



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA

Campus Araras

Curso de Engenharia Agrônoma



VICTOR HUGO FERNANDES

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO NA
REGIÃO DE ARARAS- SP**

ARARAS – 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA

Campus Araras

Curso de Engenharia Agrônoma



VICTOR HUGO FERNANDES

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO NA
REGIÃO DE ARARAS- SP**

Trabalho Final de Graduação de Engenharia Agrônoma apresentada a Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Agrárias, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientado pelo Prof. Dr. Gustavo Ferreira da Silva

ARARAS – 2025

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de uma longa jornada e não teria sido possível sem o apoio de muitas pessoas na qual destaco atenciosamente minha gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar uma nova oportunidade de vida. Durante a pandemia, sofri um grave acidente de moto que resultou em traumatismo craniano. Contra todas as expectativas médicas, que viam minha recuperação como algo de baixa probabilidade, hoje estou aqui, plenamente recuperado por uma graça que surpreendeu a todos, concluindo esta etapa. A Ele, toda a minha gratidão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Ferreira da Silva, pela confiança depositada, pela paciência incansável e pela sabedoria compartilhada. Sua orientação foi fundamental não apenas para a execução deste experimento, mas para minha formação ética e técnica como futuro Engenheiro Agrônomo.

À banca avaliadora, composta pela Prof^a. Dr^a. Juliana Lima e pelo Prof. Dr. Jean Cardoso, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições. À Prof^a. Juliana, agradeço também pela coordenação do GEPAGRI, junto com o Prof. Gustavo, vocês me acenderam a paixão que tenho pela área, guardo ambos em meu coração.

Ao Prof. Jean, meu agradecimento especial por ter sido, através da disciplina de Fisiologia Vegetal, o mestre que despertou em mim o verdadeiro amor pela agronomia. Foi o ponto de virada em minha vida acadêmica, onde deixei de ser um aluno desinteressado para me tornar dedicado e focado. Através da curiosidade pelos processos fisiológicos ensinados em suas aulas, meu compromisso com o curso se aprofundou. Agradeço imensamente ao senhor por ter impulsionado essa transformação em minha vida.

Agradeço à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Araras, e ao Centro de Ciências Agrárias (CCA), pela estrutura oferecida e por ser o ambiente onde pude me desenvolver nos últimos anos. Agradeço também aos professores do curso, cujos ensinamentos construíram a base para este trabalho.

Ao Grupo de Desenvolvimento em Citros (GD Citros) e ao Instituto Agrônomo (IAC), em especial ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira, em Cordeirópolis, pelas oportunidades de estágio e aprendizagem. O conhecimento adquirido e a experiência de trabalhar ao lado de profissionais de referência foram cruciais para minha trajetória.

Um agradecimento especial aos membros do GEPAGRI (Grupo de Estudos e Pesquisa em Agricultura), que se tornaram uma segunda família. As discussões, os eventos organizados e o apoio mútuo foram essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos meus amigos e irmãos da República Galo Bravo, casa onde passei toda a minha graduação. Agradeço por todo o companheirismo e, principalmente, pelo aprendizado diário sobre como lidar com diferentes tipos de pessoas, respeitar opiniões diversas e compreender o valor da responsabilidade mútua. Vocês foram essenciais na minha formação humana.

Aos meus pais, Jailson e Cilene, por todo o amor, incentivo incondicional e por serem a base de tudo. Sem vocês, este sonho não seria possível! Me incentivaram e por acreditarem no meu sonho desde o primeiro dia. Vocês são a minha base e esta conquista é nossa.

Aos meus amigos, pela compreensão nas ausências, pelas palavras de ânimo e por tornarem a caminhada mais leve.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta história.

O meu muito obrigado.

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um alimento essencial na dieta mundial e de grande relevância econômica. No entanto, estresses abióticos têm impactado o desempenho de híbridos já consolidados. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agronômico de seis híbridos comerciais de milho na região de Araras–SP. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, utilizando os híbridos NK467 VIP3, NS505 VIP3, NS 71 VIP3, NS 75 VIP3, NS 44 TG e AG8780 PR04. Foram avaliados caracteres fenológicos, populacionais, morfofisiológicos, componentes de rendimento e produtividade. O florescimento masculino variou entre 48 e 55 dias. Para o florescimento feminino, houve atraso significativo em relação ao masculino (assincronia) nos materiais mais sensíveis, comprometendo a polinização, com destaque negativo para o NS 75 VIP3. A população final foi menor em NS 505 VIP3 e NS 75 VIP3, enquanto AG8780 PR04 obteve maior estande. Os híbridos NK467 VIP3, NS 71 VIP3 e NS 44 TG apresentaram maior porte. Entre os componentes de rendimento, NS 44 TG destacou-se pelo maior número de grãos por fileira e maior massa de 100 grãos, refletindo em elevada produtividade (6.700 kg ha^{-1}), demonstrando maior rusticidade frente ao estresse térmico-hídrico. O híbrido NS 75 VIP3 obteve o menor desempenho, penalizado pelo baixo estande e falhas na granação.

Palavras chaves: *Zea mays* L., interação genótipo x ambiente, graus-dia, estresse abiótico.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is an essential food in the global diet and holds significant economic relevance. However, abiotic stresses have impacted the performance of established hybrids. In this context, the present study aimed to evaluate the agronomic performance of six commercial maize hybrids in the region of Araras-SP, Brazil. The experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD), with four replications, using the hybrids NK467 VIP3, NS505 VIP3, NS 71 VIP3, NS 75 VIP3, NS 44 TG, and AG8780 PR04. Phenological traits, plant population, morphophysiological characteristics, yield components, and productivity were evaluated. Male flowering varied between 48 and 55 days. For female flowering, a significant delay regarding male flowering (asynchrony) was observed in the most sensitive materials, compromising pollination, with negative emphasis on NS 75 VIP3. The final plant stand was lower for NS 505 VIP3 and NS 75 VIP3, while AG8780 PR04 achieved the highest stand. The hybrids NK467 VIP3, NS 71 VIP3, and NS 44 TG showed greater plant height. Among yield components, NS 44 TG stood out with the highest number of grains per row and the greatest 100-grain weight, resulting in high productivity (6,700 kg ha⁻¹) and demonstrating greater rusticity against thermal-water stress. The hybrid NS 75 VIP3 had the lowest performance, penalized by low stand and poor grain filling.

Keywords: *Zea mays* L., genotype x environment interaction, growing degree days, abiotic stress.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1. A cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.)	9
2.2. Resposta do milho às alterações climáticas.....	10
2.3. Tecnologias incorporadas e caracterização dos genótipos.....	11
2.3.1. NK467 VIP3 (Syngenta)	12
2.3.2. NS 505 VIP3 (Nidera/Syngenta).....	12
2.3.3. NS 71 VIP3 (Nidera).....	13
2.3.4. NS 75 VIP3 (Nidera).....	13
2.3.5. NS 44 TG (Nidera).....	13
2.3.6. AG 8780 PRO4 (Agroeste/Bayer).....	13
3. OBJETIVO.....	15
3.1. Objetivo Geral	15
3.2. Objetivos específicos.....	15
4. MATERIAL E MÉTODO.....	15
4.1. Área experimental	15
4.2. Condução do Experimento e Delineamento Experimental	16
4.3. Manejo da Adubação.....	17
4.4. Manejo Fitossanitário	17
4.5. Avaliações	18
4.6. Análise estatística	18
5. RESULTADOS	20
5.1. Inflorescência dos híbridos de milho	20
5.2. Avaliações morfológicas e populacionais	21
5.3. Componentes de Rendimento e Produtividade de Grãos	22
6. DISCUSSÃO.....	27
7. CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais commodities, com grande impacto na economia mundial e nacional. O Brasil é o terceiro maior produtor, representando 12% da produção mundial (Silva et al., 2024). Para a safra 2025/26 é previsto redução de 1,6% na produção, 5,4% na produtividade e aumento de 4% na área cultivada (CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, 2025).

Estima-se que o milho seja responsável por mais da metade do crescimento futuro da demanda por cereais. Assim, há um enorme fluxo de inovação para os produtores de milho ao tentar aumentar significativamente a produtividade do milho de forma ambientalmente sustentável (Haarhoff; Swanepoel, 2018; Yan; Tan, 2019).

