

Sete Lagoas, MG /Julho, 2025

Determinação da maturidade fisiológica do milho com base no florescimento feminino

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade¹, Isabel Regina Prazeres de Souza¹, Maurílio Fernandes de Oliveira¹ e Santiago Vianna Cuadra².

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG 424, KM 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
www.embrapa.br/milho-e-sorgo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente

*Lauro Jose Moreira
Guimarães*

Secretário-executivo
Antônio Carlos de Oliveira

Membros
*Guilherme Ferreira Viana,
Rosângela Lacerda de Castro,
Arystides Resende Silva,
Ciro Augusto de Souza
Magalhães,
Cláudia Teixeira Guimarães e
Enilda Alves Coelho*

Edição executiva
*Márcio Augusto Pereira do
Nascimento*

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
*Rosângela Lacerda de Castro
(CRB-6/2749)*

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
*Márcio Augusto Pereira do
Nascimento*

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Resumo – Dados de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) utilizados para registro de cultivares são obtidos em diferentes condições ambientais de produção de milho no Brasil. A aplicação desses dados de VCU em estudos de modelagem de crescimento de culturas e de zoneamento agrícola de risco climático é, todavia, limitada, por não se dispor da data de maturidade fisiológica das cultivares. Propôs-se este estudo com o objetivo de desenvolver uma metodologia que permita a estimativa da data da maturidade fisiológica com base na data do florescimento feminino de genótipos tropicais de milho. Dados de florescimento feminino e de maturidade fisiológica, de oito ensaios de campo conduzidos de 2002 a 2023, foram empregados para derivar um fator multiplicativo e para ajustar equações lineares que permitam estimar a maturidade fisiológica a partir do florescimento feminino. Adicionalmente, um fator multiplicativo e uma equação linear foram derivados, relacionando a soma térmica até a maturidade fisiológica à soma térmica até o florescimento feminino. As relações ajustadas para cultivares tropicais são diferentes das derivadas para cultivares de clima temperado. É possível estimar o número de dias e a soma térmica até a maturidade fisiológica empregando uma relação linear com o número de dias e com a soma térmica até o florescimento feminino, de genótipos tropicais de milho.

Termos para indexação: *Zea mays* L., modelagem, busca linear, soma térmica.

Estimation of physiological maturity from female flowering of maize in Sete Lagoas, MG

Abstract – Data from field trials of the official plant breeding program (VCU) used for cultivar registration are obtained at different environmental conditions of maize production in Brazil. However, the application of these VCU data in crop growth modeling and agricultural climate risk zoning studies is limited by the lack of availability of the cultivars' physiological maturity date. This study was proposed with the objective of developing a methodology that allows the estimation of the physiological maturity

date based on the silking date of tropical maize genotypes. Silking and physiological maturity data from eight field trials conducted from 2002 to 2023 were used to derive a multiplicative factor and to fit linear equations that allow the estimation of physiological maturity from silking. Additionally, a multiplicative factor and a linear equation were derived, relating the thermal sum to physiological maturity to the thermal sum to silking. The adjusted relationships for tropical cultivars are different from those derived for temperate cultivars. It is possible to estimate the number of days and the thermal sum until physiological maturity using a linear relationship with the number of days and the thermal sum until silking, of tropical maize genotypes.

Index terms: *Zea mays* L., modeling, linear search, thermal sum.

Introdução

O cultivo de milho no Brasil se dá, preferencialmente, em regime de sequeiro, na segunda safra (safrinha), submetendo a cultura às instabilidades das condições climáticas, sobretudo da precipitação. Uma das formas de planejar e mitigar as perdas é através da indicação de datas de semeadura com menor risco climático. Nesse sentido, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) (Brasil, 2025) já é um instrumento consolidado que exerce um papel importante na recomendação dos períodos de semeadura, considerando diferentes níveis de risco esperado. Entretanto, em seu formato atual, o Zarc faz uma avaliação do risco climático, mas não estima as produtividades esperadas de milho associadas às datas de semeadura. Essas estimativas são muito mais desafiadoras, pois demandam a aplicação de modelos que determinam não apenas a respostas das culturas ao clima, mas também o desenvolvimento, o crescimento, a produção de biomassa e o rendimento. Utilizam-se modelos de crescimento de culturas, como o CSM-CERES-Maize, do sistema de suporte à decisão DSSAT (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2017). Essas abordagens alternativas ao Zarc já foram estudadas, mas não implementadas como política pública (Paixão et al., 2014; Monteiro et al., 2019; Lima et al., 2020; Amaral et al., 2024), dada a complexidade delas. Apesar do grande desafio, essas análises podem auxiliar produtores, empresas de seguro e instituições que oferecem crédito agrícola no planejamento e na execução

dos contratos, assim como no monitoramento da safra agrícola.

