

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE
MILHO CULTIVADO EM LINHAS SIMPLES E DUPLAS SOB
NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO**

ENZO MORILLO

Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

Coorientador: M.Sc. Nilton Eugénio Mário

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE
MILHO CULTIVADO EM LINHAS SIMPLES E DUPLAS SOB
NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO**

ENZO MORILLO

Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

Coorientador: M.Sc. Nilton Eugénio Mário

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, para graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP

1º semestre/2025

M857d Morillo, Enzo

Desempenho agronômico e produtividade da água de milho cultivado em linhas simples e duplas sob níveis de irrigação / Enzo Morillo. -- Jaboticabal, 2025

30 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Anderson Prates Coelho

Coorientador: Nilton Eugênio Mário

1. Irrigação. 2. Milho. 3. Produtividade. 4. Eficiência do uso da água. I. Título.

ENZO MORILLO

**TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO: DESEMPENHO AGRONÔMICO E
PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE MILHO CULTIVADO EM LINHAS SIMPLES E
DUPLAS SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

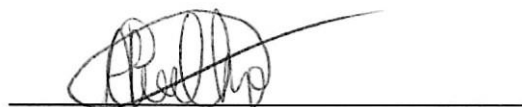
Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho
Coorientador (se houver): M.Sc. Nilton Eugênio Mário

Área de Concentração: Recursos Hídricos

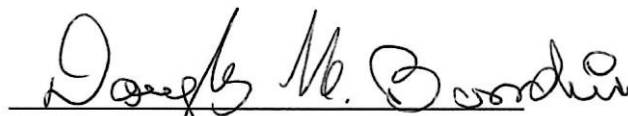
Data da defesa: 07/07/2025

☒ Aprovado
☐ Reprovado

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Anderson Prates Coelho
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



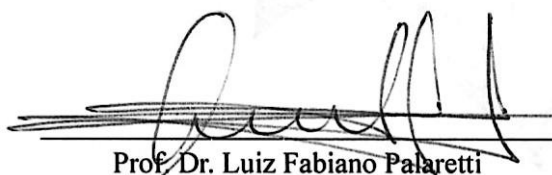
Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal



M.Sc. Victor Augusto da Costa Escarela
Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

11 / 07 / 2025



Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me ajudaram a ser a pessoa que sou hoje e a todos que me auxiliaram na realização deste projeto. Dentre aqueles que quero ressaltar meus agradecimentos, cito minha mãe Rosimeire Lemos de Carvalho Morillo, meu pai Marcelo Antônio Morillo e meu irmão Marcelo Antônio Morillo Junior, que são os responsáveis por eu ser a pessoa que sou hoje e por almejar sempre ser alguém melhor no futuro, e ao meu avô Vanir Morillo pelo homem forte que é, pelos ensinamentos que passou aos seus filhos e netos, sendo imprescindível na formação de caráter de toda sua família, e graças aos esforços de todos, tive a oportunidade de fazer uma excelente graduação em engenharia agrônoma na FCAV Unesp; cito também minha namorada Monise Adriana Viotto dos Santos por sempre estar ao meu lado, me ajudar nos momentos de dificuldade e proporcionando momentos de alegria. E a todos amigos que fiz durante o período da faculdade, que me ajudaram a realizar essa conquista profissional. Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de iniciação científica.

ÍNDICE

1 RESUMO	1
2 ABSTRACT.....	2
3 INTRODUÇÃO.....	2
4 MATERIAL E MÉTODOS	5
4.1. Descrição da área experimental.....	5
4.2. Delineamento experimental.....	6
4.3. Distribuição da precipitação dos aspersores	7
4.4. Dados meteorológicos	8
4.5. Semeadura, adubação e manejo de irrigação.....	9
4.6. Variáveis analisadas.....	10
4.7. Análise estatística	11
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
6 CONCLUSÃO	20
7 REFERÊNCIAS.....	21

Trabalho escrito nas normas do periódico Irriga

DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE MILHO CULTIVADO EM LINHAS SIMPLES E DUPLAS SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

1 RESUMO

A eficiência no uso da água e o manejo adequado da irrigação são fatores essenciais para aumentar a produtividade e a sustentabilidade do cultivo de milho. A escolha do arranjo espacial das plantas pode influenciar significativamente o desempenho agronômico da cultura. Objetivou-se avaliar e comparar o desempenho agronômico e a produtividade da água de milho cultivado nos sistemas de semeadura em linhas simples e em linhas duplas submetido a cinco níveis de irrigação. O experimento foi realizado na FCAV - Unesp Jaboticabal, SP, Brasil, em delineamento de blocos em faixas, em sistema line-source e esquema experimental 3x5. Foram utilizados três sistemas de cultivo, com espaçamentos entre linhas de 45 cm, 45x90 cm e 90 cm e cinco níveis de irrigação: 44%, 61%, 75%, 100% e 128% da reposição de água. O manejo da irrigação foi via clima, com dados climáticos e de precipitação obtidos diariamente da estação meteorológica da FCAV - Unesp. A produtividade de grãos e da água média no sistema de semeadura em linhas duplas foram de 9.786,95 kg ha⁻¹ e 5,01 kg m⁻³. O sistema de cultivo em linhas duplas demonstrou aumento na produtividade de grãos e da água em diferentes níveis de irrigação em comparação com os sistemas de linhas simples.

Palavras-chave: eficiência no uso da água, sustentabilidade, line-source, manejo de irrigação.

AGRONOMIC PERFORMANCE AND WATER PRODUCTIVITY OF MAIZE GROWN IN SINGLE AND DOUBLE ROWS UNDER IRRIGATION LEVELS

2 ABSTRACT

Water use efficiency and adequate irrigation management are essential factors for increasing the yield and sustainability of maize crops. The choice of plant spatial arrangement may significantly influence the crop's agronomic performance. The aim was to evaluate and compare the agronomic performance and water productivity of maize grown in single-row and double-row seeding systems subjected to five irrigation levels.. The experiment was conducted at FCAV-Unesp Jaboticabal, SP, Brazil, in a strip block design, using a line-source system and a 3x5 experimental layout. Three cropping systems were used, with row spacing of 45 cm, 45x90 cm, and 90 cm, and five irrigation levels: 44%, 61%, 75%, 100%, and 128% of water replacement. Irrigation management was climate-controlled, with daily climate and precipitation data obtained from the FCAV-Unesp meteorological station. The average grain and water yield in the double-row seeding system were 9,786.95 kg ha⁻¹ and 5.01 kg m⁻³. Double-row system demonstrated increased grain and water yield at different irrigation levels compared to single-row systems.

