

INFLUÊNCIA DAS CHUVAS NO RENDIMENTO DO MILHO SAFRINHA EM CASCAVEL, PR

THE INFLUENCE OF RAINFALL ON THE YIELD OF THE SECOND CORN CROP IN CASCAVEL, PR

INFLUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES EN EL RENDIMIENTO DE LA SEGUNDA COSECHA DE MAÍZ EN CASCAVEL, PR

Magno Luiz Vidotto:

Doutorando em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: magnovidotto@outlook.com | [Orcid.org/0009-0006-4133-608X](https://orcid.org/0009-0006-4133-608X)

Reginaldo Ferreira Santos:

Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutor em Agronomia. E-mail: reginaldo.santos@unioeste.br | [Orcid.org/0000-0002-7745-9173](https://orcid.org/0000-0002-7745-9173)

Carlos Eduardo Camargo Nogueira:

Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutor em Engenharia Elétrica. E-mail: cecn1@yahoo.com.br | [Orcid.org/0000-0003-3886-9118](https://orcid.org/0000-0003-3886-9118)

Eric Valero Carvalho da Silva:

Doutorando em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: eric.silva5@unioeste.br | [Orcid.org/0000-0003-0385-7619](https://orcid.org/0000-0003-0385-7619)

Rafael Maia Frenhe:

Mestrando em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: rmaia.meteo@gmail.com | [Orcid.org/0009-0004-2457-0726](https://orcid.org/0009-0004-2457-0726)

Noe Barroso dos Santos:

Mestrando em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: noesantos.ea@gmail.com | [Orcid.org/0009-0004-2114-1643](https://orcid.org/0009-0004-2114-1643)

Fabiane Mariah Bissani:

Doutoranda em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: fabiane.bissani@gmail.com | [Orcid.org/0000-0003-3252-9622](https://orcid.org/0000-0003-3252-9622)

Agostinho Rodrigues Zitha:

Mestrando em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. E-mail: agostinhorodrigueszitha@gmail.com | [Orcid.org/0009-0007-8114-5410](https://orcid.org/0009-0007-8114-5410)

RESUMO:

A precipitação pluviométrica é crucial para a agricultura. O milho (*Zea mays*), cultura estratégica no Brasil, requer entre 500 e 800 mm de água, bem distribuída ao longo do ciclo fenológico, para obter bons resultados. Este estudo buscou correlacionar a intensidade e distribuição temporal das chuvas com o rendimento do milho safrinha no município de Cascavel, Paraná, entre 2013 e 2022. Utilizando dados de precipitação do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária e dados de produtividade do Departamento de Economia Rural, identificou-se, por regressão quadrática, a fase fenológica em que a chuva mais influenciou o rendimento. Também se avaliou a distribuição dos dias secos e chuvosos e estudou-se a dinâmica entre precipitação e fração de água disponível no solo. Os resultados indicam que 79% da variação do rendimento de grãos pode ser explicada pela precipitação ocorrida durante a floração e enchimento de grãos. Observou-se que o aumento de dias secos e a redução da disponibilidade de água no solo impactaram negativamente o rendimento final. Em 2021, a falta de água reduziu a produção de milho em mais de 50%. Concluiu-se que a chuva exerceu influência significativa na produção do milho safrinha na região de Cascavel no período analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação pluvial; Déficit hídrico; *Zea mays*.

ABSTRACT:

*Rainfall is the most important climatic element in tropical agriculture. Corn (*Zea mays*), a strategic crop in Brazil, requires between 500 and 800 mm of well distributed water throughout its phenological cycle for better productions. This study correlated the intensity and temporal distribution of rainfall with the yield of off-season corn in the city of Cascavel, Paraná, between 2013 and 2022. Using precipitation data from the Agricultural Decision Support System and production data from the Department of Rural Economics, the phenological stage at which rainfall had the greatest influence on yield was identified through quadratic regression. The distribution of dry and wet days and the relationship between rainfall and the water fraction in the soil were also studied. The results showed that 79% of the grain yield variability can be explained by the precipitation that occurred during flowering and grain filling. It was observed that an increase of dry days, along with the reduction in water availability in the soil, impacted the crop production. In 2021, the lack of water reduced the yield by half. It was concluded that rainfall had a significant influence on the production of off-season corn in the region of Cascavel during the analyzed period.*

KEYWORDS: Precipitation; Water deficit, *Zea mays*.

RESUMEN:

La precipitación es crucial para la agricultura. El maíz requiere entre 500 y 800 mm de agua bien distribuida a lo largo de su ciclo fenológico para obtener mejores producciones. Este estudio correlacionó la intensidad y la distribución temporal de las lluvias con el rendimiento del maíz de segunda cosecha en la ciudad de Cascavel, Paraná, entre 2013 y 2022. Utilizando datos de precipitación del Sistema de Apoyo a la Decisión Agrícola y datos de producción del Departamento de Economía Rural, se identificó, mediante regresión cuadrática, la etapa fenológica en la que la lluvia tuvo la mayor influencia en el rendimiento. También se estudió la distribución de días secos y húmedos y la fracción de agua en el suelo. Los resultados mostraron que el 79% de la variabilidad del rendimiento de grano puede explicarse por las precipitaciones ocurridas durante la floración y el llenado de grano. Se observó que un aumento de los días secos y la reducción de la disponibilidad de agua afectaron la producción del cultivo. En 2021, la falta de agua redujo el rendimiento a la mitad. Se concluyó que las precipitaciones tuvieron una influencia significativa en la producción de maíz en Cascavel durante el período analizado.

Palabras clave: Precipitación pluvial; Déficit hídrico; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma das commodities mais importantes e versáteis do mundo, desempenhando um papel essencial em diversas cadeias produtivas. Segundo Garcia *et al.*, aproximadamente 70% da produção desse cereal é destinada à alimentação de aves, suínos e bovinos, devido à sua ótima digestibilidade e alto teor de proteínas, fibras e nutrientes. Na indústria, o milho é utilizado como matéria-prima na produção de amido, xaropes, óleos e biocombustíveis. Na alimentação humana, é consumido tanto na forma de derivados (farinha, fubá, canjica e pipoca), quanto in natura, sendo uma fonte vital de energia para os habitantes de regiões de baixa renda (Artuzo *et al.*, 2019).

