 60.000 e 80.000 plantas por hectare, que o aumento da população de plantas levou as plantas a apresentarem maiores valores da altura de inserção de espiga. Vogel (2019), em estudo realizado em Cerro Largo-RS, utilizando populações de plantas de 50.000 a 70.000 plantas ha⁻¹, verificou o mesmo comportamento de aumento a altura de inserção de espiga para o híbrido LG 6033VT PRO2 com o aumento da população de plantas.

Já Gonçalves (2008) em trabalho realizado em três locais na região oeste do Paraná, observou resultado contrário para os híbridos AS1565, AS1570 e AS1575, que foram submetidos a populações de 50.000 a 80.000 plantas ha⁻¹, não sendo observada influência do arranjo populacional na altura de planta e altura de inserção de espiga. Balem (2013) também não observou influência da população de plantas sobre a altura de inserção de espiga, evidenciando que a genética de cada híbrido pode ter influência sobre o parâmetro avaliado. Considerando que esses resultados podem ser muito influenciados pelo material genético (híbrido) e os fatores ambientais durante o desenvolvimento das plantas.

5.1.2 Parâmetros em função de zonas de manejo

Na tabela 06 são apresentados os valores médios do diâmetro de colmo em função das zonas de manejo. As zonas de manejo não influenciaram no diâmetro de colmo, não havendo diferença estatística entre as zonas de alta, zona de média e zona de alta. Observa-se que as diferentes zonas de manejo influenciaram significativamente a altura de planta e altura de inserção de espiga.

Tabela 6 – Diâmetro de colmo (DC), altura de planta (APL) e altura de inserção de espiga (AIE) em função de diferentes zonas de manejo

Zona de Manejo	DC (mm)	APL (cm)	AIE (cm)
Zona de Alta (ZA)	23,40 a ¹	264,18 a	149,56 a
Zona de Média (ZM)	23,05 a	253,55 b	144,23 ab
Zona de Baixa (ZB)	22,65 a	242,70 c	138,35 b
CV (%)	4,2	2,86	5,34

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

O diâmetro de colmo não sofreu influência das zonas de manejo, isso deve-se ao fato de que os valores do diâmetro de colmo em função das zonas, foram a média dos valores do parâmetro em função dos arranjos populacionais. Oliveira (2014), obteve resultados semelhantes ao avaliar o diâmetro de colmo em diferentes zonas de manejo, nas quais haviam diferentes populações de plantas para o híbrido de milho P1630.

O diâmetro de colmo não ter apresentado diferença nas diferentes zonas de manejo pode estar relacionado com a inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis*, que influenciam no aumento do diâmetro do colmo segundo Moreno; Kusdra e Picazevicz (2021). Outro fator que explica a não diferenciação estatística desse parâmetro é o uso de plantas de cobertura em consórcio como aveia (*Avena* spp., ervilhaca (*Vicia* spp.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), que proporcionam melhora nas características físicas do solo, especialmente em zonas de baixa, fazendo com que apresente características semelhantes as zonas de alta e média (SANTI, 2007).

Já para os parâmetros de altura de planta e altura de inserção de espiga, as zonas de manejo tiveram influência significativa, de forma que os maiores valores para altura de planta e altura de inserção de espiga foram observados nas zonas de alta (ZA), já os menores valores, foram observados na zona de baixa (ZB).

Os resultados obtidos para os parâmetros relacionados as características biométricas em diferentes zonas de manejo, podem ter sofrido influência das características de cada zona de manejo. Em estudo realizado por Santi (2007), as zonas de manejo apresentam diferentes características de solo, nas quais interferem no desenvolvimento e produção das culturas. Segundo o autor, as características físicas do solo como agregados, densidade e micro porosidade se diferenciam nas zonas de manejo, zonas de alta apresentam melhores valores com relação a essas características quando comparado a zona de baixa. Ainda segundo Santi, as

características físicas do solo das diferentes zonas de produção têm interferência na infiltração de água no solo, zonas com alto potencial apresentam maior taxa de infiltração, seguidas pela zona de média e zona de baixa.

A prática de co-inoculação via sulco de bactérias como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* está relacionada diretamente com os parâmetros de altura de planta e altura de inserção de espiga. Em estudo realizado por Cerigioli (2005), o uso de *Bacillus megaterium* promoveu aumento do sistema radicular e da parte aérea das plantas de milho. Mazzuchelli; Sossai; Araújo (2014) observaram que a utilização de *Azospirillum brasilense* juntamente com *Bacillus subtilis* inoculados na semeadura da cultura do milho, gerou aumento na altura de planta.

Em estudo realizado por Passinato (2022), utilizando duas enzimas para observar a biodiversidade em diferentes zonas de manejo, observou que em zonas de alta produção houve maior biodiversidade e uma maior presença de organismos promotores de crescimento às plantas (*Bacillus* sp., *Trichoderma* sp., *Rhizobium* sp.). Já para zonas de baixa produção, foi observado a maior ocorrência de organismos patogênicos como *Fusarium* sp. e *Macrophomina* sp. Esses resultados corroboram com a afirmação de que a co-inoculação promoveu o crescimento maior altura de planta e altura de inserção de espiga na zona de alta, onde as condições para os microrganismos eram favorecidas.

5.2 COMPONENTES DE RENDIMENTO

Os resultados para os componentes de rendimento são apresentados em função da população de plantas e zonas de manejo separadamente, os fatores população e zonas de manejo não apresentaram relação significativa.

5.2.1 Componentes de rendimento relacionado as espigas em função da população de plantas

A tabela 7 apresenta os valores do número de fileiras de grãos por espiga (FG), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG). A população de plantas influenciou significativamente os parâmetros avaliados, de forma que o

aumento no número de plantas afetou negativamente os parâmetros avaliados, exceto o número de fileira de grãos.

Tabela 7 – Valores médios do número de fileiras de grãos por espiga (FG), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG) em função de diferentes arranjos populacionais

População de plantas (pl ha⁻¹)	FG (unidade)	GF (unidade)	GE (unidade)	MMG (unidade)
55.000	15,85 a ¹	39,45 a	624,75 a	313,13 a
70.000	15,36 a	36,23 b	557,04 b	280,94 ab
85.000	15,47 a	32,55 c	504,35 bc	259,14 b
100.000	15,17 a	30,68 c	466,06 c	261,88 b
CV (%)	3,79	8,02	9,13	11,32

¹ Médias seguidas de letras iguais, dentro de cada fator, não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

O número de fileiras de grãos não foi influenciado pela população de plantas, uma explicação para não ocorrer diferença entre ser devido a genética do híbrido. Segundo Lopes *et al.*, (2007) as características de espigas, como o número de fileiras de grãos, estão diretamente relacionadas ao genótipo.

Em trabalhos realizados por Marchão *et al.* (2005), Kappes *et al.* (2011) e Balem (2013), utilizando arranjos populacionais de 40.000 a 110.000 pl ha⁻¹, não observou-se influência do aumento da população de plantas no número de fileira de grãos, estes resultados corroboram com o presente trabalho, evidenciando que o número de fileira de grãos está relacionado diretamente a genética de cada híbrido de milho.