Um dos maiores desafios na aplicação dos modelos de crescimento de culturas é a parametrização e a avaliação deles, que devem ser realizadas previamente para que os resultados sejam consistentes e representativos das regiões produtoras de milho. Essas etapas de calibração e validação dos modelos são fundamentais e dependem de dados medidos em campo, que, por exemplo, podem ser obtidos dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), conduzidos em diferentes regiões do País. Entretanto, em geral, esses conjuntos de dados não dispõem das datas de maturidade fisiológica, ou da soma térmica até a maturidade fisiológica, informação requerida por determinados modelos, como o CSM-CERES-Maize. Por outro lado, nesses ensaios, as datas do início do estágio reprodutivo, florescimentos feminino e masculino, são, por padrão, registradas. As datas do florescimento feminino e da maturidade fisiológica, juntamente com as datas de semeadura e emergência, são parâmetros fundamentais para o ajuste do desenvolvimento fenológico da cultura nos modelos de crescimento.

O estágio reprodutivo é iniciado quando os estilos-estigmas (cabelo) estão visíveis fora da espiga. A polinização ocorre quando o grão de pólen liberado se deposita sobre o estilo-estigma e, em 24 horas, irá fertilizar o óvulo. O óvulo fertilizado torna-se grão, e demora de 5 a 8 dias para que todos os estilos-estigmas de uma única espiga sejam expostos e polinizados. Isso ocorre em condições climatológicas ideais. Pode se estender até 14 dias, dependendo do meio ambiente. A maturidade fisiológica ocorre aproximadamente entre 45 e 50 dias após o florescimento feminino, quando todos os grãos da espiga atingem sua máxima massa seca. Uma camada escura pode ser observada na base do grão, isto é, no ponto de inserção deste com o sabugo, indicando que a maturidade fisiológica foi atingida. Nesta fase, o conteúdo de umidade do grão varia de 30 a 35%, em função do híbrido e de condições ambientais (Ritchie et al., 1993).

Nos Estados Unidos, as empresas de sementes de híbridos de milho publicam regularmente os dados de soma térmica da semeadura ao florescimento feminino (GDA_FF) e/ou da semeadura à maturidade fisiológica (GDA_MF). Entretanto, poucas publicam ambos os dados simultaneamente, o que limita a utilização deles em estudos e aplicações de modelagem do crescimento da cultura do milho. Visando contornar a falta de informação, Yang et al. (2004) utilizaram os dados de GDA_FF

e GDA_MF, divulgados simultaneamente por algumas empresas, para ajustar a equação $GDA_{FF} = 100 + 0,445 \cdot GDA_{MF}$ ($R^2 = 0,97$). Dessa forma, pode-se calcular GDA_FF ou GDA_MF, quando da ausência de um deles. Outras equações, ajustadas para grupos de cultivares de um mesmo desenvolvedor, são apresentadas por Yang et al. (2016). A temperatura-base empregada pelas empresas dos Estados Unidos no cálculo das somas térmicas é de 10 °C, diferentemente do modelo CSM-CERES-Maize, que utiliza 8 °C. Portanto, a utilização direta de dados, gerados com essa equação, no modelo DSSAT, que utiliza outra temperatura-base, não é adequada. Mesmo assim, para que dados de VCU de milho pudessem ser utilizados para parametrizar e avaliar o modelo CSM-CERES-Maize para cultivares tropicais, Amaral et al. (2024) aplicaram um fator constante, derivado dos trabalhos de Yang et al. (2004, 2016), no número de dias para o atingimento do florescimento feminino, para estimar o número de dias para alcance da maturidade fisiológica, já que, no Brasil, os dados dos VCU normalmente registram com maior exatidão apenas as datas de florescimento feminino.