Keywords: water use efficiency, sustainability, line-source, irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

O milho é um dos cereais mais consumidos no mundo, sendo cultivado em mais de 150 países em área total superior a 230 milhões de hectares (FAO, 2020). A produtividade média da cultura no mundo é de 5,0 t ha⁻¹, valor considerado baixo, visto que a produtividade em países como, os Estados Unidos, é próxima de 12 t ha⁻¹. No Brasil, a produtividade média da cultura é de 5,5 t ha⁻¹ (Conab, 2025), 54,17% inferior à produtividade média observada nos EUA.

No Brasil, o milho geralmente é cultivado em duas safras durante o ano. A primeira safra compreende a semeadura de outubro a dezembro, enquanto a segunda safra a semeadura varia de janeiro a março. Entretanto, existem levantamentos da Conab que começaram a incluir a semeadura de milho em uma terceira safra (Conab, 2023), em áreas irrigadas e com elevada tecnologia e intensificação de uso da terra, onde o milho é semeado no máximo até meados de agosto para que possa ser colhido no final do ano para uma safra de soja tardia ser semeada em sucessão (Voss, 2018). A semeadura do milho 3ª safra só é possível em regiões com invernos mais amenos, com temperaturas mínimas mais elevadas, como na maior parte do Cerrado brasileiro.

Devido à intensificação desse sistema de produção, geralmente são utilizadas cultivares superprecoces ou precoces de milho, realizando-se a colheita em até 130 dias após a semeadura (Crusciol et al., 2010), para que tanto o milho quanto a soja possam ser cultivados na mesma área dentro do mesmo ano agrícola em condições climáticas favoráveis. Entretanto, estudos indicam que cultivares precoces de milho apresentam menor potencial produtivo do que cultivares de ciclo médio e tardio (Crusciol et al., 2013). Nesse sentido, avaliações de manejos agrícolas são ainda mais importantes para a obtenção de elevadas produtividades nessas cultivares.

Dentre os manejos que podem ser adotados para o aumento da produtividade do milho irrigado e cultivado no inverno, podem ser destacados o sistema de semeadura e o manejo da irrigação (Balem et al., 2014; Sousa et al., 2020). Estudos indicam que a semeadura do milho em linhas duplas, ou linhas gêmeas, incrementam a produtividade da cultura em relação à semeadura em linhas simples (Balem et al., 2014; Bettio et al., 2017).

O sistema de linhas duplas, ou gêmeas, se caracteriza por ter duas linhas próximas e uma linha mais distante, em espaçamento entre linhas de 0,45 x 0,90 m, por exemplo. No sistema de

linhas simples, todas as linhas apresentam o mesmo espaçamento entre linhas, podendo ser de 0,45 m, 0,50 m, 0,80 m ou 0,90 m, entre outros (Embrapa, 2021). O arranjo espacial das plantas de milho no sistema de linhas duplas tende a proporcionar melhor aproveitamento de recursos, especialmente da radiação solar, promovendo maior crescimento e rendimento do milho em relação ao sistema de cultivo em linhas simples, especialmente em relação aos espaçamentos maiores (0,80-0,90 m) (Robles; Ciampitti; Vyn, 2012).

Na safra com semeadura no inverno (3ª safra), Sousa et al. (2020) verificaram em um híbrido de milho superprecoce que o sistema de linhas duplas (0,50 x 1,00 m) reduziu a produtividade da cultura em 5,2% comparado ao de linhas simples (0,50 m). Neste trabalho, a componente de produção que mais explicou a redução de produtividade do milho no sistema de linhas duplas foi a massa de mil grãos. Como este componente está intimamente relacionado ao fornecimento de água para a cultura, e a safra de inverno do milho deve ser necessariamente irrigada na maior parte do ciclo da cultura, devido à falta de chuva nesta época do ano em grande parte do Brasil, o manejo de irrigação neste sistema de cultivo para a obtenção de maiores produtividades, pode ser diferente do manejo para linhas simples.

Entretanto, o aumento da produtividade do milho devido a utilização da semeadura em linhas duplas não está totalmente consolidado e comprovado (Robles; Cvyniampitti; Vyn, 2012; Novacek et al., 2013; Sousa et al., 2020; Brame et al., 2021), necessitando de mais trabalhos para abalizar recomendações mais assertivas.

Como no sistema de linhas duplas o espaçamento médio entre linhas é superior ao sistema de linhas simples, logo, maiores quantidades de plantas na linha devem ser semeadas para manter a população de plantas. Sendo assim, a competição por água na linha de semeadura tende a ser maior entre as plantas (Argenta et al., 2001). Além disso, este maior espaçamento médio entre linhas pode reduzir a eficiência de absorção de água pelas plantas (Porter et al.,

1997; Alvarez et al., 2006). Essas constatações tendem a demonstrar que é necessária maior aplicação de água (lâminas de irrigação) no sistema de cultivo de milho em linhas duplas na safra de inverno comparado ao sistema de linhas simples com espaçamentos reduzidos (0,45 m ou 0,50 m) para a obtenção de maiores produtividades. Nesse sentido, são necessários estudos com níveis de reposição de água nesta situação para promover manejos mais assertivos e sustentáveis na produção do milho.

O objetivo com este estudo foi avaliar e comparar o desempenho agrônômico e a produtividade da água de milho cultivado nos sistemas de semeadura em linhas simples e em linhas duplas submetido a cinco níveis de irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na FCAV - Unesp Jaboticabal/SP, Brasil, região com clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical de inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C. A temperatura média anual da região é de 22°C, com precipitação anual normal de 1.425 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (Santos et al., 2018), com textura argilosa ($\sim 500 \text{ g kg}^{-1}$ de argila na camada 0,00-0,20 m).

Antes da instalação do experimento, foi realizada a caracterização da fertilidade do solo da área experimental para as recomendações de adubação e calagem (Tabela 1). Além disso, foram amostrados três pontos nas camadas 0,00-0,20 e 0,20-0,40 para a caracterização física do solo, utilizando amostras indeformadas, com auxílio de anéis volumétricos (0,05 x 0,05 m) e amostrador do tipo Uhland (Tabela 2). Nessas amostras foram determinadas a umidade na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (Teixeira et al., 2017).