O constante crescimento da população mundial e, principalmente, o crescimento econômico acelerado de grande parte dos países emergentes, elevando o poder de compra de parte da população global, criou condições amplamente favoráveis para o aumento contínuo na demanda por alimentos. Neste cenário, o milho é uma das culturas alimentares mais valiosas para garantir a segurança alimentar no mundo (Jones; Thornton, 2003; Lobell et al., 2013; Abera et al., 2018).

O aumento da produção de milho é essencial para a subsistência humana, bem-estar e desenvolvimento da indústria agrícola e pecuária nacional. O aquecimento global, acompanhado por um aumento na frequência e intensidade de condições climáticas extremas (secas, ondas de calor, inundações, etc.), afetará severamente os parâmetros fisiológicos e de rendimento das plantas, com riscos crescentes de perdas irreversíveis em diversos agroecossistemas (IPCC, 2023). Por outro lado, os impactos das alterações climáticas e a intensificação dos extremos hidrometeorológicos associados irão agravar a crise da produção de milho, afetando a segurança alimentar e a sustentabilidade (LI et al., 2021).

Considerando esse cenário, é esperado que híbridos de milho já consolidados no mercado tenham o seu desempenho agrônômico alterado, onde sem preparo, pode impactar diretamente a economia regional e brasileira. Dessa forma, é provável que muitos híbridos, considerados altamente produtivos em determinadas regiões do país, já não alcancem o teto produtivo expressados em safras anteriores.

Neste sentido, a hipótese dessa pesquisa é que híbridos de milho com alta performance agrônômica, já consolidados nas áreas agrícolas brasileiras, apresentem desempenhos diferentes na região de Araras, SP. E, deste modo, esta pesquisa vem de encontro com os

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e seus indicadores estabelecidos pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Uma vez que, com esse projeto, busca-se a produção de alimentos de necessidades básicas, com foco na cultura do milho, alimento amplamente consumido mundialmente, auxiliando a garantir a segurança alimentar (ODS 2 – Fome zero e agricultura sustentável).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho (*Zea mays* L.)

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta herbácea anual da família Poaceae (gramíneas), caracterizada por seu metabolismo fotossintético do tipo C4. Essa característica confere à cultura uma alta eficiência na conversão de energia solar em biomassa, especialmente em condições de alta temperatura e radiação, típicas de regiões tropicais como o Brasil (Taiz et al., 2017). A planta apresenta um sistema radicular fasciculado, caule ereto e folhas alongadas com nervuras paralelas. A inflorescência masculina (pendão) localiza-se no topo da planta, enquanto a feminina (espiga) insere-se lateralmente no colmo, geralmente na porção mediana (Fancelli, 2015).

O milho é uma das principais commodities agrícolas, com grande impacto na economia mundial e nacional. O Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores globais, representando aproximadamente 12% da produção mundial (Borém et al. 2015). Para a safra 2025/26, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) projeta redução de 1,6% na produção e 5,4% na produtividade, mesmo com aumento de 4% na área cultivada, demonstrando a importância da eficiência produtiva e da escolha de cultivares adaptados.

No Brasil, a maior parte da produção é destinada à alimentação animal, sendo base para a cadeia de proteínas (aves, suínos e bovinos). Além disso, o grão é utilizado na indústria para fabricação de amido, óleos, adoçantes e, mais recentemente, para produção de etanol (Yan; Tan, 2019) crescente no centro-oeste.

O desenvolvimento do milho é regulado por fatores ambientais, sendo a temperatura o principal deles. O ciclo da cultura é dividido em fases vegetativa e reprodutiva, e cada híbrido necessita de uma quantidade específica de graus-dia acumulados para completar seu desenvolvimento (Zanon et al., 2024). A fase reprodutiva, especialmente o período de florescimento e enchimento de grãos, é a mais sensível a estresses ambientais. Eventos de seca ou temperaturas extremas durante essas fases podem reduzir drasticamente a produtividade, comprometendo a viabilidade do pólen e a fecundação dos óvulos (Borém et al., 2015; Fancelli, 2015).

Nos últimos anos, tem-se observado uma queda ou instabilidade na produtividade de algumas regiões, o que pode estar diretamente ligado a fatores ecofisiológicos. O aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como secas e ondas de calor, tem desafiado a capacidade de adaptação dos híbridos comerciais (IPCC, 2023). Esse cenário reforça a

necessidade de estudos regionalizados para identificar materiais genéticos mais resilientes e adaptados às condições locais.

2.2. Resposta do milho às alterações climáticas

O milho é uma espécie C4 que apresenta elevada eficiência fotossintética, porém seu desempenho produtivo é estritamente dependente das condições termopluiométricas. Segundo Fancelli (2015), a temperatura base inferior da cultura situa-se em torno de 10°C, abaixo da qual o desenvolvimento vegetativo cessa. A faixa térmica ideal para o acúmulo de biomassa e desenvolvimento reprodutivo oscila entre 25°C e 30°C. Temperaturas superiores a 35°C, especialmente durante o pendramento, são críticas, pois podem provocar a dessecação do grão de pólen e inviabilizar a fecundação, resultando em espigas com falhas de granação (Zanon et al., 2024).

Associada à temperatura, a radiação solar atua como a fonte primária de energia para a fotossíntese. O teto produtivo da cultura é definido pela eficiência com que o dossel intercepta e converte essa radiação em matéria seca. Neste contexto, o melhoramento genético tem priorizado a seleção de híbridos com arquitetura foliar mais ereta, o que permite maior penetração de luz no dossel inferior e viabiliza o cultivo em maiores densidades de semeadura sem comprometer a taxa fotossintética (Sangoi, 2001; Duvick, 2005).

No entanto, mesmo em condições de alta disponibilidade de radiação, a falta de água pode limitar severamente a produtividade, atuando como o fator mais crítico para a cultura. A demanda hídrica varia ao longo do ciclo, sendo mais elevada durante o florescimento e o enchimento de grãos. Conforme avaliado por Barutçular et al. (2016), o estresse hídrico durante o florescimento amplia o intervalo entre a antese (liberação do pólen) e o espigamento (emergência dos estigmas), resultando em falhas severas de polinização e redução do número de grãos por espiga. Já durante o enchimento de grãos, a falta de água reduz a taxa fotossintética e a translocação de fotoassimilados, diminuindo o peso final dos grãos por não ter acumulado total de amido. Lobell et al. (2013) demonstraram que a alta sensibilidade do milho a temperaturas extremas está associada, principalmente, ao aumento do Déficit de Pressão de Vapor. Ou seja, o calor excessivo aumenta a demanda atmosférica por água, induzindo o fechamento estomático e reduzindo a fotossíntese, o que penaliza a produtividade mais severamente do que o aquecimento médio sazonal, especialmente em condições de seca. Esse fato é preocupante, pois as projeções climáticas indicam aumento na frequência de ondas de calor e períodos de seca (IPCC, 2023). Portanto, a seleção de híbridos com maior tolerância a estresses abióticos torna-

se essencial para garantir a estabilidade produtiva.

Entretanto, a resposta fisiológica e produtiva frente a essas adversidades climáticas não são uniformes. Um mesmo material genético pode apresentar excelente desempenho em uma região e resultados insatisfatórios em outra. Essa variação diferencial no comportamento dos genótipos conforme a variação do ambiente é definida como interação genótipo x ambiente (GxA), sendo considerada um dos principais desafios para o posicionamento de cultivares e para o melhoramento genético (Allard, 1999).

Fatores edafoclimáticos como a textura e fertilidade do solo, o regime pluvial e a amplitude térmica criam condições variadas em cada microrregião produtora. Híbridos selecionados para solos arenosos e de baixa fertilidade, por exemplo, podem não expressar todo o seu potencial genético em solos argilosos de alta fertilidade, como os Latossolos Vermelhos característicos da região de Araras-SP. Da mesma forma, materiais adaptados à safrinha (segunda safra) podem não apresentar a estabilidade necessária para suportar os veranicos e as altas temperaturas típicas da safra de verão, exigindo validação local (Hallauer et al., 2010).

Portanto, a realização de ensaios regionais de competição de híbridos é fundamental para fornecer aos produtores informações técnicas precisas sobre quais materiais são mais adaptados às condições locais. Esse tipo de estudo contribui para a redução de riscos e para o aumento da eficiência produtiva, especialmente em um cenário de mudanças climáticas frequente na qual o mundo como um todo vem enfrentando.