Diante dessa limitação, propôs-se este trabalho com o objetivo de determinar uma relação entre o número de dias e a soma térmica da sementeira à maturidade fisiológica, bem como o número de dias e a soma térmica da sementeira ao florescimento feminino, para diferentes genótipos de milho tropical.

Material e métodos

Dados da data do florescimento feminino e da maturidade fisiológica de milho, obtidos em sete ensaios de campo, conduzidos entre 2002 e 2023, na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, foram tabulados e analisados. Os solos da área experimental pertencem à ordem dos Latossolos, subordens Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos-Amarelos (Panoso et al., 2002). De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Sete Lagoas é Cwa (Sá Júnior, 2009). Dados de precipitação e de temperaturas máxima, mínima e média, do período de condução dos ensaios, são apresentados na Figura 1.

Os experimentos foram implantados com diferentes finalidades, sendo a maioria destinada à obtenção de dados para parametrização de modelos de simulação do crescimento de

culturas, como o CSM-CERES-Maize. Dezenove diferentes genótipos de milho foram utilizados, entre híbridos comerciais e cultivares em pré-lançamento pelo programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo.

Considerou-se que o milho atingiu a data do florescimento feminino e da maturidade fisiológica quando 50% das plantas, na parcela experimental, apresentavam 2 cm de estilo-estigma (cabelo) na boneca e 50% dos grãos amostrados apresentando camada preta (Ritchie et al., 1993). As datas do florescimento feminino e da maturidade fisiológica, observadas em campo, foram convertidas em dias após a sementeira (DAS). Todos os ensaios foram instalados em delineamento estatístico, com repetições, permitindo determinar a média dos DAS para as características florescimento feminino e maturidade fisiológica, para cada cultivar, em cada ensaio.

Para completar as informações do ciclo das cultivares, computou-se a soma térmica, expressa em graus-dia acumulados, da sementeira ao embonecamento e da sementeira à maturidade fisiológica, de acordo com a Equação 1 (Tojo Soler et al., 2005).

$$ST = \sum_{j=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{Z} - T_b \right) \quad (1)$$

em que:

ST é a soma térmica em graus-dia.

n é o número de dias do intervalo em que ST é computada.

T_{max} é a temperatura máxima diária em °C.

T_{min} é a temperatura mínima diária em °C.

T_b é a temperatura-base para milho, assumida como sendo 8 °C (Barbano et al., 2001).

O conceito de graus-dia utiliza a temperatura-base inferior (T_b), na qual o crescimento e o desenvolvimento da cultura são interrompidos ou são muito reduzidos (Cargnelutti Filho et al., 2005).

Os dados de DAS para atingimento da maturidade fisiológica foram plotados contra os dados de DAS para atingimento do florescimento feminino. Da mesma forma, a soma térmica para atingimento da maturidade fisiológica foi plotada contra a soma térmica para atingimento do florescimento feminino. Equações lineares foram ajustadas em ambos os casos. Adicionalmente, a relação entre DAS para maturidade fisiológica e DAS para florescimento feminino (DAS_MF/DAS_FF) foi