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental

Camada (m)	pH CaCl ₂	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		mmol _c dm ⁻³							%
0,00-0,20	5,9	25	0	5,1	50	14	69,1	94	74
0,20-0,40	5,5	28	0	5,2	33	10	48,2	76	63
Camada (m)	MO g dm ⁻³	Presina	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		mg dm ⁻³							
0,00-0,20	24	66	5	0,46	4,5	16	25,8	3,2	
0,20-0,40	19	49	7	0,39	4,4	11	24,5	1,6	

MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases.

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 2. Atributos físicos da área experimental.

Camada (m)	Ds g cm ⁻³	Umidade CC m ³ m ⁻³	Umidade PMP m ³ m ⁻³	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia g kg ⁻¹
0,00-0,20	1,33	0,357	0,171	492	279	229
0,20-0,40	1,24	0,325	0,166	536	266	198

Ds: densidade do solo; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente.

Fonte: Elaboração Própria.

4.2. Delineamento experimental

Os três sistemas de cultivo foram: 1-) Linhas simples com espaçamento entre linhas de 0,90 m; 2-) Linhas simples com espaçamento entre linhas de 0,45 m; 3-) Linhas duplas com espaçamento de 0,45 x 0,90 m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos em faixas, em sistema line-source de irrigação por aspersão (Hanks et al., 1976), com três sistemas de cultivo e cinco níveis de irrigação (3 x 5), distribuídos em quatro repetições. As parcelas apresentaram 6 linhas de cultivo de milho, sendo consideradas como área útil as 4 linhas centrais. O comprimento das parcelas foi definido como 2,5 m após teste de campo com a aplicação de água pelo sistema de irrigação. Os níveis de reposição de água (níveis de irrigação)

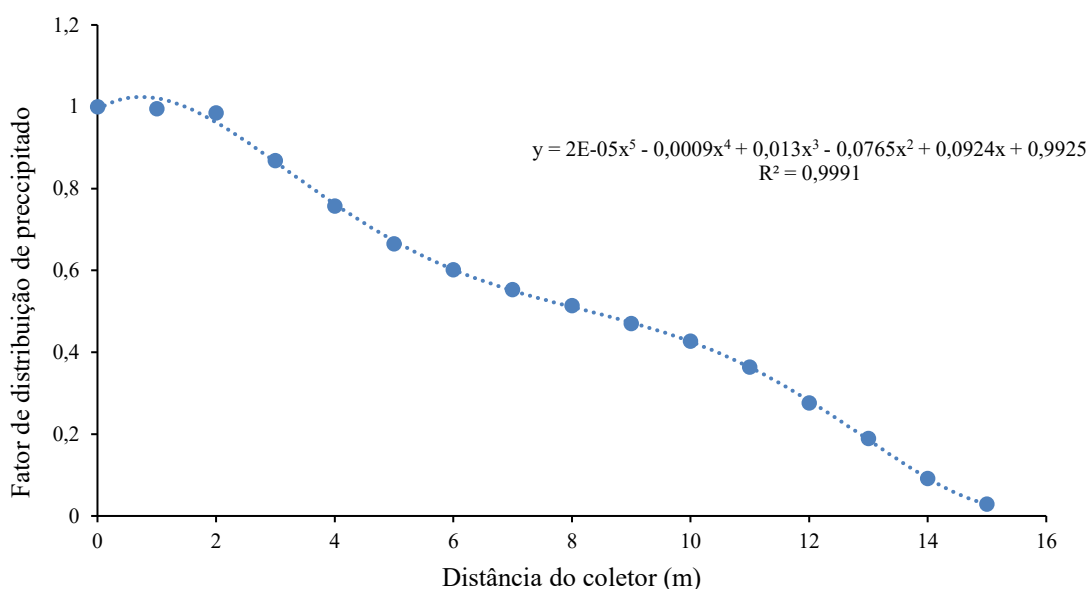
foram definidos com base no desenho experimental do tipo "aspersão em linha" (Hanks et al., 1976).

4.3. Distribuição da precipitação dos aspersores

Em teste de campo foi definido as frações de distribuição da precipitação dos aspersores, conforme pode ser exemplificado na Figura 1. Foram utilizados aspersores Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05, espaçados a cada 6 m na linha central. A intensidade de aplicação de água dos aspersores foi medida em campo, em testes com coletores. Nesse teste, foram colocados coletores espaçados de 1 em 1 m, até a distância limite de aplicação de água pelos aspersores, em linha perpendicular à linha de irrigação, com 4 repetições.

A Figura 1 mostra que a distribuição da água pelos aspersores não é uniforme ao longo da área irrigada. A maior parte da água é concentrada próximo à linha de aspersores, e a quantidade de água diminui à medida que se afasta da linha.

Figura 1. Fração de distribuição da precipitação dos aspersores em função da distância dos tratamentos da linha de irrigação, com aspersores espaçados em 6 m na linha, obtidos em teste de campo.



Distância (m)	Tratamento	Fator de distribuição da irrigação
0,00 – 2,50	L5	1,01
2,50 – 5,00	L4	0,79
5,00 – 7,50	L3	0,59
7,50 – 10,00	L2	0,48
10,00 – 12,50	L1	0,35