No Brasil, o cultivo do *Zea mays* é considerado estratégico, ocupando uma posição de destaque tanto na agricultura quanto na economia. De acordo com Garcia *et al.* (2006), a produção de milho desempenha um papel fundamental no abastecimento interno e nas exportações, contribuindo significativamente para a balança comercial. Ainda segundo os autores, o milho é cultivado em praticamente todo o território nacional, com 43% da produção concentrada na região Sul. Em particular, a região Oeste do Paraná destaca-se como um dos principais polos produtores de milho do país, caracterizando-se por sua alta produtividade e tecnologia avançada de cultivo. De acordo com dados do Departamento de Economia Rural (DERAL), no ano agrícola de 2021/22, a produção de milho nessa região alcançou 4,8 milhões de toneladas, injetando mais de 6 bilhões de reais na economia local (DERAL, 2024).

No Oeste Paranaense, o milho é cultivado em duas safras principais: a safra de verão e a safrinha. Diferentemente da safra principal de milho, que se inicia em meados de setembro e se estende até o fim de janeiro, aproveitando o grande volume de chuva do verão, o plantio da safrinha costuma ocorrer logo após a colheita da soja, no início de

fevereiro, quando o volume de precipitação e a duração dos dias começam a reduzir (Shioga, 2009). Por esse motivo, a safrinha de milho em sistema de sequeiro é considerada de risco nessa região.

A produção de milho é influenciada por uma série de fatores, entre os quais se destacam a disponibilidade de água e nutrientes no solo, as condições climáticas locais (como radiação solar, vento, umidade relativa e temperatura do ar), a época de semeadura, as práticas de manejo adotadas e a escolha do material genético utilizado (Silva, 2017). De acordo com Bergamaschi e Matzenauer (2009), em geral, as condições hídricas são as que mais afetam a produtividade das lavouras de milho, especialmente nas fases de pendoamento e enchimento de grãos. Segundo Cruz *et al.* (2008), para alcançar bons rendimentos, a cultura do milho requer entre 500 e 800 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo fenológico.

Por conta disso, diversos estudos têm explorado a relação entre a produção de milho e a precipitação, destacando a importância desse fator climático no desenvolvimento dessa cultura. Pesquisas como as de Silva *et al.* (2021), Bergamaschi *et al.* (2006), Oliveira *et al.* (1993) e Matzenauer e Fontana (1987), demonstraram que a distribuição e a quantidade de chuvas ao longo do ciclo de crescimento do milho desempenham um papel crucial na determinação da produtividade, especialmente durante as fases de floração e enchimento de grãos. Já os trabalhos de Carlesso e Santos (1999), Magalhães e Durães (2006) e Santos e Bassegio (2011) revelaram que eventos extremos, como secas prolongadas e o déficit hídrico, podem afetar negativamente o desenvolvimento das plantas, resultando em perdas significativas na produção de milho.

Considerando a importância da disponibilidade hídrica na produção de milho, este estudo buscou investigar o efeito da quantidade e frequência das chuvas em diferentes estágios de desenvolvimento dessa cultura e seu impacto sobre o rendimento de grãos no município de Cascavel, Paraná, no período de 2013 a 2022.

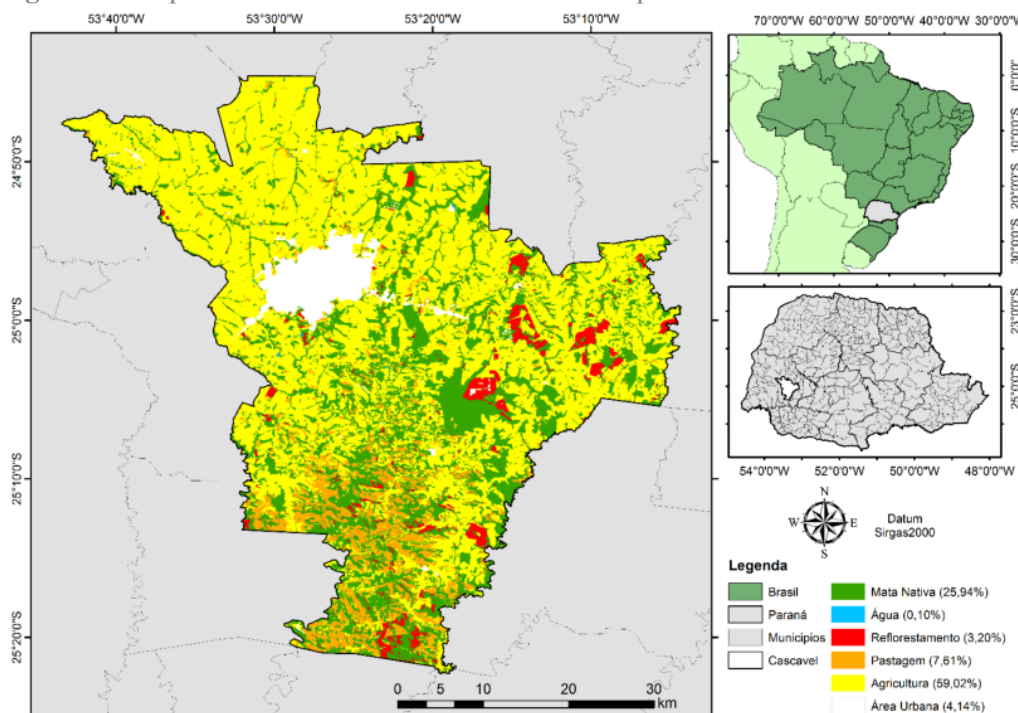
MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrangeu o município de Cascavel, situado na região Oeste do Paraná. Com uma extensão territorial de 2.091,2 km² e uma população estimada em 348 mil habitantes, Cascavel está inserida em um dos maiores polos agrícolas do país

(IBGE, 2022; Hirakuri, 2018). As lavouras dessa região apresentam índices elevados de rendimento, frequentemente resultando em 10% da produção de milho do Brasil e na maior produtividade média do Paraná (Shioga, 2009; CONAB, 2013). Segundo levantamentos realizados por Becker *et al.* (2019), aproximadamente 136 mil hectares (ou 59%) do território municipal de Cascavel são dedicados à agricultura, sendo essa a classe de uso do solo mais representativa na região (Figura 1).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Cascavel é do tipo subtropical úmido (Cfa), com uma média de precipitação anual variando entre 1600 e 2000 mm. O Cfa é caracterizado por verões quentes, geadas pouco frequentes e uma tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, embora não haja uma estação seca definida. A temperatura média do município gira em torno dos 21°C e a umidade relativa do ar fica ao redor dos 75% (Nitsche *et al.*, 2019). Segundo Bognola *et al.* (2020), a região é predominantemente composta por latossolos vermelhos profundos, com uma textura que varia de argilosa a muito argilosa. Esses solos se caracterizam pela alta capacidade de retenção de água e pela excelente fertilidade natural.

Figura 1 - Mapa de uso e cobertura do solo do município de Cascavel-PR em 2017.



Fonte: Becker *et al.* (2019).

No desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados de precipitação diária provenientes do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (Sisdagro) e médias históricas de precipitação oriundas do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR – Paraná). O Sisdagro é um projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional

de Meteorologia (INMET) em parceria com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) e com o IDR-Paraná. Segundo Moura e Fortes (2016), o objetivo do Sisdagro é apoiar produtores, técnicos e gestores agrícolas nas tomadas de decisões, auxiliando no planejamento e no manejo agropecuário. No website do projeto Sisdagro, é possível calcular o balanço hídrico e a perda de produtividade por deficiência hídrica dos principais cultivos de importância econômica ao agronegócio brasileiro (INMET, 2024).

Os dados de produção do milho safrinha para o município de Cascavel-PR foram obtidos junto ao Departamento de Economia Rural (DERAL), pertencente a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Na Tabela 1 estão expressos os dados de produção anual e de precipitação em média mensal para os 10 anos analisados nesse estudo. Já a Tabela 2 apresenta as médias históricas de 25 anos de precipitação para o município de Cascavel.

Tabela 1 - Produção de milho safrinha e valores mensais de precipitação.

Ano Agrícola	Área Plantada (ha)	Produção (t)	Precipitação mensal (mm)					
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
2012/13	70000	364840	105,7	333,2	294,5	196,5	132,6	247,1
2013/14	50500	305525	373,9	210,1	330,1	193,9	149,8	284,1
2014/15	53000	374498	156,3	178,0	208,3	87,7	236,1	84,7
2015/16	73000	398215	269,2	183,2	174,0	25,8	362,6	100,8
2016/17	70000	355740	145,9	160,3	97,0	100,4	74,2	104,1
2017/18	40000	200000	260,7	159,7	192,5	32,0	63,4	79,6
2018/19	40000	238000	236,7	205,3	158,8	77,2	279,1	46,0
2019/20	32000	164832	120,4	123,6	46,5	34,4	144,7	151,9
2020/21	42500	93627	355,5	77,3	103,9	8,6	31,0	84,2
2021/22	67000	402000	126,7	102,4	230,1	189,3	112,9	79,4
Média	53800	289728	196,5	169,2	183,2	82,5	138,6	92,8

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do DERAL (2024) e do INMET (2024).

Tabela 2 - Médias mensais de precipitação para o período de 1973 à 1998.

Precipitação mensal média (mm)					
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
188,1	177,8	142,1	167,4	190,4	131,2

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do IDR-Paraná (2024).

A análise dos dados foi realizada com o auxílio do software Microsoft Excel 2016. Inicialmente, calculou-se o rendimento médio da cultura do milho para o período selecionado. Em seguida, fez uma análise da correlação entre a precipitação acumulada (variável independente) e o rendimento total do milho (variável dependente) a partir do mês de janeiro até junho, onde buscou-se identificar, por meio

de regressão quadrática, o quadrimestre no qual a chuva exerceu a maior influência sobre o rendimento. Após identificar o período com o melhor coeficiente de determinação (r^2) para o ciclo, foram feitas correlações entre a altura da chuva e o rendimento de grãos nas diferentes fases fenológicas do milho. As fases fenológicas foram divididas de acordo com as etapas de desenvolvimento propostas por Ritchie *et al.* (1986) (Tabela 3). Os resultados foram então dispostos em pares ordenados (x_i, y_i) e plotados em gráficos de dispersão e de barras para a análise da interferência positiva ou negativa da precipitação sobre a produtividade.

Para uma melhor interpretação do impacto das chuvas na produção do milho safrinha e sua relação com a FAD (Fração de Água Disponível ou razão entre a quantidade atual e a quantidade total de água disponível no solo) foram realizadas três simulações de balanço hídrico diário no site do Sisdagro. Essas simulações utilizaram dados de precipitação da estação meteorológica W53S25 (E), a mais próxima de Cascavel, e consideraram a evapotranspiração das plantas de milho ao longo de um ciclo de 120 dias. Para a data de emergência foi escolhido o dia 5 de fevereiro de cada ano, definiu-se o tipo de solo como argiloso e estabeleceu-se uma CAD (Capacidade de Água Disponível) final de 100 mm. De acordo com o INMET (2024), o Sisdagro estima a evapotranspiração potencial utilizando o método de Penman-Monteith, enquanto o balanço hídrico do cultivo segue os princípios propostos por Thornthwaite e Mather.

Tabela 3. Escala fenológica e etapas de desenvolvimento da cultura do milho safrinha.

Estádios Vegetativos	Dias após emergência	Descrição
VE	---	Germinação/emergência
V1	7	Planta com 1 folha desenvolvida
V3	14	Planta com 3 folhas desenvolvidas
V7	28	Planta com 7 folhas desenvolvidas
V10	42	Planta com 10 folhas desenvolvidas
VT	56	Pendoamento
Estádios Reprodutivos	Dias após polinização	Descrição
R1	---	Florescimento/Polinização
R2	12	Grãos leitosos/acúmulo de açúcares
R3	24	Grãos pastosos/acúmulo de amido
R4	36	Grãos farináceos/formação de dentes
R5	48	Grãos duros/perda de água
R6	55	Maturação fisiológica/camada preta

Fonte: Adaptado de Ritchie *et al.* (1986).

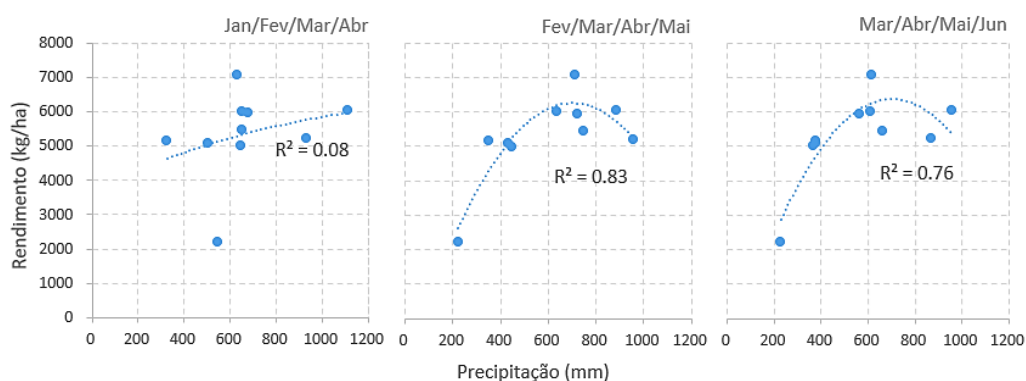
Por fim, foram identificados os dias secos e chuvosos, seguindo a metodologia proposta por Santos e Bassegio (2011), que classifica como dias chuvosos aqueles com precipitação $P > 5,0$ mm e dias secos aqueles com $P \leq 5,0$ mm. De acordo com Santos e Bassegio (2011), o conhecimento da variabilidade sazonal da precipitação e