2.3. Tecnologias incorporadas e caracterização dos genótipos

O sucesso produtivo da cultura do milho não depende apenas do potencial genético natural da semente, mas de um pacote tecnológico agregado que visa proteger e alcançar o potencial produtivo e otimizar o manejo. Atualmente, as cultivares mais utilizadas no mercado integram tecnologias biotecnológicas e químicas consideradas mandatórias para a viabilidade econômica da lavoura em escala comercial (Zanon et al. 2024):

- ❖ Biotecnologia Bt (Resistência a Insetos): Consiste na incorporação de genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) para a expressão de proteínas cristais (Cry e Vip) que conferem resistência a lagartas (Lepidoptera) e, em alguns eventos, a pragas radiculares (Coleoptera). Eventos como VIP3 e PRO4 tornaram-se ferramentas essenciais para o manejo da *Spodoptera frugiperda*, praga que tem exigido estratégias complexas de controle (Tabashnik et al., 2023);
- ❖ Manejo de Resistência de Insetos (Refúgio): A adoção de áreas de refúgio (plantas não-

Bt) é obrigatória para retardar a evolução da resistência das pragas. Conforme a revisão global de Tabashnik et al. (2023) sobre os 25 anos de uso de culturas transgênicas, a manutenção de insetos suscetíveis nessas áreas é a única estratégia comprovada para preservar a durabilidade das tecnologias VIP3 e PRO4 a longo prazo;

- ❖ Tolerância a Herbicidas: Tecnologias que conferem tolerância ao glifosato (RR/TG) ou glufosinato de amônio, permitindo o manejo químico de plantas daninhas em pós-emergência sem causar fitotoxidez à cultura;
- ❖ Genética de Arquitetura Moderna: O melhoramento genético atual prioriza plantas com folhas eretas e menor ângulo de inserção foliar. Essa arquitetura é fundamental para permitir o adensamento populacional (maior número de plantas por hectare) e otimizar a distribuição de luz no dossel inferior, fatores determinantes para os atuais recordes de produtividade (Ren et al. 2022).

Mediante a este contexto, os seis híbridos avaliados neste trabalho foram selecionados por serem materiais comerciais já consolidados e amplamente utilizados no estado de São Paulo, com diferentes características agronômicas e tecnologias incorporadas. Desta forma é primordial apresentar as principais características de cada híbrido, conforme informações das empresas obtentoras.

2.3.1. NK467 VIP3 (Syngenta)

Híbrido classificado como superprecoce, com grão do tipo semiduro de coloração amarelo-alaranjada. Incorpora a tecnologia Agrisure Viptera 3 (VIP3), que confere alta eficácia contra o complexo de lagartas, com destaque para o controle da Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), embora não ofereça proteção contra pragas radiculares (*Diabrotica* spp.). Agronomicamente, o material destaca-se pela alta estabilidade produtiva e sanidade de colmo e raiz, características que reduzem perdas na colheita mecanizada. Devido ao seu rápido desenvolvimento inicial (arranque), é posicionado estrategicamente para abertura de plantio na safrinha ou plantios tardios de verão, visando o escape de estresses hídricos terminais (Syngenta, 2025).

2.3.2. NS 505 VIP3 (Nidera/Syngenta)

Híbrido de ciclo precoce, com grão semiduro a duro de coloração alaranjada. Também incorpora a tecnologia VIP3. É reconhecido por seu alto teto produtivo e sua principal característica fisiológica é o *stay green* (manutenção da folha verde), que mantém a área foliar

fotossinteticamente ativa por maior período durante o enchimento de grãos. Apresenta boa sanidade foliar, notadamente tolerância à helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*). É recomendado para ambientes de média a alta fertilidade para expressão de seu teto produtivo, o posicionando como um material de alto investimento (Nidera, 2024).

2.3.3. NS 71 VIP3 (Nidera)

Híbrido precoce, com grão semidentado de coloração amarelo-alaranjada e tecnologia VIP3. Caracteriza-se pela rusticidade e robustez da planta, com destaque para o diâmetro de caule, o que confere boa resistência ao acamamento. Apresenta ampla adaptação geográfica, sendo recomendado para as regiões Sul, Sudeste e Cerrado, tolerando oscilações hídricas com maior eficiência que materiais superprecoces. É recomendado para produtores que buscam estabilidade produtiva tanto em janelas de plantio ideais quanto marginais (Nidera, 2024).

2.3.4. NS 75 VIP3 (Nidera)

Híbrido de ciclo superprecoce, com grão semiduro e tecnologia VIP3. É o material de ciclo mais curto entre os genótipos avaliado. Sua estratégia ecofisiológica baseia-se no mecanismo de escape, onde seu rápido florescimento e maturação permitem evitar estresses terminais, como secas ou geadas. Embora seu teto produtivo possa ser inferior ao de híbridos de ciclo mais longo, apresenta vigoroso arranque inicial e resposta positiva ao adensamento populacional, sendo estratégico para o fechamento de plantio (Nidera, 2024).

2.3.5. NS 44 TG (Nidera)

Híbrido superprecoce, com grão semidentado. Incorpora apenas a tecnologia TG (tolerância ao glifosato). Devido a ausência de proteína Bt, não proteção contra insetos e é suscetível ao ataque de lagartas, sendo frequentemente utilizado como refúgio estruturado em áreas com híbridos Bt. Segundo Tabashnik et al. (2023), a negligência no uso de refúgio tem sido a causa primária da quebra de resistência de tecnologias Bt em países tropicais. Agronomicamente, este híbrido foi selecionado por apresentar ciclo e porte semelhantes aos materiais Bt, facilitando o manejo operacional. Destaca-se pela alta estabilidade produtiva e rusticidade, mantendo bom desempenho mesmo em condições adversas (Nidera, 2024).

2.3.6. AG 8780 PRO4 (Agroeste/Bayer)

Híbrido de ciclo precoce, com grão semidentado de coloração alaranjada. Diferente dos anteriores, incorpora a tecnologia VT PRO4, que oferece proteção de raiz (contra a Larva-alfinete - *Diabrotica speciosa*) e parte aérea (Lepidópteros) contra insetos, além de tolerância ao glifosato. Caracteriza-se por sua arquitetura moderna, com plantas de porte mais baixo e folhas eretas, permitindo o uso de altas populações (acima de 70.000 plantas ha⁻¹) para maximizar a interceptação luminosa (Sangoi, 2001). Exige alto nível de manejo e é responsivo a aplicações de fungicidas, sendo sensível ao complexo de enfezamentos na ausência de controle vetorial adequado (Bayer, 2024).

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho agrônômico de híbridos de milho no município de Araras – SP, a fim de direcionar produtores na escolha de cultivares mais produtivas frente as alterações climáticas visando incremento na produtividade.

3.2. Objetivos específicos

Em função dos diferentes híbridos de milho avaliados tem-se o objetivo de determinar os componentes de produção e a produtividade de grãos, identificar e recomendar os híbridos com maior potencial produtivo e adaptação para a região.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em campo, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, localizado no município de Araras (SP), em Latossolo Vermelho, de textura muito argilosa. A área se encontra em um agrossistema diversificado, onde suas faces são constituídas por lavouras de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (PMGCA), podendo configurar uma interface de cultivo que influencia a dinâmica como ponte de insetos-praga locais.

Na Tabela 1 estão apresentadas as características do solo utilizado no experimento.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo, na camada de 0.0 – 0.20 m.

Atributos	Valor	Atributos	Valor
pH (CaCl ₂)	5,2	V (%)	52
P _{res} (mg dm ⁻³)	17	B (mg dm ⁻³)	0,16
S (mg dm ⁻³)	6	Cu (mg dm ⁻³)	5,3
K (mmol _c dm ⁻³)	3,6	Fe (mg dm ⁻³)	18
Ca (mmol _c dm ⁻³)	26	Mn (mg dm ⁻³)	79,3
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12	Zn (mg dm ⁻³)	1,2
Al (mmol _c dm ⁻³)	0,4	Areia (g dm ⁻³)	160
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	38	Silte (g dm ⁻³)	101
M.O. (g kg ⁻¹)	30	Argila (g dm ⁻³)	739

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo CWa (clima mesotérmico com inverno seco), com precipitação média anual de 1.384 mm e temperatura média anual de 21,6° C. As condições climáticas específicas ocorridas durante o período de condução do experimento (dezembro/2024 a maio/2025) estão detalhadas na Figura 1.

