



Qualidade fisiológica de sementes e desenvolvimento inicial de variedades de milho cultivadas em datas de semeadura

Physiological quality of seeds and initial development of maize varieties cultivated at sowing dates

Murilo Vieira Loro ¹ , Vithória Morena Ortiz ¹ , Alberto Cargnelutti Filho ¹ , Ubirajara Russi Nunes ¹ 

RESUMO

Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes e o desenvolvimento inicial de plântulas de variedades de polinização aberta de milho cultivadas em datas de semeadura, visando subsidiar estratégias de produção de sementes por isolamento temporal. Foram avaliadas três variedades de polinização aberta de milho em quatro datas de semeadura. De cada variedade e data de semeadura retirou-se uma amostra de sementes para avaliar os caracteres de qualidade fisiológica: primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (GE), teste de frio (TF) e condutividade elétrica (CE), e de desenvolvimento inicial: comprimento da parte aérea (CA), comprimento da radícula (CR), massa fresca da plântula (MF) e massa seca da plântula (MS). Foi realizado a análise de componentes principais, análise de variância, agrupamento de médias de Scott-Knott, correlação linear de Pearson e aplicada a árvore de regressão. As variedades IPR164 e BRS Planalto apresentam maior qualidade fisiológica de sementes. A semeadura das variedades de milho em novembro possibilita maior qualidade fisiológica das sementes em comparação às semeaduras nos meses de setembro, outubro e dezembro. Maiores valores da PC, GE e TF, e menores valores da CE, se associam às plântulas com maior desenvolvimento inicial, ou seja, maiores valores de CA, CR, MF e MS. A PC e CE se relacionam, respectivamente, à CA e à MF de plântulas de milho.

Palavras-chave: Componentes principais; Isolamento temporal; Variabilidade ambiental; *Zea mays*.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the physiological seed quality and early seedling development of open-pollinated maize varieties grown at different sowing dates, aiming to support seed production strategies based on temporal isolation. Three open-pollinated maize varieties were evaluated at four sowing dates. A seed sample was collected from each variety and sowing date to evaluate physiological quality traits: first germination count (PC), germination test (GE), cold test (TF), and electrical conductivity (CE), as well as early development traits: shoot length (CA), radicle length (CR), seedling fresh weight (MF), and seedling dry weight (DM). Principal component analysis, analysis of variance, Scott-Knott mean clustering, Pearson's linear correlation, and regression tree analysis were performed. The varieties IPR164 and BRS Planalto showed higher physiological seed quality. Sowing maize varieties in November resulted in higher physiological seed quality compared with sowing in September, October, and December. Higher PC, GE, and TF values, together with lower CE values, were associated with greater early seedling development, expressed by higher CA, CR, MF, and DM values. PC and CE were related to CA and MF in maize seedlings, respectively.

Keywords: Environmental variability; Main components; Temporal isolation; *Zea mays*.

¹ Universidade Federal de Santa Maria;

Autor correspondente Murilo Vieira Loro: muriloloro@gmail.com

Recebido em: 21/10/2025. Aceito em: 13/07/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado. 

1 INTRODUÇÃO

A ampla base genética das variedades de milho promove o desempenho favorável em ambientes adversos, em comparação com híbridos (Troyjack *et al.*, 2019; Loro *et al.*, 2025), sendo uma alternativa para minimizar os impactos das condições ambientais limitantes (Lana *et al.*, 2017; Loro *et al.*, 2024). A partir do cultivo de variedades de milho, o agricultor pode produzir sua própria semente, por meio da colheita de uma amostra representativa de espigas da população. No entanto, para a produção de sementes é necessário um isolamento espacial de no mínimo 200 m ou um isolamento temporal de no mínimo 30 dias entre as épocas de floração das lavouras de milho (Brasil, 2013).

A utilização do isolamento espacial para produção de sementes nem sempre é viável, especialmente em propriedades com áreas reduzidas ou próximas a lavouras comerciais de milho. Logo, o isolamento temporal pode ser utilizado como estratégia para reduzir o risco de contaminação por pólen oriundo de lavouras adjacentes, desde que seja respeitado o intervalo mínimo entre os períodos de florescimento (Brasil, 2013). Assim, a escolha da data de semeadura precisa conciliar o isolamento temporal com condições ambientais favoráveis à formação e maturação de sementes com alta qualidade fisiológica. No estado do Rio Grande do Sul, as lavouras comerciais de milho, geralmente, são semeadas entre setembro e outubro (MAPA, 2024), o que implica na necessidade de semear as variedades para produção de sementes em datas posteriores. Logo, as condições ambientais de cultivo determinam a qualidade fisiológica das sementes de milho (Machado *et al.*, 2020; Dubal *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2023).