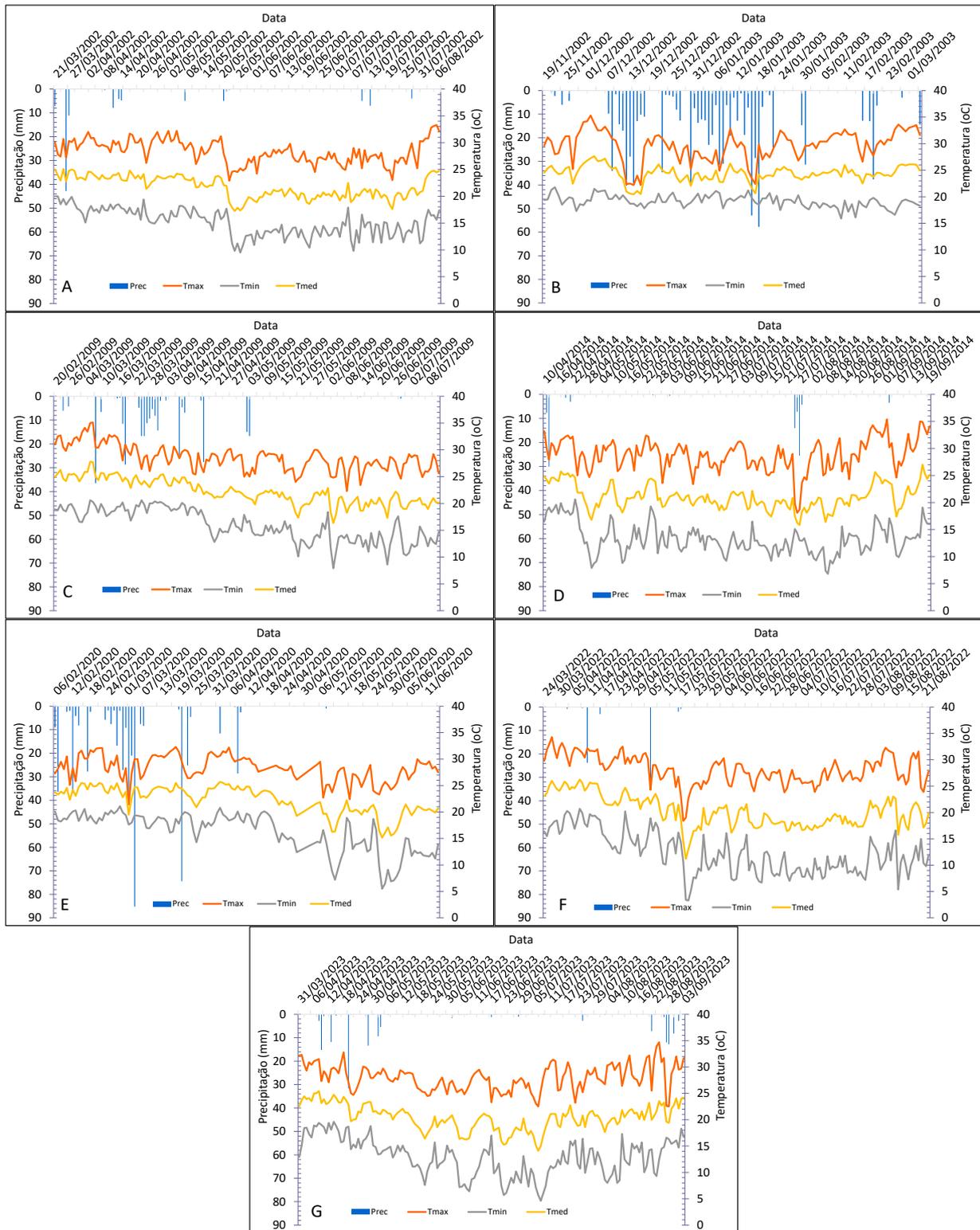


Figura 1. Precipitação e temperaturas máxima, mínima e média durante os anos de 2002 (A), 2003 (B), 2009 (C), 2014 (D), 2020 (E), 2022 (F) e 2023 (G), em que foram conduzidos os sete ensaios utilizados no estudo.

determinada, assim como a relação entre a soma térmica para a maturidade fisiológica e a soma térmica para o florescimento feminino (GDA_MF/GDA_FF). Dessa forma, é possível utilizar com mais segurança os dados de ensaios de VCU de milho na parametrização e avaliação de modelos de simulação do crescimento de culturas.

Resultados e discussão

As condições climáticas variaram consideravelmente ao longo do ciclo do milho e entre os diferentes períodos de condução dos ensaios de campo, semeados em diferentes datas

e anos (Figura 1, Tabela 1). As precipitações predominaram no plantio de novembro de 2002 e no início do ciclo em 2009 e 2020. Nos demais anos, ocorreu pouca chuva durante os experimentos, que receberam irrigação suplementar.