Outro fator que pode explicar o número de fileira de grãos não ter apresentado diferenças é devido ao estágio vegetativo no qual ocorre sua definição. Segundo Magalhães e Durães (2006), o número de fileira de grãos por espiga é definido no estágio vegetativo V8, observando a tabela 3, onde é apresentado os dados pluviométricos, pode se observar condições ambientais favoráveis, com precipitação abundante, fazendo com que as plantas pudessem expressar o máximo potencial na definição do número de fileiras.

A população de plantas influenciou significativamente o número de grãos por fileira e consequentemente o número de grãos por espiga. O número de grãos por fileira e o número de grãos por espiga sofreram redução com o aumento da população de plantas. Batista *et al.* (2019)

obteve resultados semelhantes ao presente trabalho, o aumento da população de plantas diminuiu o número de grãos por fileira para dois híbridos (2B587 e AG9030) cultivados como segunda safra, que foram submetidos a populações de 45.000 a 75.000 pl ha⁻¹.

A resposta negativa para o parâmetro de número de grãos por espiga corrobora com resultados obtidos por Sangoi *et al.*, (2019), que observaram uma diminuição do número de grãos por espiga com o aumento da densidade de plantas. Esse fato se deve a competição intraespecífica por recursos aumentar em maiores populações de plantas, causando atraso no florescimento e formação da espiga, levando a diminuição do número de grãos por fileira e número de grãos por espiga (SANGOI *et al.*, 2001).

O fator que influenciou negativamente os parâmetros de número de grãos por fileira e número de grãos por espiga de forma mais significativa, foi o déficit hídrico no mês de dezembro que coincidiu com o início dos estádios reprodutivos do milho, a partir do estágio R1. Segundo Bergamaschi, *et al.* (2004) o período que compreende o florescimento até o início do enchimento de grãos é considerado o período crítico da cultura do milho, tendo em vista que durante esse período são definidos os componentes de rendimento da cultura. Ainda segundo o referido autor, em trabalho realizado na safra 2002/03, na qual ocorreu uma estiagem no período crítico que fez com que o número de grãos por espiga fosse afetado negativamente. Magalhães e Durães (2006) afirmam que o estresse hídrico no estágio R1 afeta a polinização e consequentemente o número de grãos.

O fator população de plantas interferiu significativamente na massa de 1000 grãos, o maior valor foi obtido no arranjo populacional de 50.000 plantas ha⁻¹, conforme aumentou a população de plantas, os valores da massa de 1.000 grãos diminuíram, sendo observado o menor valor na população de 100.000 plantas ha⁻¹. Isso demonstra o maior potencial de produção das plantas em populações reduzidas, onde a competição por recursos é menor quando comparada a alta populações e a competição intraespecífica tende a aumentar pelo alto número de indivíduos na área.

Segundo Calonego *et al.* (2011), Balem (2013), Passos *et al.* (2019), e Sangoi *et al.* (2019), o aumento no número de plantas por área, acaba resultando em uma menor massa de 1.000 grãos, em todos os trabalhos, as menores populações (45.000, 50.000, 55.000 plantas ha⁻¹ e 3 plantas m²⁻¹, respectivamente) apresentaram grãos mais pesados quando comparado aos grãos obtidos nas maiores populações de plantas (75.000, 100.000 e 110.000 plantas ha⁻¹)

O déficit hídrico no período de enchimento de grãos contribuiu para a diferenciação dos valores de massa de 1.000 grãos, fazendo com que nas maiores densidades populacionais, ocorresse o aumento da competição intraespecífica pela água. A ocorrência de déficit hídrico

no período de enchimento de grãos resulta em uma menor produção de carboidratos, fazendo com os grãos apresentem uma menor massa (MAGALHÃES e DURÃES, 2006).

5.2.2 Componentes de rendimento relacionado as espigas em função de zonas de manejo

Na Tabela 8, são apresentados os valores médios do número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos em função das diferentes zonas de manejo. As zonas de manejo não influenciaram o número de fileira de grãos, no entanto os outros parâmetros avaliados sofreram influência das diferentes zonas de manejo.

Tabela 8 – Número de fileiras de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG) em função de diferentes zonas de manejo

Zona de Manejo	NFG (unidade)	GF (unidade)	GE (unidade)	MMG (g)
Zona de Alta	15,39 a ¹	36,89 a	568,93 a	299,00 a
Zona de Média	15,53 a	34,51 ab	536,96 ab	269,95 b
Zona de Baixa	15,46 a	32,78 b	508,27 b	267,37 b
CV (%)	3,79	8,02	9,13	11,32

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

O fato de o número de fileiras de grãos não ter sido influenciado pelas zonas de manejo está relacionado diretamente a genética do híbrido e também a esse parâmetro ser definido ainda no estágio vegetativo, quando ocorreram condições ambientais com precipitações abundantes, fazendo com que fosse possível expressar seu máximo potencial na definição do número de fileiras de grãos.

Com relação ao número de grãos por fileira, as zonas de manejo influenciaram significativamente, onde o número de grãos por fileira foi superior em zonas de alta em relação a zonas de baixa, os valores do parâmetro foram inferiores. Esse resultado está diretamente relacionado com as características de cada zona de manejo e com a disponibilidade hídrica,

tendo em vista que no momento em que o milho estava em período reprodutivo, foi observada a ocorrência de um período de estiagem, que acabou evidenciando a variabilidade espacial de cada zona de manejo a partir dos parâmetros avaliados.

Durante o período de florescimento, a cultura do milho necessita aproximadamente 7,5 mm por dia, já nos estádios reprodutivos, a partir de R1, a demanda hídrica é de 8 mm diários (CIAMPITTI; ELMORE; LAUER, 2011). Como observado na Tabela 3, o período reprodutivo coincidiu com o mês de dezembro, no qual apresentou acumulado pluviométrico de apenas 19 mm, bem abaixo da necessidade da cultura do milho nesse período.

Outro fator que juntamente com o déficit hídrico explica a diferenciação dos resultados nas diferentes zonas de manejo é que as características físicas do solo existentes dentro de uma lavoura são variáveis e isso implica na distribuição da água nos diferentes locais da lavoura (BASSOI *et al.*, 2019). Características físicas do solo, juntamente com a topografia (elevação e declividade) estão relacionados com o acúmulo de água no solo, permitindo o uso desses parâmetros para diferenciar as zonas de manejo (IBRAHIM e HUGGINS, 2011).

Santi *et al.*, (2012) observaram que zonas de alta tem maior taxa de infiltração de água, comparada com zonas de média e baixa produção, isso demonstra que em condições de estresse hídrico as zonas de alta apresentam maior potencial produtivo que as demais. Em estudo realizado por Amado *et al.* (2009), foi observado que as zonas de manejo apresentam diferentes capacidades de armazenamento de água, zonas de baixa apresentaram menor capacidade de armazenamento de água quando comparada a zonas de alta e média.

Os resultados apresentados pelos referidos autores corroboram com o presente trabalho, onde as zonas de alta (ZA), apresentaram os maiores valores para os parâmetros de número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE) e massa de 1.000 grãos (MMG).