do número de dias secos e chuvosos ao longo de um ciclo de cultivo é fundamental para um eficaz planejamento agrícola. Essa informação permite aos agricultores escolherem os períodos mais adequados para o plantio, otimizando o uso dos recursos naturais e minimizando os riscos associados a períodos de estiagem. Tal conhecimento é crucial para agricultores que não dispõem de sistemas de irrigação e dependem exclusivamente da precipitação para a sobrevivência de suas lavouras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 é possível observar que a precipitação acumulada ao longo do período analisado apresentou uma correlação positiva com o rendimento do milho safrinha. Nota-se que a primeira e a última combinação exibiram os menores coeficientes de determinação ($r^2 = 0,08$ e $r^2 = 0,76$, respectivamente). Em contraste, o quadrimestre composto por fevereiro, março, abril e maio apresentou o melhor ajuste, indicando que a precipitação acumulada nesses meses foi responsável por cerca de 83% da variação observada na produção de milho safrinha em Cascavel. Esse intervalo de tempo coincide com a época de maior cultivo da safrinha na região Oeste do Paraná, que vai do início de fevereiro ao início de junho (Shioga, 2009). Vale salientar que os coeficientes de correlação encontrados nesse trabalho não distinguem entre as variações ocasionadas por diferenças na época de semeadura, tratos culturais, genótipos, tipos de solo, entre outros.

Figura 2. Correlação entre a precipitação e o rendimento de milho safrinha no município de Cascavel-PR para o período de 2013 a 2022.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A Tabela 4 apresenta os resultados das correlações entre o total pluviométrico, acumulado nas diferentes fases fenológicas, e o rendimento médio da segunda safra de milho no município de Cascavel. Constatou-se que a correlação foi mais alta nas fases de pendoamento, enchimento e maturação dos grãos (VT–R6) do que nas fases de emergência e desenvolvimento das folhas (VE–V10). Ao estudar a correlação entre o rendimento de grãos e a quantidade de chuva em diferentes fases de desenvolvimento do milho no estado do Rio Grande do Sul, Matzenauer e Fontana (1987) encontraram um coeficiente de determinação de 0,785 para o período compreendido entre o pendoamento a 30 dias após o pendoamento (VT à R4), de 0,641 para o início do pendoamento à maturação fisiológica (VT–R6) e de 0,716 para o ciclo completo (VE–R6). Os pesquisadores concluíram que a precipitação teve maior influência sobre o rendimento da cultura do milho durante as fases de floração e enchimento de grãos.

Ao analisar os dados obtidos em 27 diferentes condições hídricas ao longo de 10 anos de experimento, Bergamaschi *et al.* (2006) verificaram que a maior redução na produtividade do milho ocorreu em decorrência do déficit hídrico provocado durante os períodos que englobaram a polinização e o enchimento dos grãos (VT – R6). Para esse intervalo, os autores constataram que a relação entre a água consumida pela cultura e a necessidade hídrica explicou aproximadamente 80% das variações no rendimento do milho na região. Resultados similares foram encontrados por Silva *et al.* (2021) e Oliveira *et al.* (1993).

Tabela 4 - Correlações entre o rendimento de grãos e a precipitação acumulada nas diferentes fases fenológicas do milho durante as safrinhas de 2013 à 2022 em Cascavel.

Período	Fase Fenológica	Correlação (r^2)
Ciclo completo	VE - R6	0,83
Fevereiro	VE - V5	0,51
Março	V6 – V10	0,21
Abril	VT – R3	0,57
Maio	R3 - R6	0,74
Fevereiro e Março	VE – V10	0,51
Março e Abril	V6 – R3	0,42
Abril e Maio	VT - R6	0,79

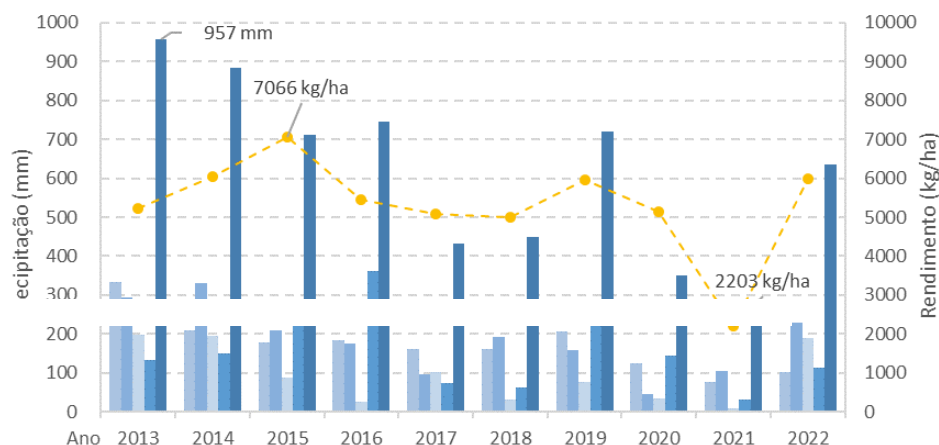
Onde: VE=emergência; V5=quinta folha; V6=sexta folha; V10=décima folha; R3=grão pastoso; VT = pendoamento e R6=maturação fisiológica. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Na Tabela 4, verifica-se que a fase de crescimento vegetativo (V6–V10) foi a que apresentou o menor coeficiente de correlação da série analisada. Essa baixa associação pode estar relacionada à menor demanda hídrica do milho nos meses de março. Bergamaschi e Matzenauer (2014), observaram que nessa fase, o milho ainda não atingiu seu pico de necessidade hídrica e os danos causados por um eventual estresse

hídrico podem ser reversíveis, não impactando significativamente o rendimento final. No entanto, ao entrar no estágio V10, no final de março, a planta de milho inicia um acelerado e contínuo alongamento do caule, passando a consumir um maior volume de água para acumulação de nutrientes e aumento de peso seco, processo que continuará nas fases reprodutivas (Magalhães e Durães, 2006). Por esse motivo, é importante ajustar corretamente a data de semeadura ao regime de chuvas para otimizar o uso dos recursos hídricos e garantir que as plantas recebam a quantidade ideal de água durante os estádios mais críticos de seu ciclo, especialmente em sistemas de produção de sequeiro como é o caso da maioria das lavouras na região de Cascavel (Silva, 2017).