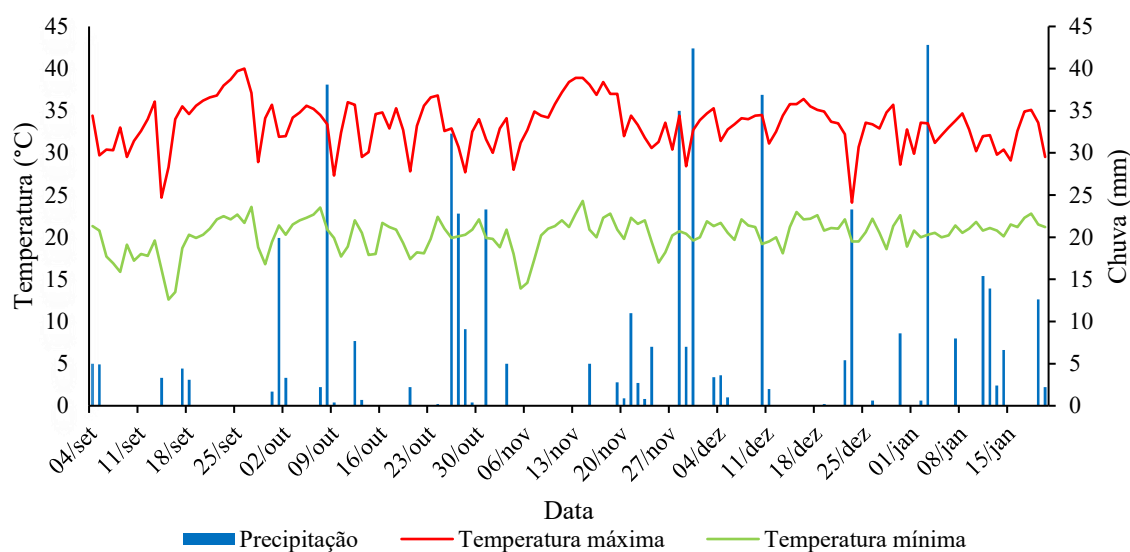
Fonte: Elaboração Própria.

Para efeito de estudo, foram definidos cinco níveis de irrigação, suprimindo a evapotranspiração da cultura (ETc): L1, L2, L3, L4 e L5, que foram estabelecidos após a calibração da regressão de aplicação de água pela linha de aspersores. O nível de irrigação L4 foi o controle, fornecendo 100% da necessidade hídrica da cultura. O nível L5 forneceu 128% da necessidade hídrica e os níveis L1, L2 e L3 forneceram 44%, 61% e 75% da necessidade hídrica, respectivamente.

4.4. Dados meteorológicos

A temperatura máxima e mínima média durante o período do experimento foram de 33,4 e 20,29 °C, respectivamente, com precipitação acumulada de 494,10 mm (Figura 2). Estes dados foram coletados diariamente da estação agrometeorológica da FCAV – Unesp de Jaboticabal/SP.

Figura 2. Temperatura máxima, mínima, precipitação durante o período experimental de 04 de setembro de 2023 a 20 de janeiro de 2024.



Fonte: Elaboração Própria.

4.5. Semeadura, adubação e manejo de irrigação

A semeadura do milho foi realizada no dia 04 de setembro de 2023, correspondendo a safra de inverno da cultura (3ª safra), sendo no sistema de preparo convencional do solo, constituído por uma aração e duas gradagens.

Foi utilizado o híbrido de milho AG8701PRO4. A semeadura foi realizada mecanicamente, utilizando uma semeadora/adubadora, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, obtendo a população de 60.000 plantas ha⁻¹. Antes da semeadura do experimento, as sementes foram tratadas com o produto Standak-Top®, para garantir um bom estabelecimento inicial da cultura. A adubação de semeadura (base) foi feita com 200 kg ha⁻¹ de formulado 08-28-16 e de cobertura foram realizadas no dia 29 de setembro de 2023 com 100 kg N ha⁻¹ (sulfato de amônio) e no dia 10 de outubro de 2023 com mais 100 kg N ha⁻¹ (ureia), de acordo com a análise de solo e recomendações de Duarte et al. (2022), com produtividade esperada de 10 a 12 t ha⁻¹ de grãos.

O manejo da irrigação foi realizado com base na demanda hídrica da cultura, de acordo com o método FAO 56, utilizando dados climáticos obtidos diariamente de estação

agrometeorológica da FCAV - Unesp localizada a 1.500 m do experimento. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A evapotranspiração da cultura do milho (ETc) foi calculada pelo produto da ETo com os coeficientes de cultivo (Kc) tabelados por Allen et al. (1998).

A irrigação foi realizada quando o déficit hídrico acumulado na área foi igual a água facilmente disponível (AFD) do solo no manejo L4. Essa lâmina foi calculada em função dos atributos físicos do solo, que foram determinados em laboratório, e da cultura do milho. Para o cálculo, da AFD foi considerada uma profundidade efetiva de raízes de 0,40 m e fator de disponibilidade de água no solo de 0,50 (Allen et al., 1998). Os valores de Kc inicial (Kc_{ini}), Kc de meia estação (Kc_{med}) e Kc final (Kc_f) utilizados para o manejo de irrigação do milho foram de 0,50; 1,20 e 0,35, respectivamente.

O Kc do estágio de desenvolvimento inicial (estágio I = Kc_{ini}) foi utilizado quando a cultura apresentou até 10% do seu desenvolvimento vegetativo máximo. No estágio II, quando a cultura possuiu de 10 a 80% do desenvolvimento vegetativo máximo, os valores de Kc foram interpolados diariamente, tendo como início o Kc_{ini} e o final o Kc_{med} . No estágio de desenvolvimento III, quando a cultura apresentou de 80 a 100% do desenvolvimento vegetativo máximo, foi utilizado os valores de Kc_{med} . No estágio de desenvolvimento IV, quando a cultura estava caminhando para a maturação dos grãos, os valores de Kc foram interpolados diariamente, tendo como início o Kc_{med} e o final o Kc_f . Esses valores foram definidos temporalmente de acordo com o acompanhamento do desenvolvimento da cultura em campo.

4.6. Variáveis analisadas

Por ocasião da colheita, foram determinadas as seguintes variáveis: altura de plantas, altura de inserção da espiga principal, diâmetro do colmo, população de plantas, prolificidade, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, massa

de mil grãos, massa de grãos por espiga, produtividade de grãos e produtividade da água. A altura de plantas foi determinada em 5 plantas por parcela, da superfície do solo até o ápice da planta. O diâmetro de colmos foi determinado no segundo entrenó acima do solo, em 5 plantas por parcela. Os componentes de produção foram determinados em 10 espigas por parcela. A produtividade de grãos foi determinada pela colheita da área útil de cada parcela, padronizando a umidade em 13% em base úmida. A produtividade da água (kg m^{-3}) foi determinada pela relação entre a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e o volume de água aplicado em cada tratamento ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