Outro fator que contribuiu para a zona de alta apresentar os maiores valores nos parâmetros que apresentaram diferença estatística, é a utilização de bactérias promotoras de crescimento, as quais possuem melhores condições para desenvolvimento nas zonas de alta (PASSINATO, 2022). Silva e Reis (2021) relatam que o uso de *Bacillus subtilis* associado com *Azospirillum brasiliense* inoculados na semeadura do milho, contribuiu para o aumento da massa de 1.000 grãos, já em trabalho realizado por Guimarães *et al.*, (2021), utilizando as bactérias *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* inoculadas na semeadura, houve aumento no número de grãos por espiga para o híbrido de milho 30F53YH.

5.3 RENDIMENTO DE GRÃOS E RETORNO ECONÔMICO

5.3.1 Rendimento de grãos

A tabela 9 apresenta a produtividade de grãos dos arranjos populacionais em função das zonas de manejo.

Tabela 9 – Rendimento de grãos dos arranjos populacionais em função das zonas de manejo

População de Plantas (pl ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)		
	Zona de Alta	Zona de Média	Zona de Baixa
55.000	13.987,65 ab ¹	10.983,52 a	8.907,58 a
70.000	14.575,93 ab	10.743,52 a	8.269,17 a
85.000	14.915,76 a	10.174 96 a	7.439,03 ab
100.000	12.355,72 b	8.156,07 b	6.589,52 b
CV (%)	3,56	3,72	4,18

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

Para as zonas de alto potencial produtivo (ZA), a utilização das densidades populacionais recomendadas pela empresa Pioneer Sementes (70.000 e 85.000 pl ha⁻¹) detentora do híbrido, apresentaram as maiores produtividades e ambas populações não diferiram estatisticamente. Na população de 55.000 pl ha⁻¹, apesar de apresentar maiores valores para os componentes de rendimento, não apresentou a maior produtividade, sendo necessário buscar um arranjo populacional considerado ideal (Maddoni *et al.*, 2001). O resultado para os maiores rendimentos de grãos estarem entre a população de 70.000 e 85.000 pl ha⁻¹ corrobora com Horbe (2012) que ao realizar estudo no Rio Grande do Sul, com o híbrido Pioneer 30F53 em populações de 40.000 a 80.000 pl ha⁻¹, observou que na zona de alta a população de 80.000 pl ha⁻¹ apresentou o maior rendimento de grãos.

Em situações onde não é observado a ocorrência de déficit hídrico, com precipitações abundantes, especialmente no período crítico para definição da produção, o incremento de plantas pode responder de forma positiva, como observado por Passos *et al.*, (2019) que em trabalho realizado no oeste do Paraná, com o híbrido P3016VYHR submetido as populações de 55.000, 70.000, 85.000 e 100.000 pl ha⁻¹, obteve o maior rendimento de grãos com a populações

de 100.000 pl ha⁻¹, seguida pela população máxima recomendada pela empresa Pioneer Sementes (85.000 pl ha⁻¹).

Na zona média (ZM), a população de 55.000 pl ha⁻¹ apresentou valores que não se diferenciaram estatisticamente das populações recomendadas de 70.000 e 85.000 pl ha⁻¹, evidenciando que em anos com a ocorrência de déficit hídrico, a redução da população de plantas pode ser uma alternativa nas zonas de média, alcançando rendimento igual ou superior em relação a recomendação de populações feita pela empresa detentora do híbrido.

Já para a zona de baixa, a população de 55.000 pl ha⁻¹ e a menor população recomendada (70.000 pl ha⁻¹) pela empresa Pioneer Sementes para o híbrido, apresentaram os maiores valores para rendimento de grãos, devido a menor competição intraespecífica. Esses resultados corroboram com Horbe (2012), que através da utilização de populações entre 46.000 e 64.000 pl ha⁻¹ em zonas de baixo potencial produtivo, apresentaram os melhores resultados de rendimentos de grãos. Nas zonas de baixa, devido a características do solo que limitam a disponibilidade de água (SANTI, 2007), foi observado que as populações de plantas de 85.000 e 100.000 pl ha⁻¹ proporcionaram aumento na competição intraespecífica e pela condição de deficiência hídrica as folhas do terço inferior entraram em processo de senescência (APÊNDICE E).

A senescência tende a aumentar quando as plantas estão em período de enchimento de grãos e possuem relação entre o número de grãos e área foliar (WRIGHT; SMITH; McWILLIAM, 1983 *apud* SANTOS e CARLESSO, 1998). No entanto a perda da área foliar abaixo da espiga após o florescimento, não influencia no rendimento de grãos, já que a área foliar fisiologicamente ativa está acima da espiga, com maior interceptação de luz solar (ALVIM *et al.*, 2011).

Em todas as zonas de manejo, o incremento de plantas com a população de 100.000 pl ha⁻¹, respondeu de forma negativa devido a competição intraespecífica por recursos (SANGOI; SILVA; ARGENTA, 2010), especialmente pela água, já que houve a ocorrência de um período de déficit hídrico que coincidiu com o período do florescimento até o enchimento de grãos, período esse considerado como período crítico da cultura do milho.

Os estádios fenológicos que compreendem a iniciação floral, fertilização e enchimento de grãos, são considerados como período crítico quanto a falta de água, tendo em vista que esses estádios estão diretamente ligados com a produção de grãos (MAGALHÃES e DURÃES, 2006). Durante o período crítico para definição da produção de grãos, a cultura do milho demanda entre 7 a 8 mm de água diariamente (BERGAMASCHI *et al.*, 2001; CIAMPITTI;

ELMORE; LAUER, 2011), demanda essa que não foi atendida, já que no mês de dezembro, as precipitações registradas somaram apenas 19 mm (Tabela 3).

Bergamaschi, *et al.* (2004), observaram na safra 1998/1999 que um acumulado de 47 mm no período crítico para definição de grãos, fez com que o milho apresentasse uma produtividade de aproximadamente 8.000 kg ha⁻¹. Já na safra 2002/2003, o referido autor observou que a ocorrência de uma estiagem no período crítico fez com que os componentes de rendimento como o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga fossem afetados, acarretando em uma produtividade inferior a 2.000 kg ha⁻¹.

Já Andrade *et al.* (1996) *apud* Wordell Filho e Chiaradia (2016), em trabalho realizado na Argentina no ano de 1994, utilizando populações de plantas entre 50.000 a 100.000 pl ha⁻¹, observou em duas situações de déficit hídrico, com deficiência de 150 e 300 mm, onde em ambas situações, o rendimento de grãos diminuiu com o aumento da população de plantas, no entanto, em condições sem restrição hídrica, o autor obteve aumento no rendimento de grãos com o aumento das populações de plantas.

A tabela 10, apresenta o rendimento médio de grãos em função das zonas de manejo, a variação do rendimento de grãos em função das zonas de manejo, está diretamente ligado as características de cada zona. Segundo Machado *et al.* (2000) fatores como elevação, características do solo (físicas e químicas) e a água presente no solo, tem grande influência sobre o rendimento de grãos na cultura do milho.

Tabela 10 – Rendimento médio de grãos em função das zonas de manejo

Zona de Manejo	Rendimento de grãos (kg ha⁻¹)
Zona de Alta	13.958,77 a ¹
Zona de Média	10.014,52 ab
Zona de Baixa	7.801,32 b
CV (%)	7,85

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autor (2022).

Parâmetros físicos do solo como taxa de infiltração de água, tamanho de agregados, densidade do solo e compactação, interferem diretamente na quantidade de água no solo, sendo a taxa de infiltração de água, o indicador que tem maior influência sobre o desempenho produtivo de diversas culturas (SANTI, 2007), além disso, os indicadores físicos do solo interferem diretamente na capacidade de armazenamento de água (AMADO *et al.*, 2009).