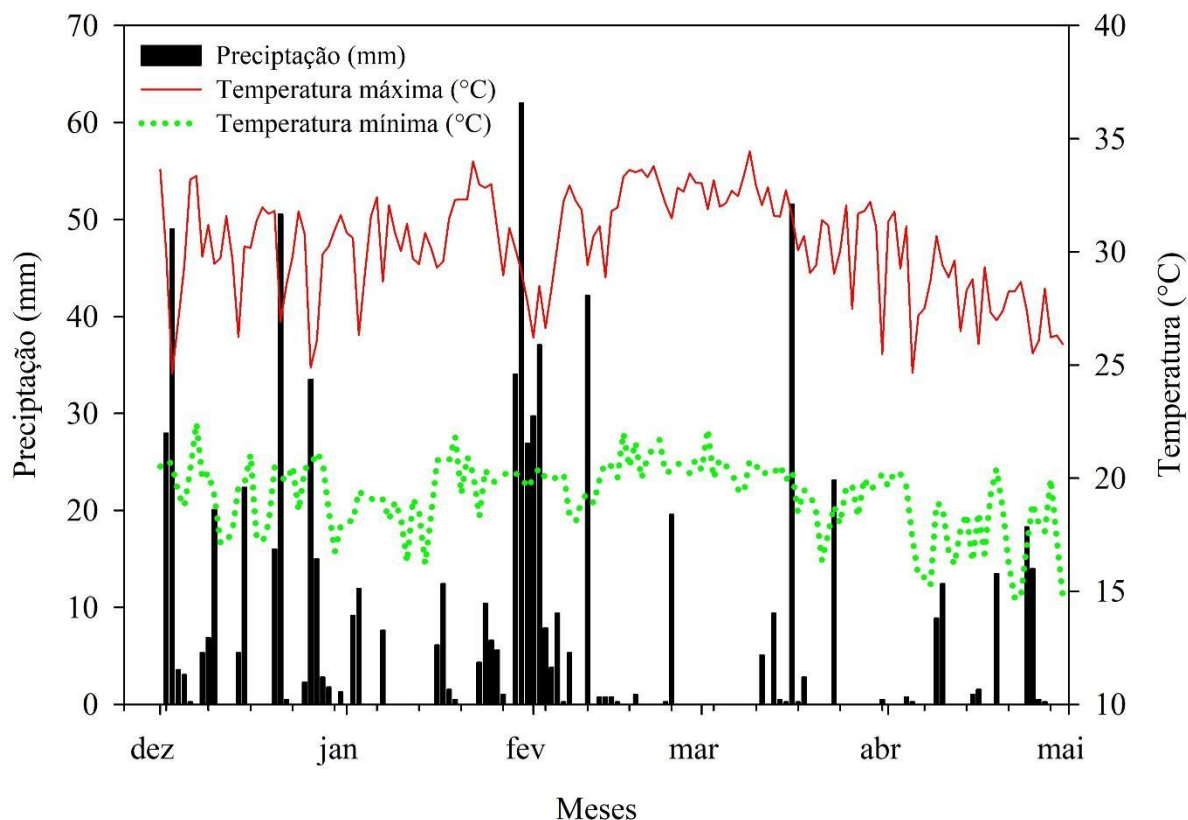


Figura 1: Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) diárias, registradas na estação meteorológica do CCA-UFSCar, Araras-SP, durante o período de condução do experimento (Safr 2024/25). **Fonte:** Estação Agrometeorológica UFSCar/CCA - Araras (2025).

4.2. Condução do Experimento e Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido com objetivo de produção de milho safr semeado no dia 13 de dezembro na janela agrícola de 2024/25, em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis híbridos comerciais de milho, sendo as principais características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: características dos híbridos de milho testados.

Híbrido	Empresa	Ciclo	Grão	Destaque Principal
NK467 VIP3	Syngenta	Super precoce	Semiduro amarelo alaranjado	Alta sanidade e arranque inicial
NS505 VIP3	Syngenta	Precoce	Duro laranja	Alto teto produtivo e Stay Green
NS 71 VIP3	Nidera	Precoce	Semiduro amarelo alaranjado	Robustez de caule e adaptação
NS 75 VIP3	Nidera	Precoce	Semiduro amarelo alaranjado	Ciclo ultra-rápido (escape)
NS 44 TG	Nidera	Super precoce	Duro alaranjado	Alta estabilidade e rusticidade
AG8780 PR04	Agro Bayer	Precoce	Semiduro alaranjado	Arquitetura moderna (porte baixo)

Cada unidade experimental foi composta por oito linhas de 12 m de comprimento, espaçadas em 0,90 m, com densidade de semeadura de seis plantas por metro linear, totalizando uma população esperada de aproximadamente 66.667 plantas por hectare.

4.3. Manejo da Adubação

A adubação de semeadura foi calculada com base nas recomendações de Duarte et al. (2022), atualizadas para a cultura do milho no Estado de São Paulo, utilizando 40, 70 e 30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, aplicados no sulco de semeadura. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada com 80 kg ha⁻¹, aplicada no estágio fenológico V4 (quatro folhas completamente expandidas). As fontes utilizadas de N, P₂O₅ e K₂O foram ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

4.4. Manejo Fitossanitário

O manejo de plantas daninhas foi realizado de forma química e mecânico. Inicialmente, foi aplicado o herbicida Atrazina (2,5 kg i.a. ha⁻¹) em pré-emergência da cultura, logo após a semeadura. Na sequência, em pós-emergência, realizou-se a aplicação em mistura de tanque contendo glyphosate (2,88 kg i.a. ha⁻¹) associado ao herbicida 2,4-D (670 g e.a. ha⁻¹), ambos com volume de calda de 200 L ha⁻¹. Adicionalmente, no estágio reprodutivo R3 (grão leitoso),

foi realizado o controle mecânico das plantas daninhas remanescentes através do uso de roçadeira nas entrelinhas do experimento.

O manejo de pragas ocorreu no estágio V5-V6, visando o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), com aplicação de triflumurom (120 g i.a. ha⁻¹). Associado a este manejo, aplicou-se metomil (130 g i.a. ha⁻¹) para o controle da cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*). Todas as aplicações de inseticidas também utilizaram volume de calda de 200 L ha⁻¹.

4.5. Avaliações

Foi avaliado diariamente o acúmulo de graus-dias (GD) até a emissão da inflorescência masculina (VT) e, posteriormente, foi calculado o somatório de graus dias ($\sum GD$) para obter a quantidade de temperatura acumulada necessária para chegar no estágio fenológico VT, conforme a equação 1 (Arnold, 1959):

$$\sum GD = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_b$$

Onde T_{max} representa a temperatura máxima diária (°C), T_{min} é a temperatura mínima diária (°C) e T_b representa a temperatura basal da cultura (10 °C). Sendo que, temperaturas máximas iguais ou maiores que 30°C, foram consideradas como 30 °C; temperaturas mínimas iguais ou menores que 10 °C, foram consideradas como 10 °C.

Também foi avaliado o tempo para emissão da inflorescência masculina e feminina, sendo o resultado expresso em número de dias após a emergência. Ao final do ciclo da cultura, no estágio de maturidade fisiológica (R6), foram realizadas avaliações de população final de plantas (plantas por metro linear), altura da planta (cm), altura de inserção da espiga (cm), diâmetro do caule (mm), número de espigas por planta, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira e massa de 100 grãos (g - 13% de umidade). A produtividade foi avaliada por meio da colheita manual das quatro linhas centrais de cada parcela, descartando-se duas linhas de bordadura de cada lado. Os grãos foram pesados, e os valores foram corrigidos para 13% de umidade e extrapolados para kg ha⁻¹. As demais avaliações morfológicas e de componentes de rendimento também foram realizadas nas linhas centrais, seguindo o mesmo critério de eliminação de bordaduras.

4.6. Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Anderson-Darling e homocedasticidade por meio do teste de Hartley. Os dados com distribuição normal, foram

submetidos à análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5% de probabilidade. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey ($p < 0,05$).

A análise multivariada foi conduzida a partir das variáveis agronômicas avaliadas nos seis híbridos de milho. A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada utilizando o pacote FactoMineR no software R (R Core Team, 2024), com visualização gráfica por meio do pacote factoextra. Para identificar padrões de similaridade entre os híbridos, realizou-se o agrupamento hierárquico, empregando a distância euclidiana como medida de dissimilaridade; e o método de Ward como critério de ligação, que minimiza a variabilidade intragrupo.