4.7. Análise estatística

Atendendo aos pressupostos de normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk (Royston, 1995), e homocedasticidade de variâncias, pelo teste de Levene (Gastwirth et al., 2009), os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) a 5% de probabilidade. Quando identificado diferença estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no software SPEED Stat (Carvalho et al., 2020). Além disso, quando o fator níveis de irrigação ou a interação espaçamento vs níveis de irrigação for significativa, foi realizada análise de regressão das variáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultivar de milho AG8701PRO4, quanto ao Espaçamento (E), foram observadas diferenças para diâmetro do colmo (DC), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga principal (AIEP). Em relação aos níveis de irrigação (N), houve diferenças para diâmetro do colmo (DC), altura de plantas (AP), altura de inserção da espiga principal (AIEP). Houve interação entre Espaçamento (E) e Níveis de irrigação (N) das variáveis de crescimento do

milho somente para altura de plantas (AP) e altura de inserção da espiga principal (AIEP) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância do milho cultivado sob sistemas de cultivo a lâminas de irrigação para as variáveis de crescimento, população de plantas e prolificidade

Fatores	DC	AP	AIEP	PP	Prolificidade
Espaçamento	mm	m	m	plantas ha ⁻¹	
E45	25,55 A	2,29 AB	1,26 AB	57222,22 A	1,20 A
E45X90	24,92 AB	2,34 A	1,31 A	58518,50 A	1,18 A
E90	23,10 B	2,11 B	1,17 B	54722,22 A	1,20 A
Níveis de irrigação	mm	mm	mm	mm	mm
128%	25,37	2,38	1,31	56018,51	1,18
100%	25,02	2,33	1,29	59567,89	1,24
75%	24,83	2,26	1,27	55246,90	1,26
61%	24,42	2,20	1,24	57407,40	1,13
44%	22,98	2,06	1,12	55864,19	1,21
Valor F					
Espaçamento (E)	15,32 **	29,53 **	22,09 **	1,82 ns	0,13 ns
Níveis de irrigação (N)	6,01 **	100,50 **	35,78 **	1,42 ns	1,17 ns
E vs N	1,4 ns	2,27 *	2,46 *	1,73 ns	1,96 ns
CV(a) - %	5,93	4,35	5,51	11,27	12,81
CV(b) - %	5,34	1,95	3,41	8,84	12,91

DC: diâmetro de colmos; AP: altura de plantas; AIEP: altura de inserção da espiga principal; PP: população de plantas; CV: coeficiente de variação; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%; ns: não significativo.

Fonte: Elaboração Própria.

Quanto o diâmetro do colmo (DC), E45 apresentou resultados superiores e E45x90 valores intermediários. O menor espaçamento das plantas está relacionado a um maior diâmetro de colmo, pois há menor interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura nos maiores espaçamentos (Sharratt e McWilliams, 2005), o que favorece o estiolamento das plantas e a reduz do diâmetro de colmo (Sangoi et al., 2002).

Para os componentes de produção e desempenho agrônomo do milho, o espaçamento apresentou diferença estatística para o número de fileiras por espiga (NFE), massa de grãos por espiga (MGE), produtividade de grãos (PG) e da água (PA), enquanto os níveis de irrigação afetaram o número de grãos por fileira (NGF), massa de grãos por espiga (MGE), produtividade de grãos (PG), produtividade da água (PA). Ocorreu interação somente para o número de grãos

por fileira (NGF) e massa de grãos por espiga (MGE) (Tabela 4). A massa de mil grãos (MMG) não foi significativa em nenhuma das variáveis.

Tabela 4. Resumo da análise de variância do milho cultivado sob sistemas de cultivo a lâminas de irrigação para os componentes de produção e produtividade de grãos e da água

Fatores	NFE	NGF	MMG	MGE	PG	PA
Espaçamento			g	g	kg ha ⁻¹	kg m ⁻³
E45	16,50 A	35,86 A	286,23 A	156,16 A	9.355 B	4,77 B
E45X90	16,17 B	36,78 A	257,55 A	141,00 B	9.786 A	5,01 A
E90	16,07 B	36,40 A	264,52 A	147,51 AB	9.308 B	4,88 AB
Níveis de irrigação	mm	mm	mm	mm	mm	mm
128%	16,42	36,32	268,87	150,62	10.036	2,96
100%	16,30	36,80	263,08	146,68	9.864	3,72
75%	16,03	37,07	275,38	154,40	9.825	4,94
61%	16,33	36,75	280,46	156,57	9.654	5,96
44%	16,15	34,80	259,37	132,85	8.037	6,87
Valor F						
Espaçamento (E)	9,72 *	3,00 ns	3,45 ns	5,86 **	11,45 **	2,00 *
Níveis de irrigação (N)	0,70 ns	8,12 **	1,01 ns	5,68 **	10,78 **	180,58 **
E vs N	1,34 ns	3,49 **	0,92 ns	2,71 *	1,19 ns	2,07 ns
CV(a) - %	1,99	3,28	13,36	9,48	3,68	7,63
CV(b) - %	3,90	3,03	11,05	9,20	9,12	8,40

NFE: número de fileiras de grãos por espiga; NGF: número de grãos por fileira; MMG: massa de mil grãos; MGE: massa de grãos por espiga; PG: produtividade de grãos; PA: produtividade da água; CV: coeficiente de variação; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%; ns: não significativo.

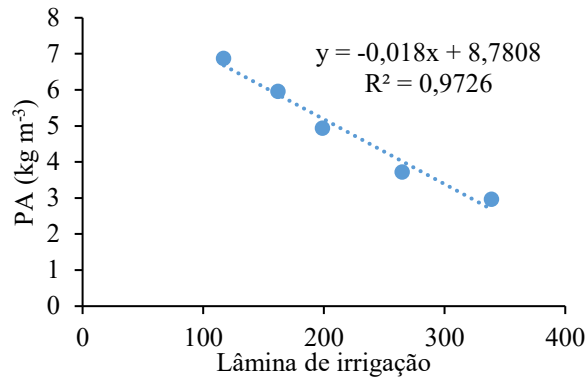
Fonte: Elaboração Própria.

O número de fileiras de grãos por espiga (NFE) foi muito superior no espaçamento E45 e isso se deve provavelmente ao espaçamento, pois, segundo Sangoi et al. (2000), as plantas espaçadas equidistantes competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores, favorecendo o melhor desenvolvimento das espigas.