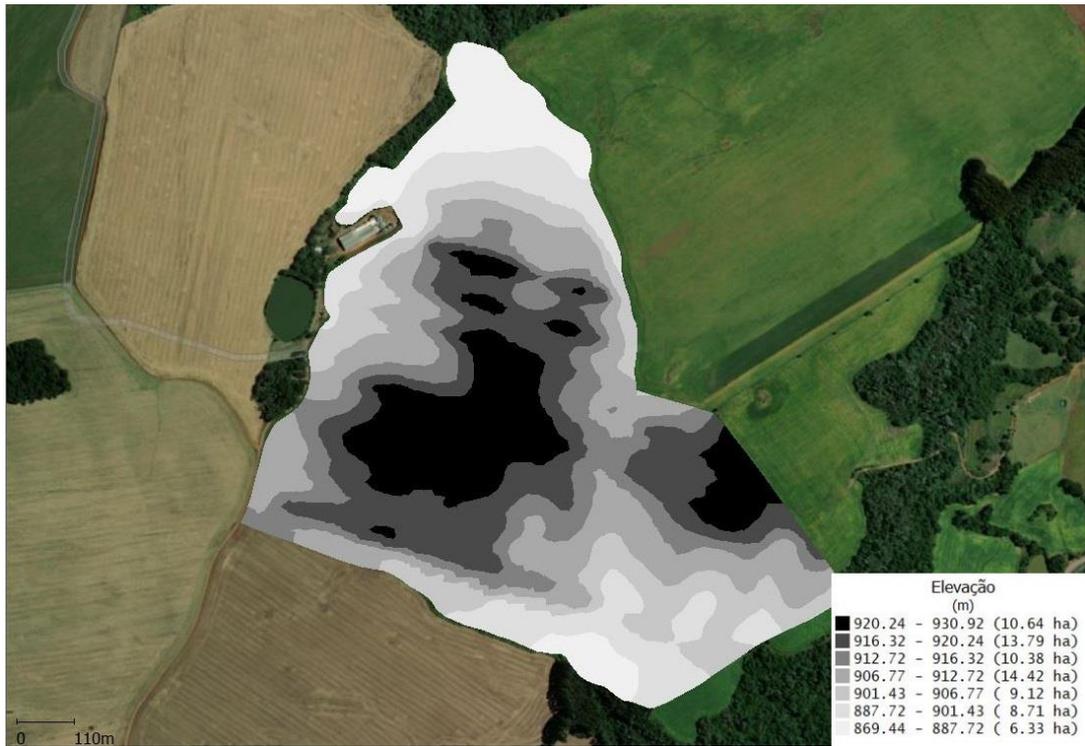
No entanto, em estudo realizado por Ortiz (2019), também no município de Faxinal dos Guedes – SC, o autor observou que em condições de manejo a mais de 10 anos em sistema de agricultura regenerativa e 37 anos de sistema de plantio direto, considerando o manejo nas áreas de produção homogêneo, as características do solo como densidade, resistência a penetração e porosidade total não diferiram em zonas de alto, médio e baixo potencial. Os resultados obtidos por Ortiz (2019), corroboram com Santi (2007), que observou com a utilização de plantas de cobertura como aveia (*Avena spp.*), ervilhaca (*Vicia spp.*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), ambas em consórcio, há uma tendência de melhoria nas características das zonas de baixa, já para as zonas de médias e alta, as características são mantidas.

Além de melhorar características físicas do solo, as plantas de cobertura também têm papel fundamental na conservação da água no solo, através da palhada gerada, o solo é capaz de armazenar mais água quando comparado a um solo sem cobertura. Isso se deve ao fato de as plantas de cobertura gerarem um volume de palha na qual diminui a temperatura do solo, conseqüentemente diminuindo a evaporação e também se evita a perda de água e solo através da erosão (MORAES *et al.*, 2016). Segundo Klein e Klein (2014), o plantio direto e cobertura de solo são práticas importantes para o aumento da infiltração e conservação da água no solo.

Além disso, a disponibilidade e armazenamento de água no solo está ligada também ao relevo (MACHADO *et al.*, 2000; IBRAHIM e HUGGINS, 2011; MARTINEZ-FARIA e BASSO, 2020). Segundo os autores citados, levando em consideração o relevo, as zonas de alta (ZA) apresentam menores elevações e relevo mais plano, o que leva a uma maior capacidade de armazenamento de água, já as zonas de baixa são encontradas em áreas mais elevadas, onde as características de solo e relevo implicam em condições de escoamento da água, resultando em uma menor capacidade de armazenamento, já as zonas de média, são encontradas entre as zonas de alta e baixa, apresentando características como elevação intermediária as demais e sendo influenciadas principalmente pela declividade que também proporciona escoamento superficial da água, em menores condições quando comparada a zonas de baixa (SANTI, 2007).

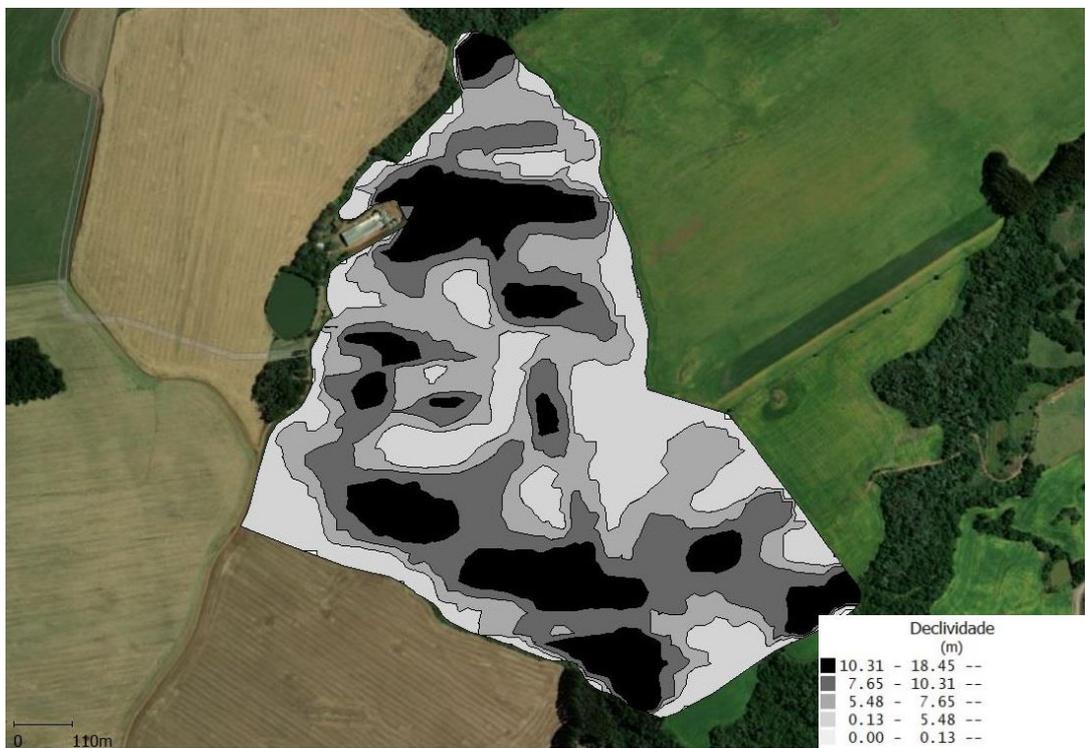
A partir dos resultados dos autores mencionados, pode-se concluir que os fatores de características físicas do solo podem não ter influenciado a disponibilidade de água nas zonas de manejo, com isso, a disponibilidade de água no solo teve influência do relevo e a declividade presente na área, através do levantamento de dados de relevo e declive da área (Figura 08 e Figura 09) comparados com o mapa de produtividade evidenciam a influência desses fatores.