O dendrograma resultante foi utilizado para definir o número ideal de grupos. Para isso, adotou-se o critério do maior salto na altura das fusões (distância h), ordenando-se as alturas de ligação em ordem decrescente. A segunda maior altura foi utilizada como ponto de corte para a formação de três grupos, uma vez que representa a redução do número de grupos de quatro para três e corresponde à configuração mais biologicamente interpretável entre os híbridos avaliados. Todas as análises foram realizadas no software RStudio (versão 2024) utilizando os pacotes FactoMineR, factoextra, dplyr e ggplot2.

5. RESULTADOS

5.1. Inflorescência dos híbridos de milho

Houve variação significativa na soma dos graus-dias (Figura 2A) e para o florescimento masculino (Figura 2B) entre os seis híbridos avaliados. O híbrido NS 75 VIP3 apresentou o florescimento mais precoce (cerca de 686 °C e 48 dias), confirmando sua superprecoceidade com os menores valores para esta variável, diferenciando-se estatisticamente dos demais híbridos. Os híbridos NK 467 VIP3, NS 505 VIP3 e AG8780 PR04 tiveram valores intermediários, sem diferença estatística significativa entre si (Figura 2B e 2C). Já os híbridos NS 71 VIP3 e NS 44 TG apresentaram o comportamento mais tardio, com médias de 782 °C acumulados e 55 dias para a emissão da antese.

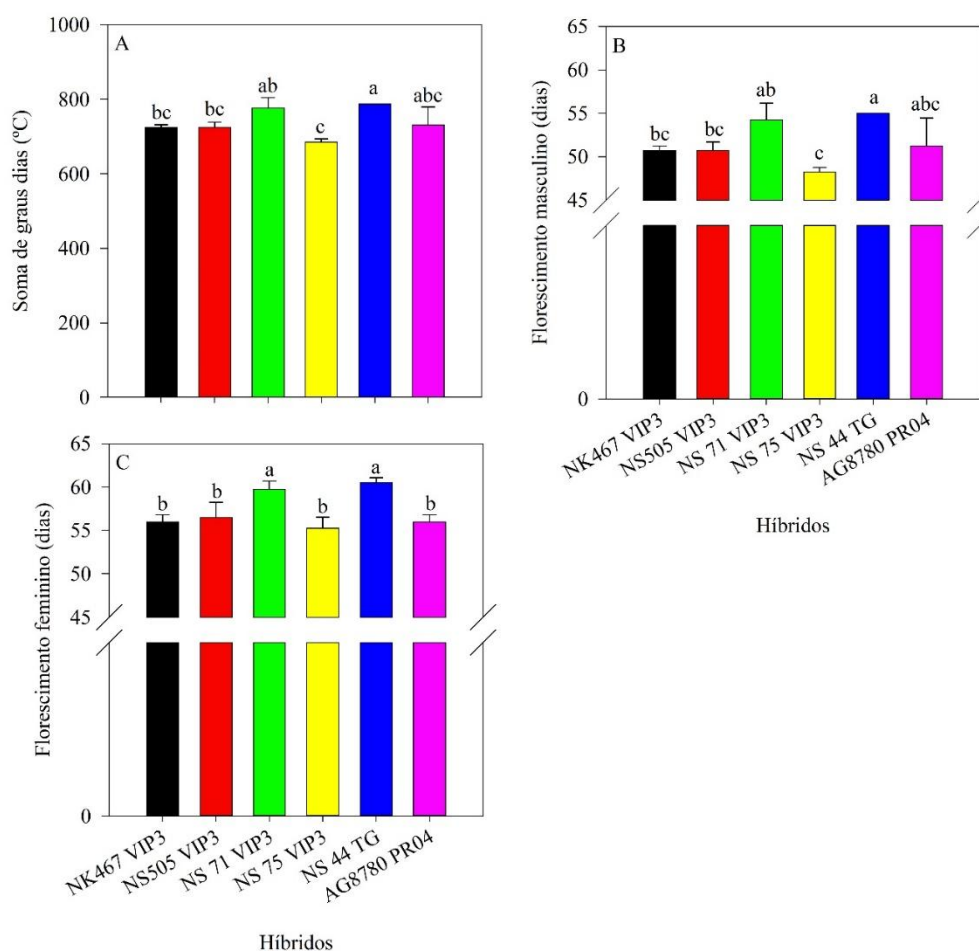


Figura 2: Soma de graus dias (A), Florescimento masculino (B) e feminino (C) em dias para diferentes híbridos de milho. Letras indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o florescimento feminino (Figura 2C), os híbridos NS 71 VIP3 e NS 44 TG destacaram-se pelo florescimento mais tardio, com média de 60 dias, diferindo estatisticamente dos demais. Os híbridos NK 467 VIP3, NS 505 VIP3, NS 75 VIP3, NS 44 TG e AG8780 PRO4 apresentaram comportamento semelhante entre si, com valores variando entre 55 e 57 dias.

5.2. Avaliações morfológicas e populacionais

As características morfológicas dos híbridos estão apresentadas na Figura 3. A população final de plantas variou entre 4,0 e 5,0 plantas por metro linear (Figura 3A), sendo que o híbrido NS 75 VIP3 apresentou a menor população, diferindo estatisticamente dos demais. Os híbridos NK467 VIP3, NS 505 VIP3, NS 71 VIP3, NS 44 TG e AG 8780 PRO4 apresentaram população semelhante, entre 4,5 e 5,0 plantas por metro.

A altura de planta variou de 180 a 220 cm (Figura 3B), com os híbridos NK467 VIP3, NS 71 VIP3 e NS 44 TG apresentando maior porte, enquanto o AG 8780 PRO4 e o NS 75 VIP3 apresentaram plantas mais baixas. A altura de inserção da espiga acompanhou a altura de planta (Figura 3C), com valores entre 90 e 120 cm.

O diâmetro de caule variou de 18 a 24 mm (Figura 3D), com destaque para o híbrido NS 71 VIP3, que apresentou o maior diâmetro, diferindo estatisticamente dos demais. O híbrido NS 75 VIP3 apresentou o menor diâmetro de caule, o que pode estar relacionado ao seu ciclo mais curto e menor desenvolvimento vegetativo.

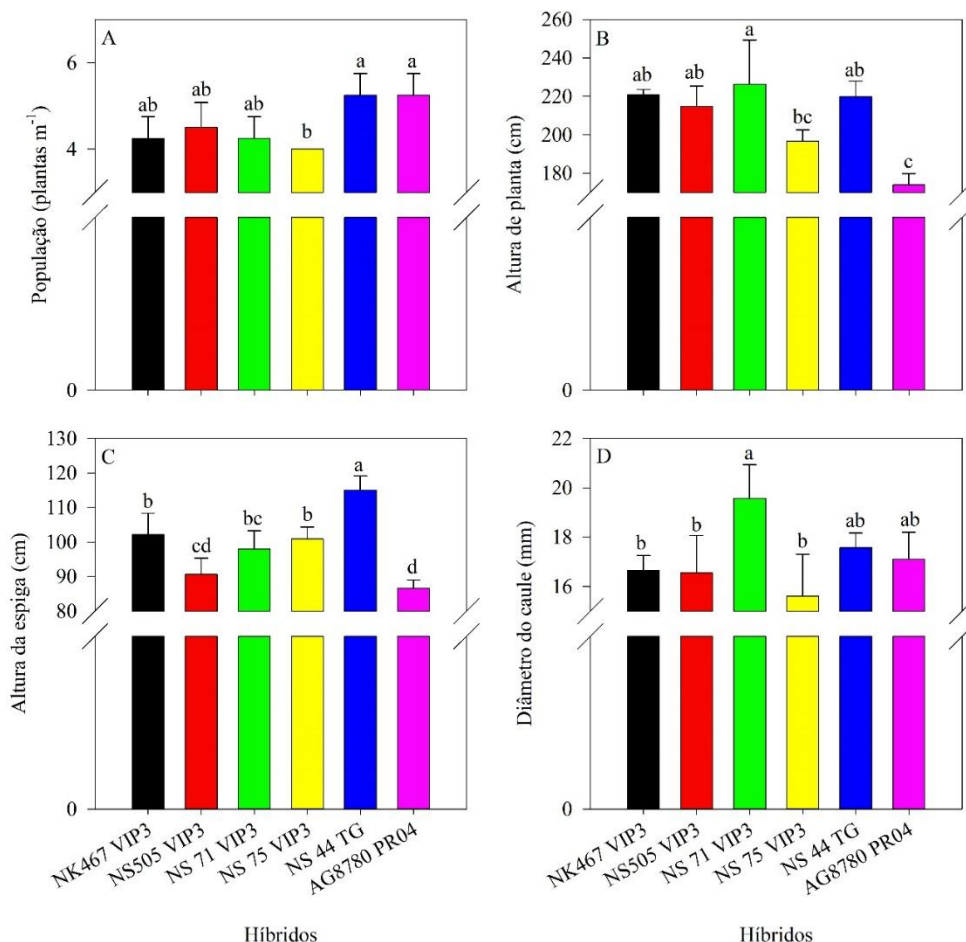


Figura 3: População (plantas m⁻²) (A), Altura de planta (cm) (B), Altura da espiga (cm) (C) e Diâmetro do caule (mm) (D) de diferentes híbridos de milho. Letras indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$).