A produtividade de grãos (PG) foi superior no espaçamento E45x90, assim como a produtividade da água (PA) foi também consideravelmente superior no espaçamento E45x90. Isso ocorreu muito provavelmente devido a melhor interceptação da radiação e menor competição por água, luz e nutrientes nas linhas duplas comparado ao sistemas em linhas simples (Balem et al., 2014).

A Figura 3 apresenta um gráfico que analisa a relação entre a Produtividade da água (PA - kg m^{-3}) e a Lâmina de irrigação (mm).

Figura 3. Produtividade da água (PA) em função das lâminas de irrigação aplicadas em cada manejo.

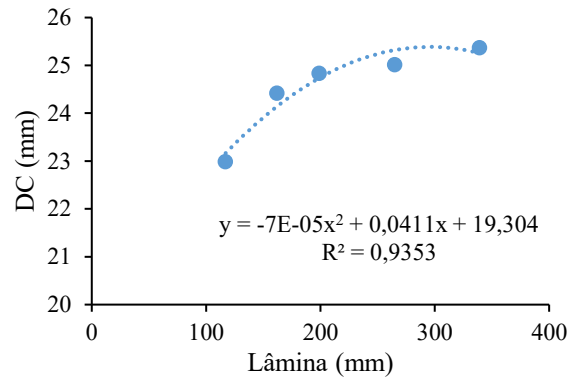


Fonte: Elaboração Própria.

A produtividade da água teve uma queda linear quanto maior a lâmina de água, este componente de produtividade tem esse padrão já reconhecido em outros trabalhos, como o de Andrade et al. (2004).

A Figura 4 apresenta um gráfico de dispersão que ilustra a relação entre o diâmetro de colmo (DC, em mm) e a lâmina de irrigação (mm).

Figura 4. Diâmetro de colmo (DC) do milho em função das lâminas de irrigação aplicadas em cada manejo.

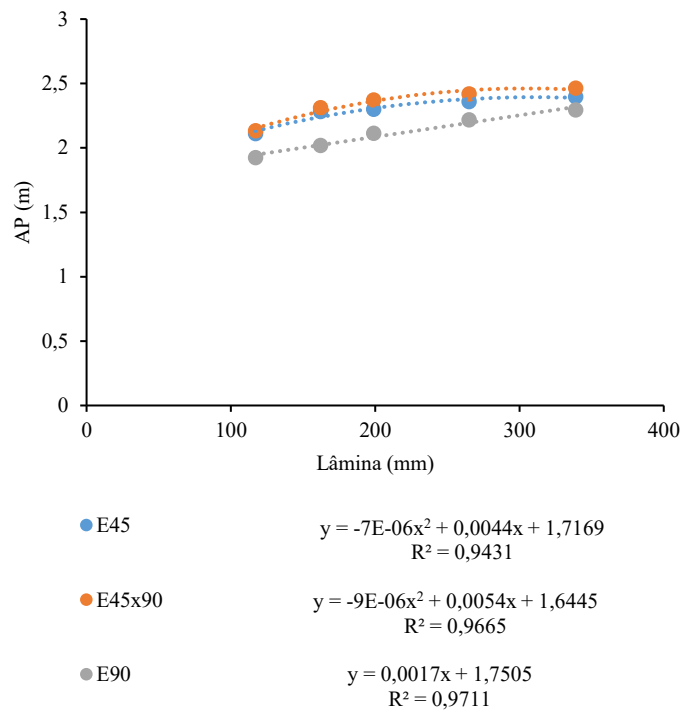


Fonte: Elaboração Própria.

O diâmetro de colmo (DC) apresentou um aumento quadrático com o incremento da lâmina de irrigação, provavelmente, devido a melhora das condições hídricas condicionada pelas aplicações das maiores lâminas de irrigação durante todo o ciclo da cultura, fator que possibilitou uma melhor condição a planta expor seu potencial genético (Fernandes et al., 2018).

A Figura 5 apresenta um gráfico de regressão que examina a relação entre a altura de plantas (AP) e a lâmina de irrigação para três diferentes espaçamentos entre linhas: E45, E45x90 e E90.

Figura 5. Análise de regressão referente à altura de planta – AP (m) vs lâmina (mm).

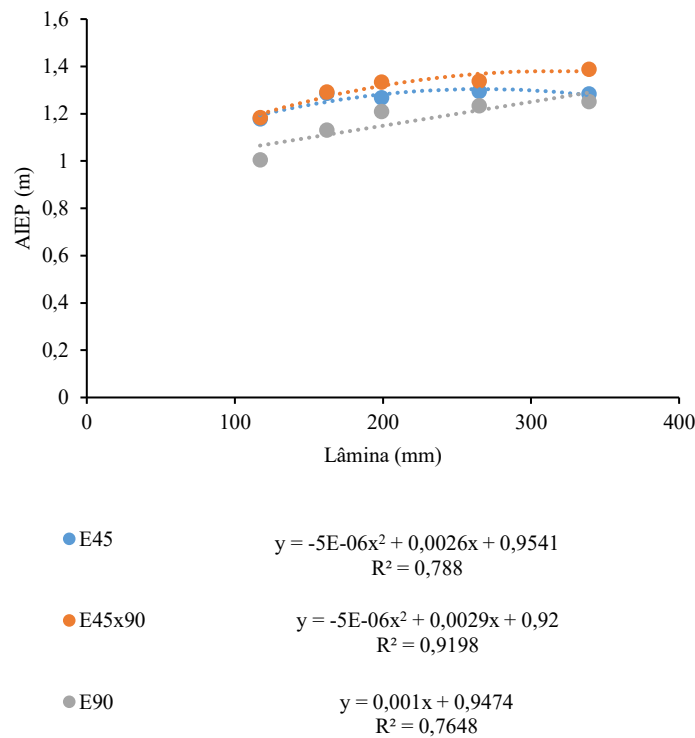


Fonte: Elaboração Própria.

A altura de plantas (AP) foi superior no espaçamento E45x90 em todas as lâminas, o sistema de cultivo em linhas duplas pode ter apresentado maiores resultados devido a melhor utilização dos recursos que promovem crescimento vegetativo, como água, luz e nitrogênio (Sousa et al., 2020).

A Figura 6 apresenta um gráfico de regressão que analisa a relação entre a altura de inserção da espiga principal (AIEP - metros) e a lâmina de irrigação para três diferentes espaçamentos entre linhas: E45, E45x90 e E90.