Apresentam-se, na Tabela 1, as datas da sementeira, do florescimento feminino (FF) e da maturidade fisiológica (MF), o número de dias para o FF e para a MF, a relação entre dias para a MF e dias para FF e a relação entre a soma térmica até a MF e a soma térmica até o FF, para diferentes genótipos e épocas de sementeira de milho. Observou-se considerável variação entre os genótipos de milho quanto ao número de dias para o florescimento feminino e para a maturidade fisiológica. O FF variou de 56 a 78 dias após a sementeira para ser atingido, com uma média de 69 DAS, enquanto a maturidade fisiológica variou de 128 a 164 DAS, com uma média de 148 DAS (Tabela 1). De forma geral, quanto mais amenas as condições climáticas durante o ciclo (Figura 1) maior o número de dias para o FF e também maior a duração do ciclo. Entretanto, observa-se que existe uma relação aproximadamente constante entre o número de dias para o atingimento da maturidade fisiológica (DAS_MF) e o número de dias para o embonecamento (DAS_FF) (Tabela 1). Em termos médios, a relação DAS_MF/DAS_FF foi de 2,15, valor superior ao observado nos estudos de Yang et al. (2004, 2016), para híbridos de milho dos Estados Unidos. Vale lembrar que a temperatura-base utilizada nos estudos de Yang et al. (2004, 2016) é de 10 °C, enquanto no presente trabalho a temperatura-base é de 8 °C. Em estudo realizado por Amaral et al. (2024), o DAS para a maturidade fisiológica foi estimado empregando um fator derivado com base nos trabalhos de Yang et al. (2004, 2016), o que permitiu a utilização de dados de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) na parametrização e avaliação do modelo de simulação CSM-CERES-Maize, visando a aplicação no Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Produtividade (Zarc-Pro).

O coeficiente de determinação de 0,8254, indica uma forte correlação, uma vez que está próximo de 1, demonstrado um bom ajuste da equação linear aos dados de DAS para a maturidade fisiológica versus DAS para o florescimento feminino (Figura 2). Dessa forma, pode-se estimar, de outra maneira, a data da MF do milho, quando se dispõe da data do florescimento feminino e vice-versa.

Enquanto nos Estados Unidos as empresas desenvolvedoras de híbridos divulgam as datas da maturidade fisiológica de seus genótipos, no Brasil, as empresas divulgam a data do florescimento feminino. Tanto a relação fixa de Yang et al. (2004, 2016), quanto a equação derivada (Figura 2) permitem estimar uma ou outra informação.

Estando os fatores nutricionais e de estresse hídrico em condições adequadas, o desenvolvimento de genótipos de milho tropical depende, basicamente, da genética da cultivar e da temperatura do ar (Rehagro, 2025). O efeito da temperatura na duração das fases fenológicas do milho pode ser explicado pelo conceito de soma térmica, expressa em graus-dia acumulados (Tojo Soler et al., 2005). Os valores da soma térmica, da sementeira até o florescimento feminino (GDA_FF), variaram de 917 graus-dia a 1.053 graus-dia, com uma média de 985 graus-dia.

Esses valores estão na mesma ordem de grandeza dos observadas nos estudos de Tojo Soler et al. (2005), para diferentes híbridos de milho semeados em regiões subtropicais do estado de São Paulo, empregando T_b de 8 °C. Isso se deve, provavelmente, às temperaturas médias semelhantes ao longo do ano, quando se comparam as regiões dos estudos.

A relação entre a soma térmica acumulada até a MF (GDA_MF) e a soma térmica acumulada até o florescimento feminino (GDA_FF) é, também, aproximadamente constante e em torno de 2,00, para os genótipos de milho estudados (Tabela 1). A equação linear ajustada aos dados de GDA_MF versus GDA_FF (Figura 3) é diferente das equações genéricas obtidas por Yang et al. (2004, 2016), para híbridos de milho dos Estados Unidos. Ao se calcularem os valores da relação GDA_MF/GDA_FF, empregando a equação determinada por Yang et al. (2004, 2016), obtém-se uma média de 2,19, ou seja, a soma térmica da sementeira até a maturidade fisiológica do milho é mais que o dobro da soma térmica da sementeira até o florescimento feminino. Para as cultivares dos Estados Unidos, a correlação entre GDA_MF e GDA_FF é específica para cultivares de um mesmo desenvolvedor.

De forma similar, é possível estimar a soma térmica de uma das fases fenológicas da cultura do milho (florescimento feminino ou maturidade fisiológica) quando se tem dados de uma das duas (Figura 3). As cultivares estudadas necessitam, em média, de 985 graus-dia da

Tabela 1. Data da semeadura, do florescimento feminino e da maturidade fisiológica, dias após semeadura (DAS) para o florescimento feminino (FF) e para a maturidade fisiológica (MF), relação DAS_MF/DAS_FF e relação graus-dia acumulado (GDA) até a MF e GDA até o florescimento feminino.