Figura 08 – Mapa de elevação do talhão



Fonte: Acervo do autor

Figura 09 – Mapa de declividade do talhão



Fonte: Acervo do autor

Oliveira (2014), ao avaliar arranjos populacionais em zonas de manejo com relevo plano e declivoso para o híbrido de milho P1630, observou que as zonas que apresentavam relevo plano, obtiveram produtividade de grãos superior quando comparada as zonas em que o relevo era declivoso.

Além disso, a profundidade do perfil de solo, também tem influência sobre a disponibilidade hídrica e o desenvolvimento da cultura do milho. Segundo Bergamaschi e Matzenauer (2014), impedimentos no perfil do solo influenciam no crescimento radicular do milho, fazendo com que apresente sistema radicular mais raso. Em estudo realizado por Magalhães (2017), o desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo na cultura do milho tende a sofrer menos em situações de déficit hídrico, já em condições que o sistema radicular é mais raso, os efeitos do déficit hídrico são maiores, resultando em baixas produtividades.

As afirmações dos autores corroboram com o mapa onde foi realizado um levantamento de áreas dentro do talhão (Figura 10), onde apresentam formações rochosas próximas a superfície do solo, implicando em perfis de solo mais raso, para isso, foi levado em consideração o conhecimento do produtor.

Figura 10 – Mapa de locais com limitações no perfil de solo



Fonte: Acervo do autor

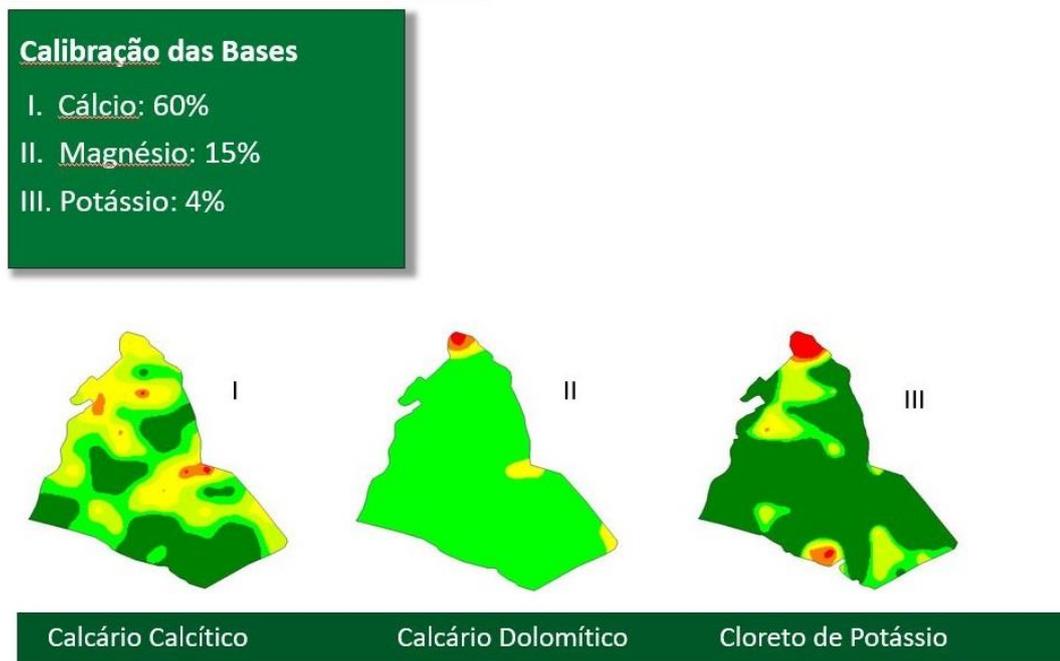
Quando comparado o mapa de produtividade do talhão com o mapa que apresenta os locais de solo raso, fica evidente que a profundidade do perfil influencia na produtividade, sendo essas áreas consideradas como zonas de baixa produção.

Relacionado a disponibilidade de água no solo, a presença de microrganismos no solo tende a variar nas zonas de manejo, o ambiente de alta produção (ZA) por acumular mais água, propicia condições favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos promotores de crescimento (Passinato, 2022), como as bactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* que foram inoculadas via sulco de plantio. Resultados obtidos por Silva e Reis (2021) e Guimarães *et al.* (2021) corroboram que o uso das bactérias citadas anteriormente, quando inoculadas juntas na semeadura, auxiliam na melhor absorção de nutrientes mesmo aplicados em quantidades inferiores ao recomendado, promovendo o crescimento e aumento na produtividade da cultura do milho. Já nas zonas de baixa, (PASSINATO, 2022) observou uma maior presença de microrganismos fitopatogênicos como *Fusarium* sp. e *Macrophomina* sp., que a partir da infecção de plantas tendem a ser mais um fator relacionado a baixa produtividade.

Outro fator que pode influenciar a produtividade nas zonas de manejo, é a fertilidade do solo, Santi *et al.*, (2012) observaram que a fertilidade do solo é um fator que tende a limitar a produtividade de grãos, sendo o desbalanço das bases (cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K)) o fator químico mais frequente. No entanto, o fator de desbalanço das bases é descartado nesta pesquisa, tendo em vista que foi realizada a calibração das bases na área onde o experimento estava localizado, utilizando calcário calcítico, calcário dolomítico e cloreto de potássio (Figura 11).

A fertilidade do solo também pode ser alterada através do uso de plantas de cobertura, o uso de espécies de cobertura que proporcionam adição de volumes elevados de massa seca, tendem a aumentar os valores de carbono orgânico no solo (GONÇALVES e CERETTA, 1999; LOCATELLI, 2018). O uso de leguminosas, como a ervilhaca (*Vicia* spp.), utilizada no mix de plantas antecedendo a cultura do milho, aumentam a adição de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo, contribuindo diretamente para o aumento da produtividade da cultura do milho (LOVATO *et al.*, 2004).

Figura 11 – Método de calibração das bases (Ca, Mg e K)



Fonte: Acervo do autor

Com relação ao nitrogênio, Horbe (2012) observou que a taxa de absorção pela cultura do milho tende a ser diferente nas zonas de manejo, nas zonas de alta, o autor observou uma maior absorção de N pelas plantas de milho, já para zonas de média e baixa, a absorção de N foi diminuindo, sendo os menores valores encontrados na zona de baixa. Ainda segundo o autor citado, a disponibilidade de água tem influência sobre o ciclo de N no solo, afetando a mineralização da matéria orgânica e a disponibilidade do nutriente para absorção das plantas.