Figura 6. Análise de regressão referente à altura de inserção da espiga principal – AIEP (m) vs lâmina (mm).



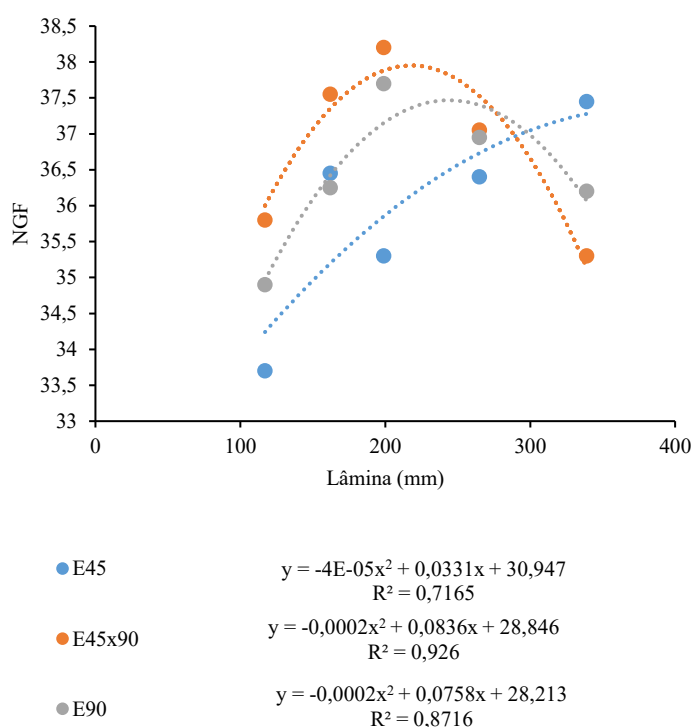
Fonte: Elaboração Própria.

O espaçamento E45x90 apresentou resultados maiores quanto a altura de inserção da espiga principal (AIEP) em todas as lâminas analisadas, assim como a altura de plantas (AP). Esses dois componentes comumente aumentam e diminuem juntos, como observado por Penariol et al. (2003), isso deve ter ocorrido graças a melhor utilização dos recursos que promovem crescimento vegetativo, como água, luz e nitrogênio (Sousa et al., 2020).

Esse sistema de cultivo em linhas duplas apresenta vantagens na colheita mecanizada (Possamai et al., 2001), uma vez que tanto a altura de plantas (AP) quanto a altura de inserção da espiga principal (AIEP) foram maiores no sistema de linhas duplas.

A Figura 7 apresenta um gráfico de regressão que ilustra a relação entre o Número de Grãos por Fileira (NGF) e a Lâmina de irrigação para três diferentes espaçamentos entre linhas: E45, E45x90 e E90.

Figura 7. Análise de regressão referente ao número de grãos por fileira – NGF vs lâmina (mm).

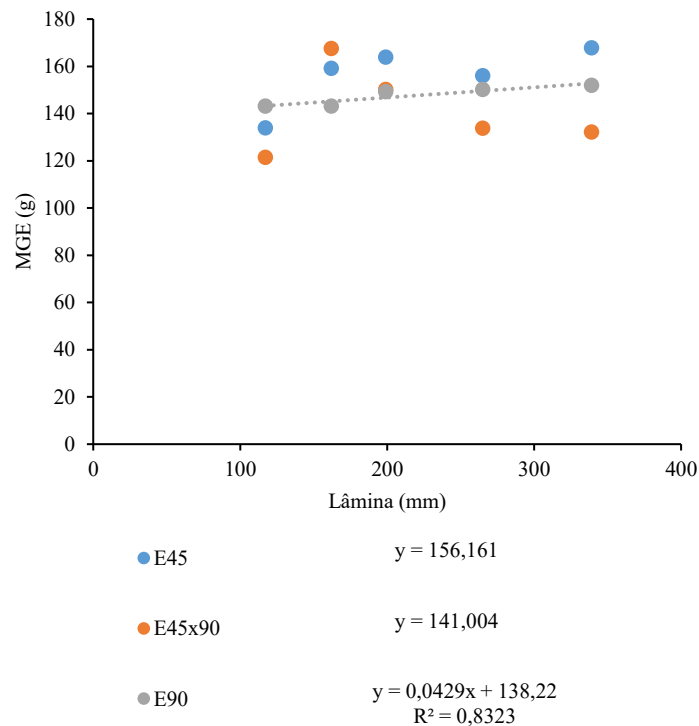


Fonte: Elaboração Própria.

O Número de grãos por fileira (NGF) foi superior nas linhas duplas (E45x90) nos tratamentos L1 até L4, apresentando menor resultado que os sistemas de linhas simples (E45 e E90) apenas no tratamento L5, mostrando que as linhas duplas apresentaram maior desempenho com irrigação feita com 100% da ETO (L4) e sobre déficit hídrico (L1, L2 e L3). Isso sugere maior tolerância às variações hídricas para esse componente de produção. Este resultado pode ser atribuído a arquitetura espacial do sistema de linhas duplas, que reduziu a competição intraespecífica por água e nutrientes (Bettio et al., 2017).

A Figura 8 apresenta um gráfico de regressão que ilustra a relação entre a Massa de Grãos por Espiga e a Lâmina de irrigação para três diferentes espaçamentos entre linhas de semeadura: E45, E45x90 e E90.

Figura 8. Análise de regressão referente a massa de grãos por espiga – MGE vs lâmina (mm).

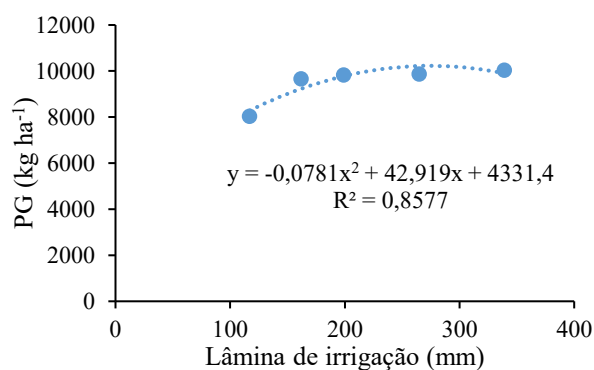


Fonte: Elaboração Própria.