5.3. Componentes de Rendimento e Produtividade de Grãos

O híbrido NS 44 TG apresentou menor número de espigas por planta, porém não diferiu estatisticamente do NS 505 VIP3 e do NS 75 VIP3 (Figura 4A). O número de fileiras de grãos por espiga (Figura 4B) foi a única característica dos componentes de produção que não apresentou diferença significativa entre os híbridos, com valor médio de 13 fileiras.

As diferenças mais expressivas foram observadas nos componentes que definem o número e a massa dos grãos. O híbrido NS 44 TG destacou-se com o maior número de grãos por fileira (Figura 4C) e com a maior massa de 100 grãos (Figura 4D), superando estatisticamente todos os outros híbridos nestas duas variáveis. A integração desses componentes resultou na produtividade de grãos (Figura 4E), onde se observaram diferenças significativas. O grupo de híbridos de maior produtividade foi composto por NK467 VIP3, NS505 VIP3, NS 71 VIP3 e NS 44 TG. Embora estatisticamente semelhantes, o desempenho

superior do híbrido NS 44 TG foi impulsionado por sua capacidade de formar espigas com mais grãos e grãos mais pesados. A menor produtividade foi registrada para o híbrido NS 75 VIP3, o que corresponde ao seu desempenho inferior no número de grãos por fileira e no número de espigas por planta. O híbrido AG8780 PR04 apresentou produtividade intermediária.

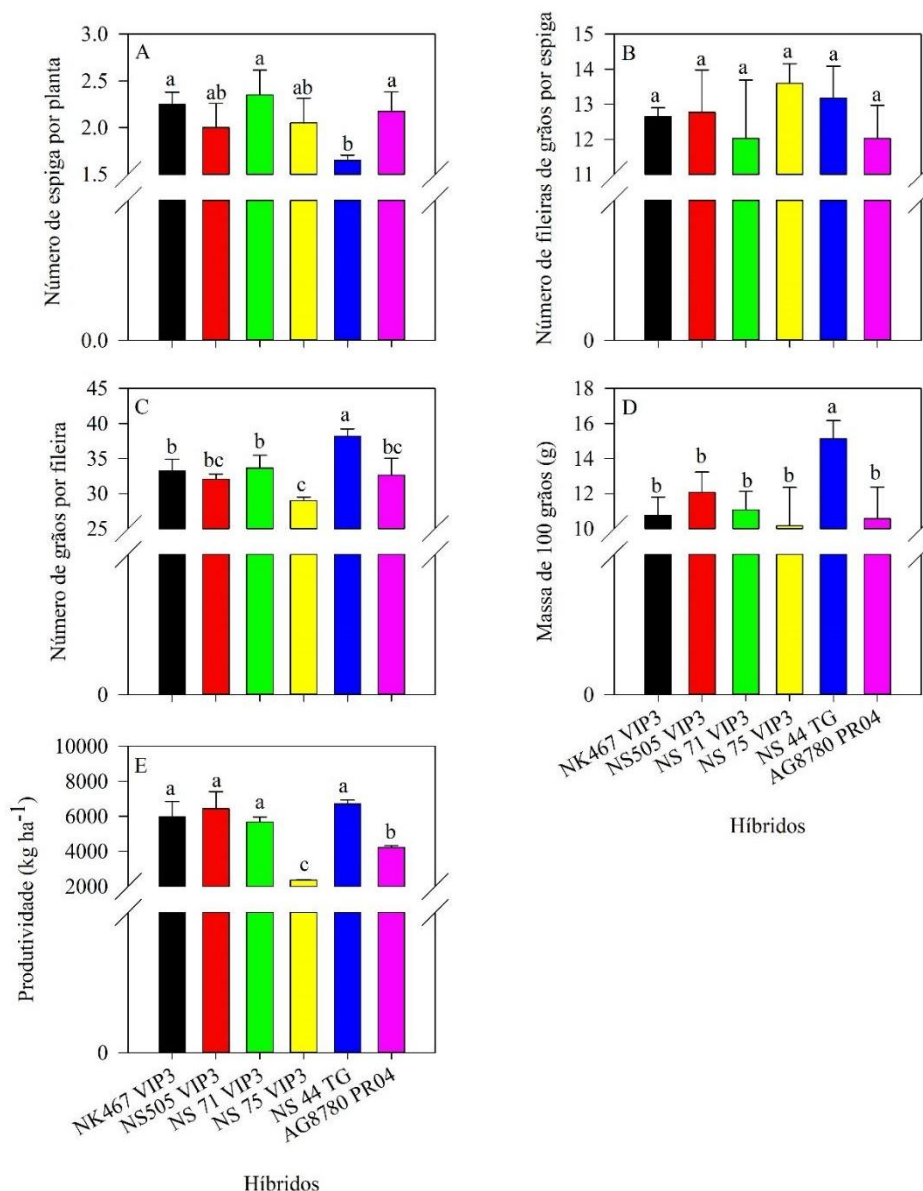


Figura 4: Número de espiga por planta (A), Número de fileiras de grãos por espiga (B), Número de grãos por fileira (C), Massa de 100 grãos (g) (D) e Produtividade (kg ha⁻¹) (E) de diferentes híbridos de milho. Letras indicam diferenças significativas segundo o teste de Tukey (p<0,05).

5.4. Análise de Componentes Principais e Agrupamento dos Híbridos

A análise de componentes principais (PCA) revelou que os dois primeiros componentes

explicaram 78,1% da variância total dos dados, sendo 55,1% atribuídos ao primeiro componente (Dim1) e 23,0% ao segundo (Dim2) (Figura 5).

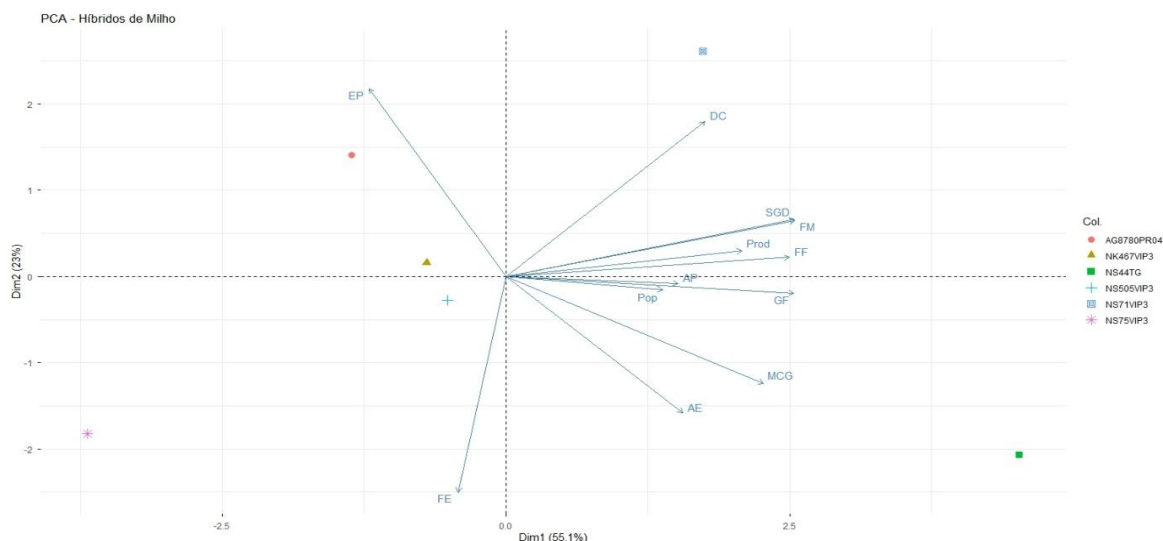


Figura 5. Dispersão da análise de componentes principais do desempenho agrônomo de diferentes híbridos de milho cultivados em Araras-SP, na safra de verão de 2024/25.