A Figura 3 mostra a relação entre o regime de chuvas (barras azuis) e o rendimento médio do milho safrinha (linha laranja) em Cascavel durante os meses de fevereiro a maio, ao longo das safras de 2013 a 2022. Embora essa análise superficial considere apenas o fator hídrico, numa escala espacial ampla, ela mostra a importância da precipitação pluvial no rendimento da cultura do milho (Matzenauer *et al.*, 1995). Observa-se que a produtividade aumenta progressivamente com o incremento da quantidade de chuva até atingir o patamar de 700 mm. Além desse ponto, o rendimento provavelmente diminui devido ao excesso hídrico. Esse excesso pode reduzir a quantidade de oxigênio disponível no solo e aumentar a incidência de doenças nas plantas de milho. Além disso, o excesso de chuvas e de nebulosidade poderá afetar o milho indiretamente através da redução da luminosidade, que influencia na produção de biomassa utilizada no enchimento dos grãos, e da redução da temperatura ambiente, que impacta na duração em graus dias do ciclo do milho (Machado, 2016). A safrinha de 2013 pode ter sido afetada pelo excesso de precipitação, visto que o rendimento ficou em torno de 5200 kg/ha. Por outro lado, nas safras de 2015, 2019 e 2022, quando o volume de chuvas ao longo do ciclo foi melhor distribuído, verificou-se um aumento considerável no rendimento médio da cultura (7066 kg/ha, 5950 kg/ha e 6000 kg/ha, respectivamente).

Figura 3 - Relação entre a precipitação e o rendimento do milho safrinha no município de Cascavel-PR para o período de 2013 a 2022.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Na Figura 3 é possível observar que a quantidade de chuva acumulada ao longo da safrinha de milho de 2021 foi de apenas 221 mm, sendo que a estiagem foi particularmente severa nos meses de abril e maio. Nesse cenário, o volume de água proveniente das chuvas foi insuficiente para atender à demanda hídrica da cultura, resultando em grave déficit hídrico e grandes perdas de produtividade. Como resultado, a produção ficou muito abaixo do esperado, atingindo apenas 2203 kg/ha (ou 36,7 sc/ha).

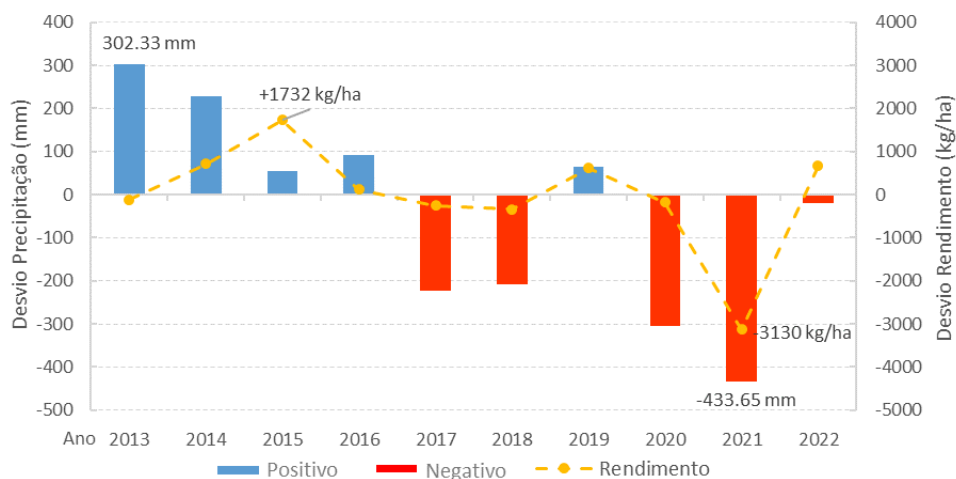
A quebra da safra de 2021 pode estar ligada aos efeitos do fenômeno La Niña. Nas simulações realizadas por Santos *et al.* (2022) foi observado que em anos com influência da La Niña, houve grandes irregularidades das chuvas, com atraso do início do período chuvoso, propiciando a deficiência hídrica e comprometendo a produtividade da safra de soja e da safrinha do milho em Rio Verde, GO. Ao estudar a influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do milho no estado do Rio Grande do Sul, Mota (1999) constatou que o fenômeno El Niño aumentou a produtividade do milho em 11,8%, enquanto o La Niña reduziu o rendimento dessa cultura em 18,7% no período de 1966 a 1995. Já nos anos de ocorrência de fortes eventos El Niño, o rendimento do milho aumentou em 5,6% enquanto que nos anos de fortes eventos La Niña, a produção caiu 9,5%.

Em contrapartida, Guerra e Caramori (2002), ao analisarem uma série histórica de 25 anos, observaram que as oscilações na produção de milho no estado do Paraná não estão diretamente relacionadas com a ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño – Oscilação do Sul). Os pesquisadores notaram que, em várias regiões paranaenses, a produtividade ficou acima da média em anos de La Niña, enquanto que em anos de El Niño houve tanto picos de baixa quanto de alta produção. Além disso, anos neutros apresentaram impactos negativos e positivos sobre os resultados agrícolas. Eles concluíram que a falta de chuvas em fases críticas do cultivo de milho, independentemente da ocorrência do fenômeno ENOS, pode prejudicar a emergência das plantas, facilitar o surgimento de pragas, afetar a polinização e o enchimento dos grãos, resultando em quebras significativas na colheita.

Como medidas de mitigação para reduzir os riscos e o impacto das estiagens nas lavouras, Bergamaschi e Matzenauer (2009) citam o escalonamento das épocas de semeadura, a adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto, a rotação de culturas, a utilização de genótipos com ciclos diferentes e a observância dos zoneamentos agroclimáticos. Os pesquisadores também mencionam que o uso de sistemas de irrigação, especialmente durante os períodos mais críticos do ciclo, pode aumentar significativamente a produtividade das lavouras de milho, reduzindo as flutuações entre safras e estabilizando a renda dos agricultores.

A Figura 4 apresenta os desvios do padrão pluviométrico e do rendimento médio do milho safrinha em relação à média histórica de precipitação em Cascavel, PR. Nota-se que o maior desvio negativo ocorreu na safra de 2021 (-433,65 mm), enquanto que o maior desvio positivo foi registrado no ano de 2013 (+302,33 mm). Observa-se que o déficit hídrico da safra de 2021 foi acompanhado por uma quebra da produção de milho (-3130 kg/ha), indicando a forte relação entre a precipitação e o desenvolvimento dessa cultura. Na série analisada, observa-se que os períodos mais secos da região ocorreram nos anos de 2017, 2018, 2020 e 2021, enquanto os anos mais chuvosos foram 2013 e 2014. Os demais anos apresentaram valores de precipitação próximos às médias históricas, sendo considerados normais. Na análise de 21 safras efetuada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, foram constatadas perdas significativas nas lavouras de milho safrinha no Estado do Paraná nos anos com pouca precipitação ou longos períodos de estiagem, incluindo 2018 e 2021 (Brasil, 2022).