Cultivar	Semeadura (data)	FF (data)	MF (data)	FF (DAS)	MF (DAS)	Relação MF/FF	Soma térmica FF (GDA)	Soma térmica MF (GDA)	Relação GDA_MF/GDA_FF
BRS 3060	21/3/2002	29/5/2002	7/8/2002	69	139	2.02	1039	1919	1.85
BRS 3060	19/11/2002	16/1/2003	3/4/2003	59	135	2.30	964	1737	1.80
P30F35	20/2/2009	25/4/2009	10/7/2009	64	140	2.19	1053	2006	1.90
Al Band	20/2/2009	20/4/2009	4/7/2009	59	135	2.28	985	1933	1.96
DKB 390	20/2/2009	17/4/2009	3/7/2009	56	133	2.37	944	1920	2.03
BRS 1040	20/2/2009	23/4/2009	12/7/2009	62	142	2.29	1025	2030	1.98
BRS 1030	20/2/2009	21/4/2009	2/7/2009	61	133	2.19	998	1908	1.91
BRS 1010	20/2/2009	21/4/2009	3/7/2009	61	133	2.19	998	1920	1.92
DKB390Pro	10/4/2014	26/6/2014	20/9/2014	77	164	2.11	1049	2140	2.04
DKB390Pro	10/4/2014	26/6/2014	19/9/2014	77	163	2.12	1049	2140	2.04
P30F53	10/4/2014	25/6/2014	18/9/2014	76	161	2.11	1049	2123	2.02
P30F53	10/4/2014	27/6/2014	19/9/2014	78	162	2.08	1049	2123	2.02
DKB390Pro	10/4/2014	25/6/2014	9/9/2014	77	153	1.99	1049	2012	1.92
DKB390Pro	10/4/2014	26/6/2014	12/9/2014	77	155	2.01	1049	2012	1.92
P30F53	10/4/2014	26/6/2014	10/9/2014	78	153	1.98	1049	1983	1.89
P30F53	10/4/2014	26/6/2014	10/9/2014	78	153	1.97	1049	1983	1.89
DKB390PRO3	6/2/2020	3/4/2020	14/6/2020	58	129	2.24	925	1848	2.00
BRS 4107	6/2/2020	5/4/2020	13/6/2020	59	128	2.17	960	1836	1.91
BRS 3042	6/2/2020	2/4/2020	15/6/2020	57	131	2.30	908	1860	2.05
1Q2366	24/3/2022	1/6/2022	23/8/2022	69	152	2.21	965	1865	1.93
1Q2425	24/3/2022	29/5/2022	23/8/2022	67	152	2.29	928	1865	2.01
1R2536	24/3/2022	28/5/2022	13/8/2022	66	142	2.17	917	1752	1.91
2S2697	24/3/2022	31/5/2022	12/8/2022	68	141	2.07	953	1740	1.83
1P2215VTPRO2	24/3/2022	29/5/2022	20/8/2022	67	149	2.24	928	1834	1.98
2E530	24/3/2022	3/6/2022	17/8/2022	71	147	2.06	991	1795	1.81
DKB380PRO3	24/3/2022	27/5/2022	21/8/2022	64	151	2.34	908	1844	2.03
P3858PWU	24/3/2022	27/5/2022	18/8/2022	65	148	2.27	908	1809	1.99
1Q2366	31/3/2023	12/6/2023	2/9/2023	73	155	2.12	966	1937	2.01
1Q2425	31/3/2023	13/6/2023	31/8/2023	74	153	2.06	979	1906	1.95
1R2536	31/3/2023	11/6/2023	31/8/2023	73	154	2.12	954	1906	2.00
2S2697	31/3/2023	11/6/2023	2/9/2023	73	155	2.13	954	1937	2.03
1P2215VTPRO2	31/3/2023	12/6/2023	1/9/2023	74	154	2.09	966	1921	1.99
2E530	31/3/2023	13/6/2023	1/9/2023	74	155	2.09	979	1921	1.96
DKB380PRO3	31/3/2023	13/6/2023	30/8/2023	74	153	2.06	979	1890	1.93
NS90PRO2	31/3/2023	14/6/2023	3/9/2023	76	157	2.07	992	1953	1.97
Média				69	148	2.15	985	1923	1.95