O primeiro componente principal esteve fortemente associado às variáveis de soma de graus-dias (SGD, florescimento masculino (FM) e feminino (FF), número de grãos por fileira (GF), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (Prod). Já o segundo componente principal apresentou maior contribuição das variáveis diâmetro do caule (DC), espigas por planta (EP) e fileiras de grãos por espiga (FE) (Figura 6).

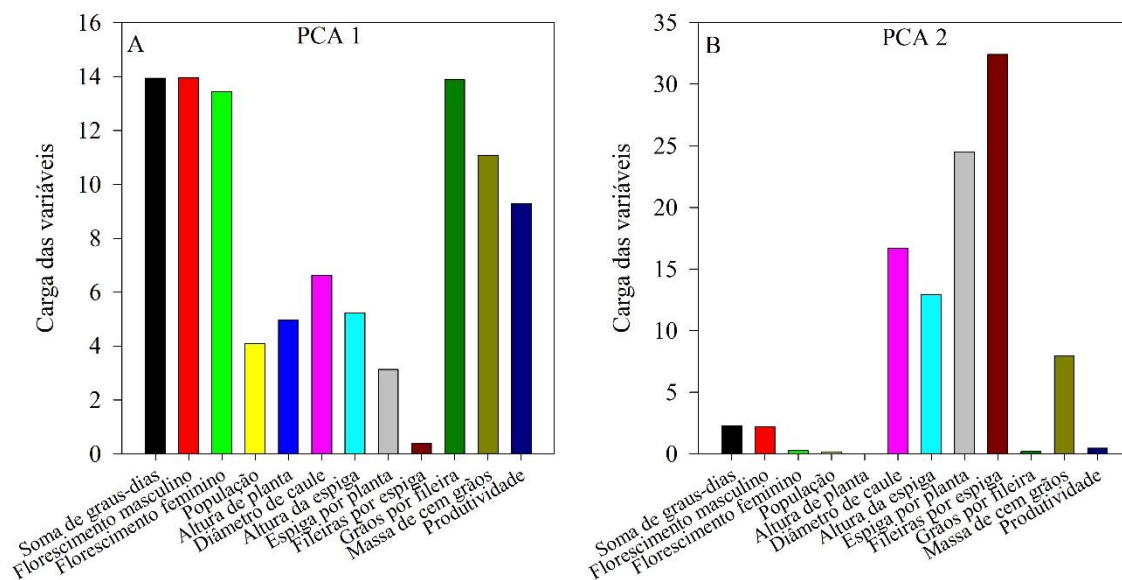


Figura 6. Carga das variáveis da primeira (PCA 1) e segunda (PCA 2) componente principal das variáveis de desempenho agrônomo de diferentes híbridos de milho cultivados em Araras-SP, na safra de verão de 2024/25.

A projeção dos híbridos no plano bidimensional evidenciou diferenças claras no comportamento agrônomo entre os materiais (Figura 5). O híbrido NS 505 VIP3 posicionou no quadrante associado aos menores valores do componente 1 e 2, indicando desempenho produtivo inferior, correlacionando-se principalmente ao menor número de fileiras de grãos por espiga. Por outro lado, NS44TG apresentou maior associação com o número de grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (MCG) e altura da espiga (AE). O híbrido NS 71 VIP3 associou-se principalmente às variáveis de florescimento, SGD e DC. Enquanto, o AG 8780 PRO4 e NK 467 VIP3 associaram-se ao maior número de espigas por planta, porém com correlação negativa com GF, MCG e AE (Figura 5).

O agrupamento hierárquico corroborou com os padrões observados na PCA e nas análises univariadas. O dendrograma indicou a formação de três grupos distintos, definidos a partir de um ponto de corte na altura aproximada de 5,6 (Figura 7).

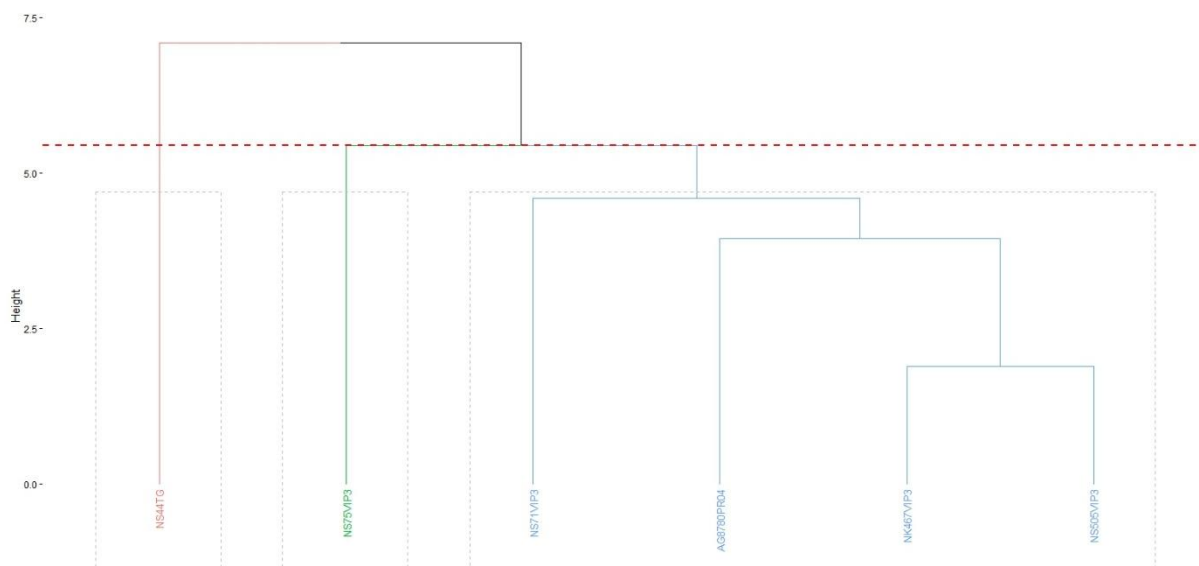


Figura 7. Dendrograma de agrupamento hierárquico, pelo método de Ward, do desempenho agrônomo de diferentes híbridos de milho cultivados em Araras-SP, na safra de verão de 2024/25.

O Grupo I foi composto exclusivamente pelo híbrido NS44TG, evidenciando comportamento agrônomo distinto dos demais. O Grupo II incluiu o híbrido NS75VIP3, também isolado, indicando elevada dissimilaridade em relação aos outros materiais. O Grupo III reuniu os híbridos NS71VIP3, AG8780PRO4, NK467VIP3 e NS505VIP3, caracterizados por maior similaridade multivariada, especialmente quanto às variáveis associadas à produtividade e componentes de rendimento. É possível observar, ao associar esses resultados com os dados univariados, que a análise de agrupamento dividiu os híbridos em mais produtivo

(Grupo 1), produtividade intermediária (Grupo 3) e com produtividade inferior (Grupo 2) (Figura 7).

De modo geral, a concordância entre a análise univariada, PCA e o agrupamento hierárquico confirma a existência de padrões consistentes de similaridade e divergência entre os híbridos, permitindo a discriminação clara dos materiais com base em seu desempenho agronômico.

6. DISCUSSÃO

A variação nos dias para o florescimento (Figura 2) é um indicador primário de adaptação genética e resposta ao ambiente (Andrade et al., 1995; Cruz et al., 2006). A diferença significativa entre o precoce NS 75 VIP3 (48 dias) e os mais tardios NS 71 VIP3 e NS 44 TG (55 dias) demonstra uma diversidade genética fundamental. Como apontado por Bravo et al. (2007), o desenvolvimento é uma função da soma térmica. De acordo com as informações disponibilizadas pelas empresas detentoras dos híbridos utilizados, esses materiais foram classificados como de ciclo precoce ou superprecoce (Tabela 2). Entretanto, a avaliação conduzida mostrou que todos os híbridos se comportaram como superprecoce, uma vez que o acúmulo térmico observado para a emissão da inflorescência masculina variou entre 686 e 788 graus-dia (Figura 3A e 3B). Considerando que cultivares de milho que requerem de 780 a 830 graus-dia são enquadradas na classe superprecoce (Cruz et al., 2006), os resultados obtidos reforçam a reclassificação dos materiais avaliados para esse grupo de maturidade. Esse comportamento pode ser um indicativo de adaptação dos híbridos às atuais condições de cultivo no município de Araras-SP. Apesar disso, é importante dizer que houve diferenças estatísticas para a emissão da inflorescência masculina e feminina (Figura 3).