Figura 4 - Desvio médio da precipitação e do rendimento do milho safrinha no município de Cascavel-PR para o período de 2013 a 2022.



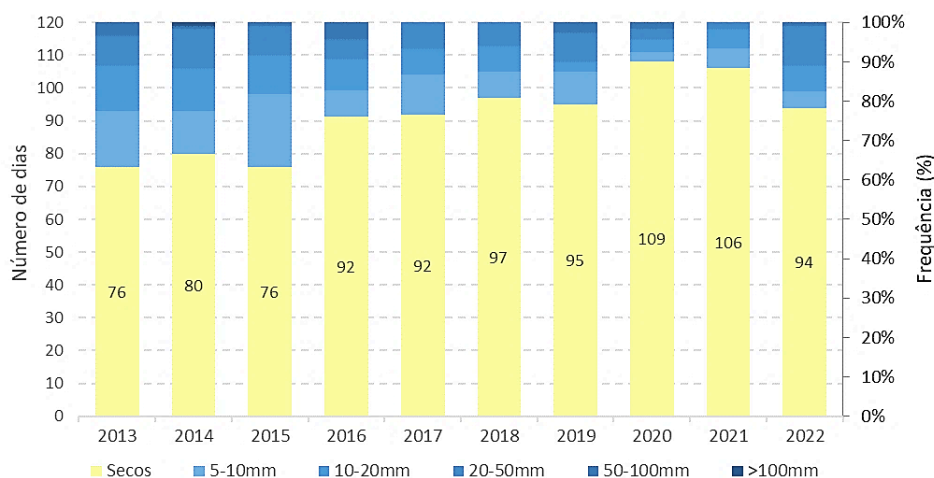
Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Contata-se, na figura anterior, que apesar da safra de 2015 ter apresentado um baixo desvio de precipitação em relação à média histórica, ela teve o maior desvio positivo de produtividade da série analisada (+1732 kg/ha). Também se verifica que o rendimento da safra de 2013 não acompanhou o expressivo aumento no volume de chuvas ocorrido no mesmo período. Por outro lado, a safrinha de 2020 teve um bom rendimento, mesmo apresentando um desvio negativo de precipitação. É provável que o desvio negativo observado na safra de 2020 não tenha impactado na produtividade porque a falta de chuva ocorreu em fases fenológicas com menor demanda de água. De fato, nos experimentos realizados por Garbuglio *et al.* (2021), em Santa Tereza do Oeste, foi observado que os índices pluviométricos permaneceram abaixo das médias históricas durante as fases iniciais e intermediárias da cultura do milho em 2020. Entretanto, o potencial produtivo dos cultivares não foi muito impactado, mesmo sob condições de estresse hídrico. Já o desvio positivo observado em 2013 pode ter-se concentrado em fases fenológicas com menor necessidade de água, o que acabou comprometendo o rendimento da safrinha. Estes resultados evidenciam que um aumento no volume total de precipitação ao longo do ciclo de milho nem sempre se traduz em maior produtividade, para bom desempenho da cultura é necessário que a chuva seja regular e bem distribuída ao longo do seu desenvolvimento (Fishman, 2016).

A Figura 5 mostra a ocorrência de dias secos e chuvosos para as safrinhas de 2013 a 2022 no município de Cascavel, PR. A média da série analisada foi de 92 dias secos e 28 dias chuvosos, resultando em aproximadamente 23,7 dias sem chuva por mês. Santos e Bassegio (2011) encontraram uma média semelhante de 24,7 dias sem chuva por mês ao analisarem a precipitação no município de Cascavel entre os anos de 2000 e 2009.

É importante destacar que, em média, aproximadamente 35,2% dos dias não registraram precipitação, 41% tiveram chuvas de até 5 mm, 8,7% entre 5 e 10 mm, 7,2% entre 10 e 20 mm, 6,4% entre 20 e 50 mm e apenas 1,5% tiveram mais de 50 mm de precipitação. Além disso, é possível observar que os anos de 2020 e 2021 registraram as maiores ocorrências de dias secos durante o ciclo do milho safrinha, com 109 e 106 dias, respectivamente. Em contraste, 2013 e 2015 tiveram o maior número de dias chuvosos, com 44 dias cada, sendo que a melhor distribuição de chuva ocorreu em 2015, o que possivelmente contribuiu para a ótima produtividade observada naquele ano.

Figura 5 - Ocorrência de dias secos e chuvosos durante as safrinhas de milho de 2013 a 2022 no município de Cascavel-PR.

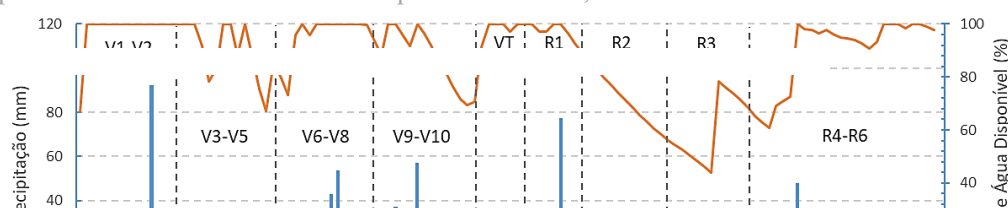


Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

As Figuras 6, 7 e 8 mostram as simulações da dinâmica entre a precipitação diária e a FAD para os anos de 2013 (ano chuvoso), 2015 (ano de maior produtividade) e 2021 (ano seco). Carlesso *et al.* (1997), estabeleceram uma FAD de 0,60 como o limite crítico para se evitar a redução da área foliar das plantas, sendo que valores abaixo de 0,50 promovem a senescência devido à diminuição da disponibilidade hídrica e valores inferiores à 0,30 reduzem a expansão das folhas ao mínimo, causando danos a fisiologia do organismo.

A simulação da Figura 6 mostra que a safrinha de 2013 experimentou chuvas bem distribuídas e em bom volume em praticamente todo o seu desenvolvimento, especialmente nas fases de pós-emergência (V1-V3) e de crescimento vegetativo (V6-V8). Também é possível verificar que a FAD permaneceu acima de 0,60 (ou 60%) ao longo das fases críticas da cultura, com exceção das fases R2 e R3 no mês de abril e maio, o que pode ter impactado a produtividade. Nos experimentos com milho safrinha conduzidos por Shioga e colaboradores em 2013, na cidade de Palotina, próxima à Cascavel, foi relatada a ocorrência de déficit hídrico na segunda quinzena de abril e início de maio (fases R2 e R3). Já na segunda quinzena de maio e em junho, a produtividade dos ensaios foi prejudicada pelo excesso de chuvas e por longos períodos nublados. Embora os cultivares desses pesquisadores tenham emergido no mês de março, as observações feitas por eles para o grupo das superprecoces foram similares às do presente trabalho.