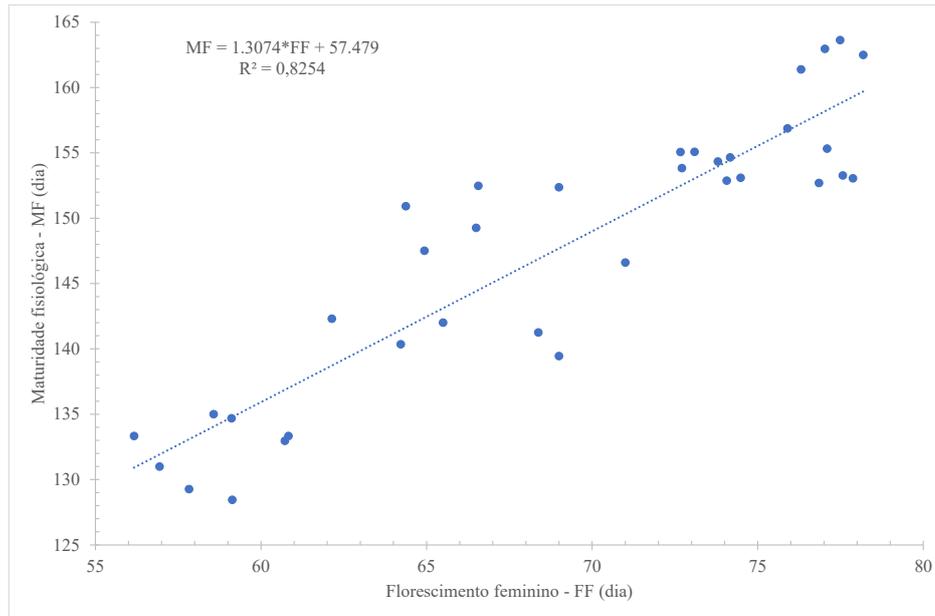


Figura 2. Relação entre dias após a semeadura (DAS) até a maturidade fisiológica (MF) e até o florescimento feminino, para diferentes genótipos de milho.

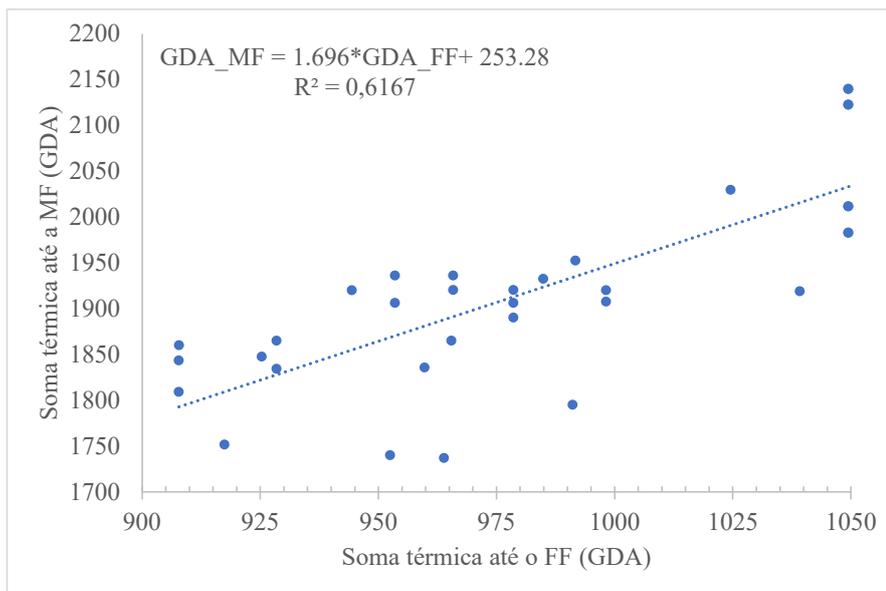


Figura 3. Relação entre a soma térmica até a maturidade fisiológica (MF) e a soma térmica até o florescimento feminino (FF), para diferentes genótipos de milho.

semeadura ao florescimento feminino e de 1.923 graus-dia para atingirem a maturidade fisiológica. Se as cultivares forem semeadas na época de clima mais ameno, elas demandarão mais dias cronológicos para completarem as fases fenológicas.