Durante os períodos de pré florescimento até o início dos estádios reprodutivos, a cultura do milho demanda nutrientes como potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P) (CIAMPITTI; ELMORE; LAUER, 2011), a condição de déficit hídrico durante esse período pode diminuir a absorção de nutrientes, já que o N é absorvido através de fluxo de massa e o P e K, são absorvidos por difusão (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; HAVLIN *et al.*, 2005).

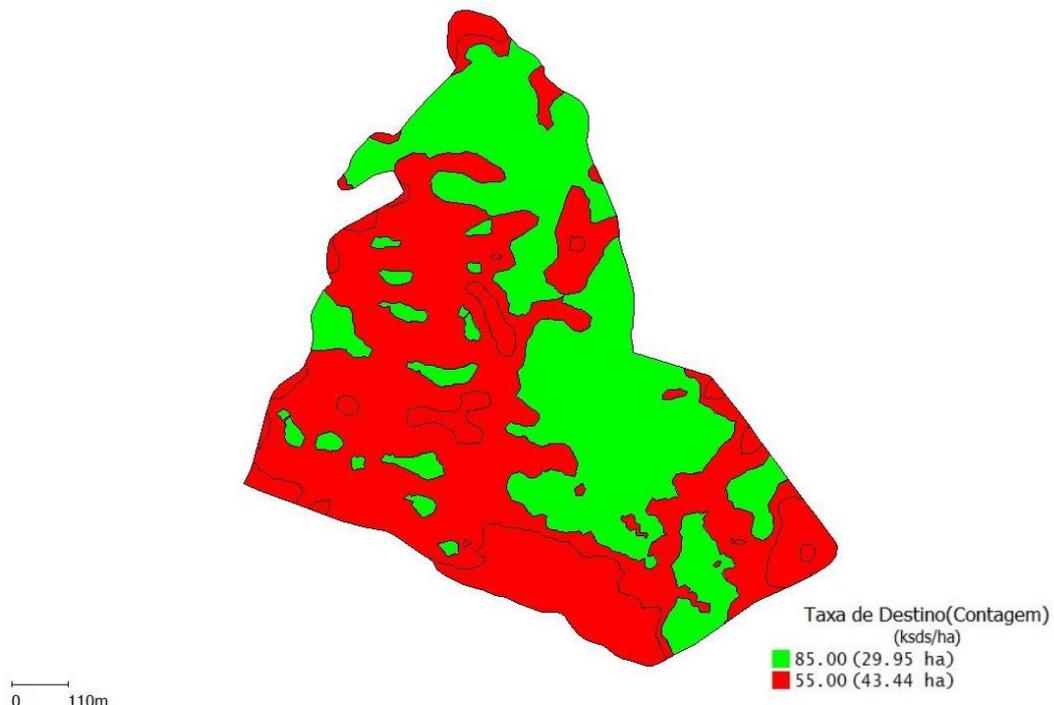
As características apresentadas de cada zona de manejo, evidenciam que a aplicação de técnicas de manejo como plantio direto, rotação de culturas com uso de plantas de cobertura, utilização de microrganismos promotores de crescimento tendem a melhorar essas zonas de manejo, no entanto, algumas características como a declividade e a elevação, que não podem ser alteradas, tem grande influência sobre fatores como a disponibilidade de água. que foi o

principal fator que influenciou o rendimento de grãos. O ajuste na população de plantas nas diferentes zonas de manejo é uma estratégia eficiente para melhor utilização de recursos como nutrientes, luz e água, especialmente em anos com a ocorrência de estiagens onde a água é o principal fator que influencia o rendimento de grãos.

5.3.2 Retorno econômico da taxa variável

A partir dos resultados da produtividade de grãos obtidos nos diferentes arranjos populacionais em função das zonas de manejo (Tabela 9), foram definidas juntamente com o produtor as populações para cada zona (zona de alta, média e baixa). A população para a zona de alta foi de 85.000 pl ha⁻¹, já para as zonas de média e baixa foi definida a população de 55.000 pl ha⁻¹. A Figura 12 apresenta a projeção da taxa de sementes em função das zonas de manejo, é importante salientar que essa prescrição é considerando os resultados de rendimento de grãos na safra 2021/22, na qual ocorreu um longo período de estiagem.

Figura 12 – Projeção da semeadura em taxa variável em função das zonas de manejo



Fonte: Acervo do autor

A Tabela 11 apresenta os valores dos custos relacionados a utilização de sementes do híbrido P3016VYHR em taxa fixa e na projeção para taxa variável.

Tabela 11 – Custo de sementes utilizando taxa variável e taxa fixa

TS	Zona de Manejo	População (pl ha⁻¹)	QSS (sc ha⁻¹)	CS (R\$ ha⁻¹)	Área (ha)	CSAT (R\$)
	ALTA	85.000	1,41	1.713,15	29,95	51.308,84
TVS	MÉDIA	55.000	0,91	1.105,65	33,31	36.829,20
	BAIXA	55.000	0,91	1.105,65	10,12	11.189,17
Total TVS					73,3	99.327,21
TFS		80.000	1,33	1.615,95	73,3	118.449,13

Legenda: TS – Tecnologia de semeadura; QSS – Quantidade de saco de sementes; CS – Custo com sementes; CSAT – Custo com sementes na área total; TVS – taxa variável de sementes; TFS – taxa fixa de sementes;

Fonte: Autor (2022).

Os resultados apresentados na Tabela 11, demonstram que projeção de semeadura em taxa variável geraria uma economia com a utilização de sementes de R\$ 19.121,92 na área total do talhão (73,3 ha), convertendo para hectare, a taxa variável geraria uma economia de aproximadamente R\$ 260,87, fazendo com o que o custo médio de sementes por hectare para taxa variável seja R\$ 1.355,08.

A tabela 12 apresenta a projeção da produtividade de grãos com a semeadura em taxa variável, utilizando a população de 85.000 pl ha⁻¹ na zona de alta e população de 55.000 pl ha⁻¹ para as zonas de média e baixa.

Tabela 12 – Projeção do rendimento de grãos em área total para semeadura em taxa variável

TS	Zona de Manejo	População (pl ha⁻¹)	Prod. (kg ha⁻¹)	Prod. (sc ha⁻¹)	Área (ha)	Prod. Total (sc)
	ALTA	85.000	14.915,76	248,59	29,95	7.445,27
TVS	MÉDIA	55.000	10.983,52	183,06	33,31	6.097,72
	BAIXA	55.000	8.907,58	148,46	10,12	1.502,41
Total TVS					73,3	15.045,40

Legenda: TS – Tecnologia de semeadura; Prod – Produtividade de grãos; TVS – Taxa variável de sementes.

Fonte: Autor (2022).

O resultado de rendimento total utilizando a taxa variável de semeadura é 15.045,40 sacas, dividindo pela área total, a produtividade média por hectare foi de 205,26 sc ha⁻¹. A produtividade média do talhão semeado com taxa fixa de 80.000 sementes ha⁻¹, foi de 163,38 sacas por hectare. Quando comparada as tecnologias, a taxa variável apresentou aumento de 25% na produtividade média de grãos. Os resultados apresentados corroboram com Horbe (2012) e Anselmi (2016), ambos autores observaram que a manipulação do arranjo populacional através da semeadura em taxa variável é uma alternativa para obtenção de aumento na produtividade.