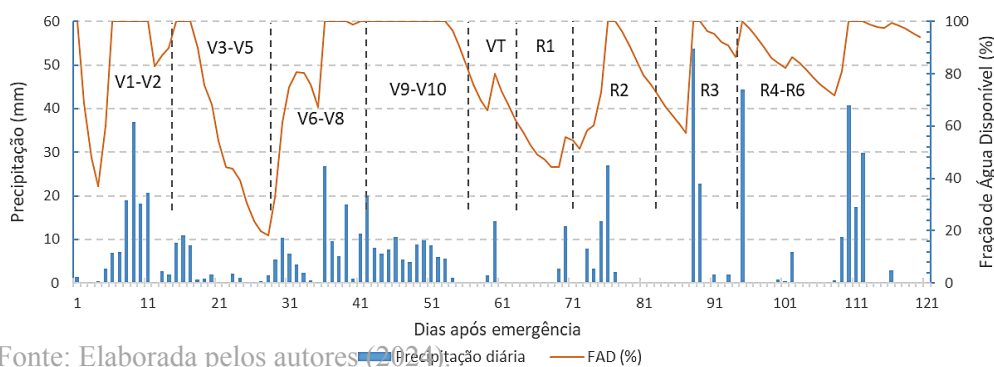
Figura 6 - Simulação da dinâmica da água disponível no solo e da precipitação diária para a safrinha de 2013 no município de Cascavel, PR.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Na simulação apresentada na Figura 7, observa-se uma boa distribuição das chuvas ao longo da safrinha de 2015, com apenas dois breves períodos de estresse hídrico identificáveis. No primeiro, a FAD caiu de 0,60 para 0,20 durante o desenvolvimento da quinta folha (V5). Já o segundo déficit hídrico ocorreu na fase inicial de enchimento de grãos, quando a FAD permaneceu em torno de 0,5 por um período de 5 dias. Apesar disso, a distribuição balanceada de precipitação no restante do ciclo possibilitou que as plantas tivessem acesso adequado à água durante as fases mais críticas do seu desenvolvimento, otimizando a absorção de nutrientes e favorecendo o acúmulo de matéria seca nas fases reprodutivas. Shioga e colaboradores (2015) também notaram que a boa distribuição e o volume adequado de chuvas durante o ciclo da segunda safra de milho em Palotina, no ano de 2015, favoreceram o desenvolvimento das plantas e aumentaram o potencial produtivo dos cultivares avaliados.

Figura 7. Simulação da dinâmica da água disponível no solo e da precipitação diária para a safrinha de 2015 no município de Cascavel, PR.

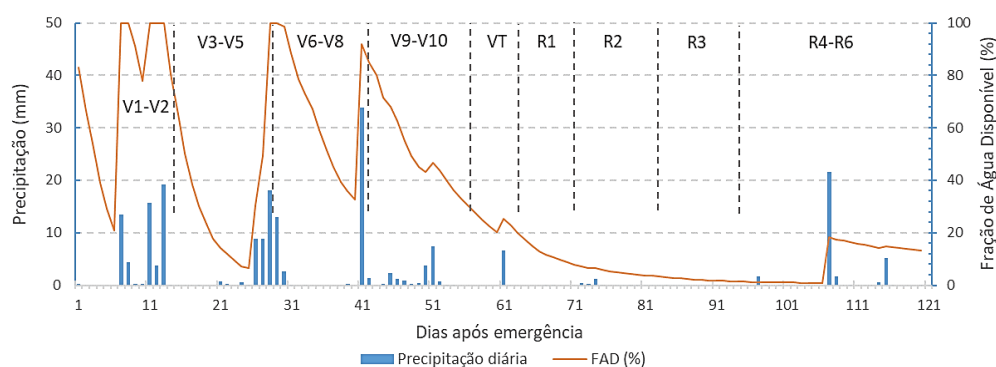


Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Na simulação da Figura 8, observa-se que a safrinha de 2021 foi afetada por chuvas fracas e irregulares em quase todas as fases fenológicas. Em particular, as lavouras de milho enfrentaram uma estiagem de curta duração entre o desenvolvimento da quarta e da quinta folha e passaram por uma estiagem severa que perdurou do início do pendoamento até o final do ciclo. Na fase de reprodução e maturação, foram

registrados apenas 10 mm de chuva, o que contribuiu para o agravamento do estresse hídrico. Conforme explicam Bergamaschi e Matzenauer (2009), a escassez de água nesse estágio pode ser devastadora, pois é nessa fase que a densidade de grãos é definida. Magalhães e Durães (2006) observaram que apenas dois dias de falta de água durante o florescimento reduzem o rendimento do milho em mais de 20%. Já a ausência de água por quatro a oito dias pode cortar a produtividade pela metade, sem que haja medidas culturais capazes de recuperar o potencial produtivo. Vale lembrar que a umidade do ponto de murcha permanente para solos argilosos gira em torno de 18% e é atingida quando a FAD se iguala a zero. A partir desse ponto, as plantas não conseguem mais retirar água do solo e entram em acelerada senescência (Carlesso e Santos, 1999).

Figura 8. Simulação da dinâmica da água disponível no solo e da precipitação diária para a safrinha de milho de 2021 no município de Cascavel, PR.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Ao analisar os resultados da safrinha de milho de 2021 no Paraná, Garbuglio *et al.* (2022) observaram que, apesar de um aumento de 10% na área cultivada, houve uma redução de 48,3% na produção em comparação com a safra do ano anterior. Além disso, diversas regiões do estado registraram perda total da área plantada, incluindo os ensaios realizados por esses pesquisadores nas cidades de Palotina e Santa Tereza do Oeste. Os autores concluíram que o potencial produtivo foi significativamente afetado pela seca, que começou logo após a emergência das cultivares e teve duração média de 30 dias. Em termos de produtividade, essa foi a menor safra dos últimos 12 anos, resultando em um prejuízo estimado em pelo menos 11,3 bilhões de reais (Brasil, 2022).

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que a variabilidade na intensidade e na distribuição temporal das precipitações pluviométricas, no período de 2013 a 2022, exerceu influência significativa sobre o rendimento do milho safrinha na região de Cascavel, PR. Verificou-se que o incremento no número de dias secos e a consequente restrição hídrica no solo afetaram de forma negativa o desempenho das lavouras, com maior sensibilidade observada nas fases fenológicas de florescimento e enchimento de grãos. Em 2021, o déficit hídrico ocasionou perdas superiores a 50% na produtividade regional.