A dispersão nos dados da relação entre soma térmica até a MF e soma térmica até o florescimento feminino (Figura 3) é maior do que a variabilidade observada nos dados da relação entre o número de dias para se completarem as fases fenológicas

(Figura 2). Incertezas são adicionadas aos dados de soma térmica quando se incorporam dados de clima aos dados fenológicos dos genótipos mediante o uso de soma térmica.

Conclusões

Em genótipos de milho tropical, o número de dias da sementeira até a maturidade fisiológica pode ser estimado por meio de uma relação linear empregando o número de dias da sementeira até o florescimento feminino, e vice-versa. Adicionalmente, por meio de uma relação linear, pode-se estimar a soma térmica da sementeira até a maturidade fisiológica utilizando a soma térmica da sementeira até o florescimento feminino, e vice-versa.

Agradecimentos

À Embrapa, pelo suporte financeiro, e à equipe de Campos Experimentais da Embrapa Milho e Sorgo, pela condução dos ensaios.

Referências

AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. L. T.; CUADRA, S. V.; MONTEIRO, J. E. B. A.; GUIMARÃES, P. E. O.; TRINDADE, R. S. Applying the CSM-CERES-Maize for agricultural zoning of climate risk in Brazil. **Agrometeoros**, v. 32, e027716, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v32.e027716>.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O.; RECO, P. C.; PATERNIANI, M. E. A. G.; KANTHACK, R. A. D. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo sementeira-florescimento masculino em cultivares de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático**: portarias por Unidade Federativa. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias>. Acesso em: 22 fev. 2025.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; TRENTIN, M.; SILVA, J. C. Determinação da temperatura base e graus-dia para cultivares de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO,

8., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; SHELIA, V.; BOOTE, K. J.; SINGH, U.; WHITE, J. W.; HUNT, L. A.; OGOSHI, R.; LIZASO, J. I.; KOO, J.; ASSENG, S.; SINGELS, A.; MORENO, L. P.; JONES, J. W. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)**: version 4.7. Gainesville: DSSAT Foundation, 2017. Disponível em: <https://dssat.net/>. Acesso em: 13 set. 2023.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SING, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3/4, p. 235-265, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7).

LIMA, C. I. S.; SILVA, F. D. S.; FREITAS, I. G. F.; PINTO, D. D. C.; COSTA, R. L.; GOMES, H. B.; SILVA, E. H. L.; SILVA, L. L.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. N. Método alternativo de zoneamento agroclimático do milho para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p.1057-1067, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778635500113>.

MONTEIRO, J. E. B. de A.; CUADRA, S. V.; BARIONI, L. G.; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S.; OLIVEIRA, A. F.; VICTORIA, D. C. Estudo de caso de um Zoneamento Agrícola de Risco da Produtividade Climática (ZARCPPro). **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26573>.

PAIXÃO, J. S.; ANDRADE, C. de L.T. de; GARCIA Y GARCIA, A.; AMARAL, T. A.; STEIDLE NETO, A. J.; MARIN, F. R. An alternative approach to the actual Brazilian maize crop zoning. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 347-363, 2014.

PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo**: suas características e classificação no novo Sistema Brasileiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 92 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 5). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338497/1/bpd052002milhosorgo.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025.

REHAGRO. **Produtividade do milho**: como o clima atua no rendimento dos grãos? Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/clima-e-produtividade-do-milho/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University, 1993. (Special Report, 48). Disponível em: <https://publications.iowa.gov/18027/1/How%20a%20corn%20plant%20develops001.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2025.

SÁ JÚNIOR, A. de **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/3076?mode=full>. Acesso em: 11 mar. 2025.

TOJO SOLER, C. M.; SENTELHAS, P. C.; HOOGENBOOM, G. Thermal time for phenological development of four maize hybrids grown off-season in a subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v. 143, n. 1/2, p. 169-182, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859605005198>.

YANG, H. S.; DOBERMANN, A.; LINDQUIST, J. L.; WALTERS, D. T.; ARKEBAUER, T. J.; CASSMAN, K. G. Hybrid-maize: a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. **Field Crops Research**, v. 87, n. 2/3, p. 131-154, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.10.003>.

YANG, H.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K. G.; WALTERS, D. T.; GRASSINI, P. **Hybrid-maize: a simulation model for corn growth and yield**. Lincoln: University of Nebraska, 2016. 93 p.