A tabela 13 apresenta o retorno econômico por hectare para a taxa fixa e taxa variável de sementes, levando em consideração o valor bruto da produção e o custo de sementes.

Tabela 13 – Valor bruto da produção em taxa variável e taxa fixa de semeadura

TS	Rend. Médio (sc ha⁻¹)	Valor Milho (R\$ sc⁻¹)	VBP (R\$ ha⁻¹)	CS (R\$ ha⁻¹)	VPB – CS (R\$ ha⁻¹)	VBP AT (R\$)
TVS	205,26	95,00	19.499,70	1.355,08	18.144,62	1.330.000,65
TFS	163,38	95,00	15.521,10	1.615,95	13.905,15	1.019.247,49

Legenda: TS – Tecnologia de semeadura; TVS – taxa variável de sementes; TFS – taxa fixa de sementes; VBP – Valor bruto da produção; CS – custo com semente; VPB AT – valor bruto da produção na área total.

Fonte: Autor (2022).

Os resultados apresentados na tabela acima evidenciam que a taxa variável ao aumentar a média de produção, tende a aumentar o valor bruto da produção (VBP) por hectare e conseqüentemente na área total. O VBP para a taxa variável de sementes é 23,3 % maior comparada a taxa fixa. Já considerando a área total de 73,3, o uso da taxa variável de sementes proporciona um ganho de R\$ 310.753,16 a mais que a taxa fixa de 80.000 sementes ha⁻¹. Horbe (2012) observou resultados semelhantes, onde através da manipulação do arranjo populacional, foi possível aumentar o retorno econômico por hectare, evidenciando que a manipulação do arranjo populacional é uma alternativa para potencializar o aumento na produtividade e aumento na lucratividade das lavouras.

A disponibilidade de água é um dos fatores que mais influenciam o rendimento de grãos (BERGAMASCHI *et al.*, 2004; SANTI, 2007). Sendo assim, em anos com maior disponibilidade de água, a variabilidade da produção de grãos seja menor, o que pode acarretar

em um aumento no custo das sementes, já que o híbrido P3016VYHR responde ao incremento da população de plantas (Passos, *et al.*, 2019).

6 CONCLUSÃO

As populações de plantas influenciaram o diâmetro de colmo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos. O aumento da população de plantas elevou a competição intraespecífica por recursos, influenciando negativamente os parâmetros avaliados.

As zonas de manejo influenciaram a altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e massa de 1.000 grãos. As características específicas de cada zona foram os fatores que justificaram esses resultados.

As técnicas de manejo empregadas na área, como o plantio direto a mais de 40 anos, rotação de culturas com plantas de cobertura, adubação de sistema e inoculação de bactérias promotoras de crescimento, contribuem para a melhoria das características das zonas de manejo e, conseqüentemente, influenciaram o desempenho do híbrido P3016VYHR sob a condição de estiagem.

Adicionalmente, a ocorrência de déficit hídrico durante o período crítico da cultura do milho influenciou negativamente os parâmetros relacionados aos componentes de rendimento e o rendimento de grãos. Características como elevação do relevo e declividade, que se relacionam com a disponibilidade de água nas zonas de manejo, contribuíram para esse resultado.

A produtividade de grãos foi influenciada pelas zonas de manejo e populações de plantas, sendo a competição intraespecífica e as características das zonas de manejo os fatores mais relevantes. Nas zonas de manejo de alta, as maiores produtividades foram observadas na população de 85.000 pl ha⁻¹. Já nas zonas de média e baixa, a maior produtividade foi obtida nas menores populações, de 55.000 pl ha⁻¹.

Com o ajuste da população de plantas por meio da taxa variável de semeadura, utilizando menores populações (55.000 pl ha⁻¹) nas zonas de média e baixa e maiores populações nas zonas de alta (85.000 pl ha⁻¹), houve uma diminuição no custo de produção. Assim, o retorno econômico foi aumentado em 23% quando comparado a uma taxa fixa de 80.000 pl ha⁻¹, assumindo um valor de R\$ 18.144,62 ha⁻¹.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o ajuste da população de plantas nas zonas de manejo, por meio da semeadura em taxa variável sob condições de déficit hídrico, é uma ferramenta que proporciona a diminuição de custos com insumos (sementes) e aumenta a produtividade, o que, por consequência, aumenta a lucratividade do produtor.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, K. R. T., *et al.* Redução da área foliar em plantas de milho na fase reprodutiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 4, p. 413- 418, 2011.
- AMADO, T. J. C. *et al.* Variabilidade Espacial e Temporal da Produtividade de Culturas sob Sistema Plantio Direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, ago. 2007.
- AMADO, T. J. C. *et al.* Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 831-843, 2009.
- ANDRADE, F. H. *et al.* **Ecofisiología del cultivo de maíz**. Dekalb Press, 1996.
- ANSELMINI, Adriano Adelcino. **População variada de híbridos de milho**: uma estratégia de gestão das variabilidades espacial e temporal das lavouras. 2016. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- ARGENTA, Gilber *et al.* Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 71-78, 2001.
- ARGENTA, G., SILVA, P. R. F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência rural**, v. 31, p. 1075-1084, 2001.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho**. Évora: Portugal, 2014. 235p.
- BASSOI, L. H., *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. In: **TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, jul./dez. 2019, p. 17-36.
- BATISTA, V. V., *et al.* Densidades de plantas e níveis de nitrogênio no desempenho de híbridos de milho em safrinha. **Nativa**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 117-125, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6681>. Acesso em: 23 jul. 2022.
- BERGAMASCHI, H. *et al.* Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. **Porto Alegre: Emater/RS-Ascar**, v. 84, p. 85, 2014.
- CALONEGO, J. C., *et al.* Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Agrarian**, [S. l.], v. 4, n. 12, p. 84–90, 2011. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/699>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CARVALHO, P. et al. Nutrição: adubação para a cultura ou para o sistema?. **A Granja**. 2020. Disponível em: <https://edcentaurus.com.br/agranja/edicao/862/materia/10876>. Acesso em 16 ago. 2022.

CERIGIOLI, Márcia Maciel. **Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (*Zea mays* L.) e potencial para promoção de crescimento**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós Graduação em Genética e Evolução, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, Piracicaba, 2005.

CIAMPITTI, I. A.; ELMORE, R. W.; LAUER, J. Corn growth and development. **Dent**, v. 5, n. 75, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: Nono levantamento, julho 2022 – safra 2021/2022.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 06 jul. 2022.

CONAB. **Informações Agropecuárias – custo de produção**: Série Histórica - Custos - Milho 1ª Safra - 1997 a 2022. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao?view=default>. Acesso em: 06 jul. 2022.

DA SILVA, A. F. *et al.* Produtividade de híbridos de milho em função do espaçamento e da população de plantas em sistema de plantio convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 162-173, 2014.

DE PAULA LIMA, M. W., LAPERA, C. A. I., VILARINHO, M S. Ecofisiologia do Milho. In: DIAS, João Paulo Tadeu. **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018. cap. 10, p. 150-164.

EITELWEIN, M. T. *et al.* Mapeamento da Produtividade de Grãos e Utilização dos Mapas. In: SANTI, Antônio Luis et al. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**, 1. ed. Santa Maria: CESPOL, 2016. p. 99-119.