Esses achados evidenciam a importância da adoção de estratégias adaptativas para reduzir a vulnerabilidade das lavouras frente à variabilidade hídrica. Recomenda-se, nesse contexto, a utilização de genótipos com diferentes ciclos fenológicos, adaptados às condições edafoclimáticas locais, associados ao cultivo em sistema de plantio direto. Adicionalmente, práticas como a rotação de culturas e o uso de sistemas de irrigação nos períodos críticos do ciclo da cultura constituem alternativas eficazes para mitigar perdas, reduzir a variabilidade interanual da produção e promover maior estabilidade socioeconômica aos agricultores.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências Bibliográficas

ARTUZO, F. D. *et al.* O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, n.2, p.515-540, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p515-540>.

BECKER, W. R. *et al.* Google Earth Engine como instrumento de classificação uso e cobertura do solo no município de Cascavel, Paraná, Brasil. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE. **Anais**, Santos, SP, 2019. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.04.18.40/doc/97279.pdf>. Acesso em: 01, jun. 2024.

BERGAMASCHI, H. *et al.* Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.2, p.243-249. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. Milho. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.) **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, Cap. 14, p.238-260, 2009.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 84 p., 2014.

BOGNOLA, I. A. *et al.* Atualização do levantamento de reconhecimento de solos dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. In: GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S. (Ed.). **Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina: estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto**. Brasília, DF: Embrapa. Cap. 3, p.41-72. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Histórico de perdas na agricultura brasileira: 2000-2021**. Secretaria de Política Agrícola. Brasília: MAPA/AECS, 107p. 2022.

CARLESSO, R. *et al.* Resposta do sorgo granífero a déficits hídricos aplicados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. **Ciência Rural**, v.27, n.2, p.211-215, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781997000200007>.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Crescimento de plantas de milho submetidas a déficit hídrico em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.1, p.27-33. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000100004>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de monitoramento agrícola: Culturas de 2ª safra (safra 2012/2013) e de inverno (safra 2013/2014)**. Brasília-DF, v.2, n.18, 38p. 2013.

CRUZ, J. C. *et al.* Manejo da cultura do milho. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 6p. 2008. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/491872>. Acesso em: 04, jun. 2024.

DERAL - Departamento de Economia Rural. **Histórico de produção de milho safrinha na Região Oeste do Paraná**. Dados recebidos via protocolo pelo e-mail deral@seab.pr.gov.br. Curitiba, PR. 2024.

FISHMAN, R. More uneven distributions overturn benefits of higher precipitation for crop yields. **Environmental Research Letters**, v.11, n.2, p.024004, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024004>.

GARBUGLIO, D. D.; ARAÚJO, P. M.; BIANCO, R. **Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2021**. Londrina, PR: Boletim técnico, 102. 40 p., 2022.

GARBUGLIO, D. D. *et al.* **Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2020**. Londrina, PR: Boletim técnico, 100. 38 p., 2021.

GARCIA, J. C. *et al.* **Aspectos econômicos da produção e utilização do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 74. 12p, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/474206/1/Circ74.pdf>. Acesso em: 04, jun. 2024.

GUERRA, J. R.; CARAMORI, P. H. Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade da cultura de milho no Estado do Paraná. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, **Anais**, Foz do Iguaçu-PR, v.4, p. 1223-1227, 2002.

HIRAKURI, M. H. **Caracterização e avaliação econômica de sistema de produção de grãos na microrregião de Cascavel, PR**. Brasília, DF: Embrapa, cap.8, p. 135-150. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades: Cascavel, PR**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel>. Acesso em: 01, jun. 2024.

IDR-Paraná - Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. **Dados Meteorológicos Históricos e Atuais: Série histórica de precipitação mensal para Cascavel-PR.** Londrina-PR, 2024. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 01, jun. 2024.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária - Sisdagro.** Brasília-DF, 2024. Disponível em: <https://sisdagro.inmet.gov.br>. Acesso em: 01, jun. 2024.

MACHADO, J. R. A. **O excesso de chuvas e a cultura do milho.** *Jornal Dia de Campo.* Artigo de divulgação na mídia (CNPMS). Rio de Janeiro, 19 jan. 2017. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1061388>. Acesso em: 31, mai. 2024.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. **Fisiologia da produção de milho.** Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Circular Técnica, 76. 10p, 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/490408/fisiologia-da-producao-de-milho>. Acesso em: 02, jun. 2024.

MATZENAUER, R. *et al.* Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, n.1, p.85-92, 1995. Disponível em: <https://sbagro.org/files/biblioteca/62.pdf>. Acesso em: 31, mai. 2024.

MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C. Relação entre rendimento de grãos e altura de chuva em diferentes períodos de desenvolvimento do milho. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, **Anais**, Belém-PA, p.3-6. 1987. Disponível em: <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/3863.pdf>. Acesso em: 02, jun. 2024.

MOTA, F. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, **Anais**, Florianópolis-SC, 1999. Disponível em: <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/2010.pdf>. Acesso em: 03, jun. 2024.

MOURA, A. D.; FORTES, L. T. G. The Brazilian National Institute of Meteorology (INMET) and its contributions to agrometeorology. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.24, n.1, p.15-27, 2016.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná.** Londrina, PR: IAPAR, 210p., 2019.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; CAMPOS, T. G. S. Evapotranspiração e Desenvolvimento Radicular do Milho Irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.12, p.1407-1415, 1993.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service Ames, Iowa. **Special Report** n.48, 24p. 1986. Disponível em: <https://publications.iowa.gov/id/eprint/18027>. Acesso em: 06, jun. 2024.

SANTOS, G. O. *et al.* Disponibilidade hídrica e as anomalias climáticas no cultivo de soja e milho no Cerrado. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.10, n.3, p.214-222, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v10n3.santos>.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D. Comportamento histórico da precipitação e ocorrências de dias secos e chuvosos em Cascavel, Paraná. **Revista Thêma et Scientia**, v.1, n.1, 2011.

SHIOGA, P. S. Sistemas de produção do milho safrinha no Paraná. In: X SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA. **Anais**, Rio Verde, GO. FESURV, Rio Verde, p. 40-54, 2009.

SHIOGA, P. S. *et al.* **Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2013**. Londrina, PR: IAPAR. Boletim técnico, n.80. 73p. 2013.

SHIOGA, P. S. *et al.* **Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2015**. Londrina, PR: IAPAR. Boletim técnico, n.86. 101p. 2015.

SILVA, J. A. **Fator de resposta da produção (Ky) do milho safrinha para a região de Dourados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 43p. 2017.

SILVA, S. *et al.* Parâmetros produtivos do milho sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, v.1, n.1, p.30-41, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p30-41>.