A diferença entre a emissão da inflorescência masculina e feminina varia em média entre três e cinco dias (Silva et al, 2024), nesta pesquisa a variação foi de 4,75 (AG 8780 PRO4) a 7,00 dias (NS 75 VIP 3). Contudo, nas condições em que o experimento foi conduzido, no período próximo ao florescimento (R1) houve escassez de chuva (35 a 54 dias após a emergência) (Figura 1), isso pode ter afetado o desenvolvimento das plantas e pelo fato de ser uma fase fenológica sensível a deficiência hídrica, e isso pode ter contribuído para menor produtividade de grãos do híbrido NS 75 VIP3 (Figura 5E), sendo um indicativo de material mais sensível a condições de veranico.

O desempenho inferior do híbrido NS 75 VIP3 (2.361 kg ha^{-1}) não deve ser atribuído isoladamente ao seu ciclo, mas também, ao fato de ter apresentado a menor população de plantas entre os híbridos avaliados. Mesmo submetido a mesma densidade de semeadura que os demais tratamentos, este genótipo resultou em menor número de plantas produtivas por metro linear. Essa redução na população causou falhas no fechamento das linhas, o que pode ter diminuído a capacidade competitiva da cultura frente às plantas daninhas e aumentado a exposição do solo à radiação direta. Esse cenário, somado ao menor desempenho individual da planta (menos grãos por espiga), tornou a lavoura menos eficiente no uso dos recursos

disponíveis e mais vulnerável aos efeitos do veranico e a pressão de pragas em comparação aos demais híbridos.

Por outro lado, o híbrido NS 44 TG (6.700 kg ha^{-1}) destacou-se por apresentar a melhor combinação entre os componentes de rendimento. Mesmo sem diferir estatisticamente na população de plantas em relação aos demais materiais produtivos, ele foi superior na formação da espiga, obtendo o maior número de grãos por fileira e a maior massa de 100 grãos. Isso mostra que, para as condições desta safra, este híbrido conseguiu utilizar de forma mais eficiente os recursos disponíveis em produção de grãos, superando os demais genótipos.

A arquitetura das plantas também variou, com híbridos como NK467 VIP3 e NS 71 VIP3 apresentando maior porte, enquanto o AG8780 PR04 mostrou-se mais compacto. Embora a literatura indica que plantas menores favoreçam o adensamento e a colheita (Sangoi, 2001; Borém et al., 2015), o AG8780 PR04 resultou em uma produtividade intermediária, indicando que a arquitetura, isoladamente, não garantiu o teto produtivo.

Quanto aos fatores limitantes gerais, observa-se que a produtividade média do ensaio ficou abaixo do potencial genético máximo da cultura (que pode superar $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$). As fases de enchimento de grãos (fevereiro e março) coincidiram com uma redução no volume de chuvas (Figura 1). Esse cenário hídrico menos favorável no final do ciclo, somado às condições gerais de manejo (adubação e controle fitossanitário), compôs o ambiente produtivo que definiu o teto alcançado. Assim, a superioridade do NS 44 TG deve ser interpretada como uma alta resposta deste material a esse conjunto específico de fatores ambientais desta região e de manejo adotados para esse cultivo.

Esses resultados reforçam a importância da escolha criteriosa do genótipo, considerando não apenas o potencial produtivo, mas também a estabilidade do estande e a adaptação fenológica a janela de cultivo, estratégias essenciais frente a crescente variabilidade imposta pelas mudanças climáticas. Para consolidar essas observações e validar a estabilidade produtiva dos materiais na região, sugere-se a continuidade da pesquisa em novas safras agrícolas, com diferentes cenários climáticos.

7. CONCLUSÃO

Os híbridos de milho apresentaram diferenças significativas quanto ao ciclo, características morfológicas e produtividade de grãos. O NS 75 VIP3 destacou-se pela superprecocidade, porém apresentou menor desenvolvimento vegetativo e menor produtividade. Em contraste, o NS 44 TG obteve o melhor desempenho produtivo, associado ao maior número de grãos por fileira e maior massa de grãos. Os híbridos NK 467 VIP3, NS 505 VIP3 e NS 71 VIP3 apresentaram produtividade intermediária a elevada. As análises univariadas e multivariadas foram concordantes, confirmando a eficiência na discriminação dos híbridos e evidenciando a importância da escolha do material genético conforme os objetivos produtivos.

DECLARAÇÃO SOBRE O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa (IA), especificamente o modelo Gemini Pro (Google), com o objetivo de auxiliar na redação, organização e/ou revisão do texto científico. Todo o conteúdo gerado por IA foi cuidadosamente revisado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pela precisão, originalidade e integridade das informações apresentadas. Nenhuma decisão analítica, interpretação de dados ou conclusão científica foi realizada exclusivamente por ferramentas de IA.

REFERÊNCIAS

- ABERA, K.; CRESPO, O.; SEID, J.; MEQUANENT, F. Simulating the impact of climate change on maize production in Ethiopia, East Africa. *Environmental Systems Research*, v. 7, n. 1, p. 4, 2018.
- ALLARD, R. W. *Principles of Plant Breeding*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- ANDRADE, F. H.; VEGA, C. R. C.; UHART, S. A.; CIRILO, A. G. Flowering and seed growth of maize under different water regimes. *Field Crops Research*, v. 41, n. 3, p. 169-176, 1995.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, v. 74, p. 430-445, 1959.
- BAYER. AG 8780 PRO4: híbrido de milho. A página da Bayer detalha a tecnologia e o posicionamento do híbrido. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/sementes/milho/ag-8780-pro4> Acesso em: 20 nov. 2025.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição da chuva e produtividade do milho em condições de irrigação e sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 6, p. 533-540, 2004.
- BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. *Milho: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV, 2015.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26 – 2º levantamento. Brasília, DF: CONAB, 2025.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 87).
- DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Milho (*Zea mays*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. (Ed.). *Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: IAC, 2022. p. 199-208.
- FANCELLI, A. L. *Milho: estratégias de manejo e alta produtividade*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015.
- HAARHOFF, S. J.; SWANEPOEL, P. A. Plant population and maize grain yield: a global systematic review of rainfed trials. *Crop Science*, v. 58, n. 5, p. 1819-1829, 2018.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment*

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.
- JONES, P.; THORNTON, P. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, v. 13, n. 1, p. 51-59, 2003.
- LI, E.; ZHAO, J.; YE, Q.; GAO, J.; YANG, X. The possible effects of global warming on cropping systems in China XIII. Precipitation limitation on adjusting maturity cultivars of spring maize and its possible influence on yield in three provinces of northeastern China. *Scientia Agricultura Sinica*, v. 54, n. 18, p. 3847-3859, 2021.
- LOBELL, D. B.; HAMMER, G. L.; MCLEAN, G.; MESSINA, C.; ROBERTS, M. J. et al. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 5, p. 497-501, 2013.
- MONDO, V. H. V. et al. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 35, n. 1, p. 64-69, 2013.
- NIDERA. Híbridos de milho NS 505 VIP3, NS 71 VIP3, NS 75 VIP3, NS 44 TG: catálogo 2024. Disponível em: <https://www.niderasementes.com.br/hibridos>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2001.
- SILVA, F. D. dos S.; PEIXOTO, I. C.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; GOMES, H. B. et al. Predictive potential of maize yield in the mesoregions of Northeast Brazil. *AgriEngineering*, v. 6, n. 2, p. 881-907, 2024.
- SYNGENTA. NK467 VIP3: híbrido de milho. Disponível em: <https://www.sementesnk.com.br/hibridos/milho/nk467-vip3>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- YAN, J.; TAN, B. Maize biology: from functional genomics to breeding application. *Journal of Integrative Plant Biology*, v. 61, n. 6, p. 654-657, 2019.
- ZANON, A. J. et al. *Ecofisiologia do milho: visando altas produtividades*. 2. ed. Santa Maria: FieldCrops, 2024.