EPAGRI/CEPA. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina**. Florianópolis: Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola, 2022. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/Sintese_2020_21.pdf. Acesso em: 03 jun. 2022.

FIESP. **Safra Mundial de Milho 2022/23** - 1º Levantamento do USDA: Informativo, maio 2022. São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

FORNASIERI FILHO, Domingos. **Manual da cultura do milho**. Funep: Jaboticabal, 2007.

FRANÇA, G.E., *et al.* Análise da variabilidade de atributos do solo e altitude dentro de zonas de manejo. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999/2001**. Piracicaba, 2002. p.82-89.

GUIMARÃES, V. F., *et al.* Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e431101220920, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20920>. Acesso em: 21 jul. 2022.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.B. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

HORBE, Tiago de Andrade Neves. **Agricultura por ambiente: manejo sítio específico da população de milho**. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

IBGE. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em: 16 jul. 2022.

IBRAHIM, H. M.; HUGGINS, D. R. Spatio-temporal patterns of soil water storage under dryland agriculture at the watershed scale. **Journal of Hydrology**, n. 404 p. 186-197, 2011.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **Revista Monografias Ambientais, [S. l.]**, v. 13, n. 5, p. 3915–3925, 2014. DOI: 10.5902/2236130814989. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/1498>. Acesso em: 6 jul. 2022.

LIU, J. G., *et al.* The importance of light quality in cropweed competition. **Weed Research**, Oxford, v. 49, n.2, p. 217-224, 2009.

LOCATELLI, Jorge Luiz. **Plantas de cobertura em sucessão ao milho e sua contribuição no carbono orgânico do solo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2018.

LOPES, Sidinei José *et al.* Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1536-1542, 2007.

LOVATO, Thomé *et al.* Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 28, p. 175-187, 2004.

MAGALHÃES, P. C., *et al.* Fisiologia do milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica**, Sete Lagoas, dezembro, 2002.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção de milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Sete Lagoas, dezembro, 2006.

MAGALHÃES, Bruna Gomes. **Simulação de estratégias de manejo da cultura do milho para mitigar efeitos de mudanças climáticas**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas, 2017.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MALDANER, L. F.; MOLIN, J. P.; SPEKKEN, M. Methodology to filter out outliers in high spatial density data to improve maps reliability. **Scientia Agricola**, v. 79, 2021.

MARQUES, A. P. da S. *et al.* Aplicação do interpolador krigagem ordinária para a elaboração de planta de valores genéricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2, n. 64, p. 175-186, 2012.

MARTINEZ-FERIA, R.A., BASSO, B. Unstable crop yields reveal opportunities for site-specific adaptations to climate variability. *Sci Rep* **10**, 2885, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59494-2>.

MAZZUCHELLI, R. de C. L.; SOSSAI, B. F.; ARAÚJO, F. F. de. INOCULAÇÃO DE *Bacillus subtilis* E *Azospirillum brasilense* NA CULTURA DO MILHO. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 40–47, 2014. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1151>. Acesso em: 22 jul. 2022.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; DO AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. Agricultura de precisão. **Oficina de textos**, 2015.

MOLIN, José P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. **Boletim Técnico**, v. 3, p. 7, 2017.

MORAES, M.T. de *et al.* Benefícios das plantas de cobertura sobre as propriedades físicas do solo. In: TIECHER, T. (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2016. p.34-48.

MORENO, A. de L.; KUSDRA, J. F.; PICAZEVICZ, A. A. C. Inoculação de rizobactérias no milho associada à adubação com nitrogênio e zinco na semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 96-100, 2021.

NUMMER FILHO, Itavor; HENTSCHKE, Carlos. W. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 92, 2006.

Oliveira, Juan Paulo Padilha de. **Influência da densidade populacional na fenologia e na produtividade da cultura do milho**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

ORTIZ, Juan Alberto Martinez. **Propriedades físicas do solo em sistema plantio direto: associação com a produtividade da soja e variações em relação à mata nativa.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica**, 2006.

PASSINATO, Jardel Henrique. **Avaliação da saúde do solo em sistemas agrícolas sob agricultura conservacionista no Brasil.** 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

PASSOS, F. D. A., *et al.* Produtividade do milho em diferentes populações de plantio. **Revista Cultivando o Saber**, p. 1-11, 2019.

PIERCE, Francis J.; NOWAK, Peter. Aspects of precision agriculture. **Advances in agronomy**, v. 67, p. 1-85, 1999.

PIONEER SEMENTES. **Catálogo de Milho Verão 2020.** Disponível em: <https://www.pioneersementes.com.br/media-center/download-center/248/catalogo-de-milho-verao-2020>. Acesso em: 25 jun. 2022.

PRIMAVESI, Ana. **Agroecologia, Ecosfera, Tecnosfera e Agricultura.** São Paulo: Nobel, 1997.

SANGOI, L., *et al.* Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, 2001.

SANGOI, L. *et al.* Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, p. 101-110, 2002.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho.** Lages: Graphel, 64p., 2010.

SANGOI, LUÍS *et al.* Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista brasileira de milho e sorgo**, v. 18, n. 1, p. 47-60, 2019.

SANTI, Antônio Luis. **Relações entre Indicadores de Qualidade do Solo e a Produtividade das Culturas em Áreas com Agricultura de Precisão.** 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L. *et al.* Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 47, p. 1346-1357, 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 287-294, 1998.

SCHMITT, Amauri. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônômico do milho em ambientes de alto manejo**. 2014. 124p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

SCHWALBERT, R. A. *et al.* Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, p. 21-32, 2014.

SILVA, D. F. da., *et al.* Morphological characteristics, genetic improvement and planting density of sorghum and corn crops: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021.

SILVA, G. H. da; REIS, H. A. dos. **Desempenho agrônômico de plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis***. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – UNICESUMAR, Maringá, 2021.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, p. 159-163, 2002.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**: circular series, may 2022. Washington, DC: United States Department of Agriculture. 2022. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em: 28 maio 2022.

VOGEL, Gean Lucas. **Diferentes espaçamentos e densidades de plantas na cultura do milho**. 2019. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2019.

WORDELL FILHO, A. J.; CHIARADIA, L. A. **A cultura do milho em Santa Catarina**. 3.ed. Florianópolis: Epagri, 2016. 400 p.

WRIGHT, G.C.; SMITH, R.G.; McWILLIAM, J.R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.34, p.615- 626, 1983.

ZUCARELI, C. *et al.* Densidade de plantas e adubação nitrogenada em cobertura no desenvolvimento e desempenho produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 2, p. 178-191, 2019.

APÊNDICE A – Arranjo populacional de plantas de milho

Distribuição espacial da população de 55.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

Distribuição espacial da população de 70.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

Distribuição espacial da população de 85.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

Distribuição espacial da população de 100.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE B – Colheita do experimento

Colheita mecanizada do experimento



Fonte: Acervo do autor

Mapa de produtividade gerado pelo aplicativo FieldView™ Cab em tempo real



Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE C – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de alta

População de 55.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 70.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 85.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 100.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE D – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de média

População de 55.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 70.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 85.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 100.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

APÊNDICE E – Efeito do déficit hídrico nas populações de plantas na zona de baixa

População de 55.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 70.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 85.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.

População de 100.000 pl ha⁻¹



Fonte: Acervo do autor.