Nota-se que o tratamento E45 teve em média maior Massa de grãos por espiga (MGE) que o sistema de linha dupla, e o sistema E90 ficou com valores intermediários, sendo o único que apresentou uma variação linear crescente da MGE (g) pela Lâmina de irrigação (mm). A superioridade do sistema E45 na MGE pode ser explicada pela melhor eficiência na absorção de água em menores espaçamentos (Porter et al., 1997; Alvarez et al., 2006).

A Figura 9 apresenta um gráfico de dispersão que ilustra a relação entre a Produtividade de Grãos (PG, em kg ha^{-1}) e a Lâmina de irrigação.

Figura 9. Produtividade de grãos (PG) do milho em função das lâminas de irrigação aplicadas em cada manejo.



Fonte: Elaboração Própria.

O sistema de linhas duplas apresentou valores mais elevados para as variáveis de desempenho agrônômico, enfatizando a produtividade de grãos (PG) e produtividade da água (PA), esse aumento na produtividade de grãos pode ser explicado pela melhor interceptação da radiação e menor competição por água, luz e nutrientes nas linhas duplas (Balem et al., 2014).

Estudos quanto a linhas duplas mostraram resultados contrastantes, como incrementos na produtividade de grãos (PG) (Novacek et al., 2013; Bettio et al., 2017) ou não apresentar significância quando comparado ao sistema de linhas simples (Robles; Ciampitti; Vyn, 2012). Ao comparar os resultados com um estudo relacionado a linhas simples e duplas (Balem et al., 2014), houve semelhanças nos resultados, onde as linhas duplas foram melhores quanto ao diâmetro do colmo e a produtividade de grãos. A altura de inserção da espiga principal (AIEP) e a altura de plantas (AP) foram maiores nas linhas duplas nesse trabalho, mas se comparados com outro trabalho como o de Miotto Junior et al. (2014), os valores médios de linhas simples foram maiores, portanto, esses fatores podem não se relacionar diretamente.

6 CONCLUSÃO

A produtividade de grãos de milho aumentou com o aumento da lâmina de irrigação, alcançando os melhores resultados nos tratamentos com maior reposição de água. As maiores lâminas de irrigação (L4 e L5) proporcionaram produtividade de grãos significativamente

superior em ambos os sistemas de cultivo em comparação aos tratamentos com lâminas menores (L1 e L2). O sistema de cultivo em linhas duplas também mostrou uma maior eficiência no uso da água (kg de grãos por m³ de água aplicada) com 5,01 kg m⁻³.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) - Irrigation and drainage paper 56, Rome, 1998.
- ALVAREZ, C.G.D.; PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agrônômicas e de produção de forragens e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.402-408, 2006.
- ANDRADE, C. L. T. et al. Dinâmica de água e soluto em um latossolo cultivado com milho irrigado: 1-percolação e produtividade da água. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**. 2004.
- ARGENTA, G.S.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, p.1075-1084, 2001.
- BALEM, Z. et al. Conventional and twin row spacing in different population densities for maize (*Zea mays* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 23, p. 1787-1792, 2014.
- BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BETTIO, C. S. et al. Produtividade do milho (*Zea mays* L.) com diferentes arranjos C. em linhas simples e duplas. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 3, p. 44-51, 2017.
- BRAME, L. J. et al. Nitrogen top-dressing fertilization of maize cultivated in single and twin-row systems. **Revista Ceres**, v. 68, p. 23-30, 2021.

CARVALHO, A. M. X. et al. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. e327420312, 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. Safra 2024/2025, v.10, n.8, Julho/2025. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em 14 Julho 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos**. Safra 2022/2023, v.10, n.8, Maio/2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>> Acesso em 31 Maio 2023.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, v. 94, p. 14-16, 2010.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Effect of intercropping on yields of corn with different relative maturities and palisadegrass. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 3, p. 599-606, 2013.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Milho (*Zea mays*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. (Eds.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ed. Campinas, IAC. 2022. p.199-208.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Espaçamento e densidade**. Agência de Informação Tecnológica, [s.l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/plantio/espacamento-e-densidade>. Acesso em: 11 jul. 2025.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). **Crops data**. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>> Acesso em 31 Mai. 2020.

- FERNANDES, C. N. J. Crescimento do milho verde sob lâminas de irrigação e adubação foliar silicatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, nº.4, p. 2789 – 2798, 2018
- GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; MIAO, W. The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice. **Statistical Science**, v. 24, n. 3, p. 343-360, 2009.
- HANKS, R. J. et al. Line Source Sprinkler for Continuous Variable Irrigation-crop Production Studies 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.
- MIOTTO JUNIOR, E. et al. **Desenvolvimento e produtividade da cultura do milho sob densidades de plantas e espaçamentos entre linhas simples e duplas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- NOVACEK, M. J. et al. Twin rows minimally impact irrigated maize yield, morphology, and lodging. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 268-276, 2013.
- PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeados em diferentes espaçamentos entre linha e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 02, n. 02, p. 52-60, 2003.
- PORTER, P.M.; HICKS, D.R.; LUISCHEN, W.E.; FOND, J.H.; WARNES, D.D.; HOVERSTAD, T.R. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. **Journal of Production Agriculture**, v.10, p.293-300, 1997.
- POSSAMAI, J.M. et al. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, n.2, p.79-82, 2001.
- ROBLES, M.; CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1747-1756, 2012.

ROYSTON, J. A remark on algorithm AS-181-The W test for normality (Algorithm R94). **Applied Statistics**, v.44, n.4, p.547-551, 1995.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.1, p.60-66, 2002.

SANGOI, I.; ENDER, M. & GUIDOLIN, H. F. Incremento da densidade de plantas, uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação de crescimento. **R. Rural**, 30:23-29, 2000.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SHARRATT, B.S.; McWILLIANS, D.A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. **Agronomy Journal**, v.97, p.1129-1135, 2005.

SOUSA, J. I. et al. Top-dressing nitrogen doses in maize sown in single and double rows and cultivated in winter. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, p. 16, 2020.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2017. 573p.

VOSS, R. **Viabilidade Técnica e Econômica de Sistemas Agrícolas de Produção Para o Alto Vale do Itajaí**. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina., Lages, SC, 2018.