O estresse abiótico, como o estresse hídrico (Machado *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2023), baixas e altas temperaturas, salinidade (Silva; Grzybowski; Panobianco, 2016) e outras toxicidades que acometem as plantas podem reduzir a qualidade das sementes. Sementes de baixa qualidade fisiológica geram plântulas com desenvolvimento inicial limitado, o que permite a estabelecimento de plantas daninhas que competem por água, luz e nutrientes (Marcos-Filho, 2015). Assim, é importante identificar variedades de milho e condições de cultivo que maximizem o potencial fisiológico das sementes para desenvolver estratégias que otimizem esse processo.

Pesquisas têm demonstrado que a qualidade das sementes pode variar significativamente em função da constituição genética dos genótipos (Martin *et al.*, 2018; Queiroz *et al.*, 2019; Troyjack *et al.*, 2019) e das condições de cultivo (Machado *et al.*, 2020; Munarini *et al.*, 2021; Dubal *et al.*, 2021). Assim, é necessário compreender se o cultivo em datas posteriores, devido a necessidade de isolamento temporal, interfere no desempenho agrônomo e na qualidade fisiológica de sementes de variedades de milho. Além disso, avaliar e prever a influência da qualidade das sementes de milho no desenvolvimento inicial de plântulas possibilita compreender a resposta das plântulas antes mesmo de as sementes irem a campo. Por exemplo, o alto vigor das sementes promove o maior desenvolvimento das plântulas de milho em estresse salino (Silva; Grzybowski; Panobianco, 2016), bem como as maiores porcentagens de primeira contagem de germinação e a germinação promovem a maior porcentagem de emergência de plântulas de milho a campo (Troyjack *et al.*, 2019).

Embora estudos tenham demonstrado que a qualidade fisiológica de sementes de milho se associa à constituição genética e às condições ambientais, ainda são limitadas as

informações da produção de sementes de variedades de polinização aberta em datas de semeadura alternativas, a necessidade de isolamento temporal e o desenvolvimento inicial das plântulas. Além disso, poucos estudos buscam identificar testes fisiológicos que apresentam maior capacidade de prever caracteres morfológicos iniciais das plântulas. Essa informação poderá orientar produtores e programas de produção de sementes, especialmente quando o isolamento espacial não é viável e a data de semeadura precisa ser ajustada para evitar o fluxo gênico. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes e o desenvolvimento inicial de plântulas de variedades de polinização aberta de milho cultivadas em datas de semeadura, visando subsidiar estratégias de produção de sementes por isolamento temporal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados experimentos em quatro datas de semeadura (06 de setembro de 2022, 14 de outubro de 2022, 24 de novembro de 2022 e 30 de dezembro de 2022) na área do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29°42'S, 53°49'O e 95 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como *Cfa* subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (Alvares *et al.*, 2013). O solo da região é classificado como Argissolo vermelho distrófico arênico (Santos *et al.*, 2018).

Nas quatro datas de semeadura, foram avaliadas três variedades de polinização aberta de milho (AL Bandeirante, BRS Planalto e IPR164). Em cada data de semeadura as variedades de milho foram semeadas em parcelas constituídas por uma fileira de 5 m de comprimento espaçadas em 0,80 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas na fileira, totalizando 4 m². A densidade foi ajustada por meio de desbaste para 62.500 plantas ha⁻¹ (25 plantas por parcela).

Foram utilizadas bordaduras com plantas de milho para evitar interferência nas plantas das laterais e extremidades das parcelas. Realizou-se o preparo e a adubação da área previamente com 415 kg ha⁻¹ de adubo químico da fórmula (NPK) 05-20-20. A adubação nitrogenada foi realizada de forma fracionada com uréia (N - 46%), sendo a primeira aplicação de 250 kg ha⁻¹ no estágio V₄ e a segunda de 150 kg ha⁻¹ no estágio V₆ da cultura. Os demais manejos culturais, como controle de plantas daninhas, pragas e doenças, foram realizados de acordo com as indicações técnicas para a cultura de milho, e de forma homogênea em todas as variedades (Fancelli; Dourado Neto, 2009).

As espigas foram colhidas e debulhadas manualmente quando as plantas atingiram o estágio R₆, correspondente à maturidade fisiológica dos grãos, caracterizado pela formação da camada preta na base do grão e pelo máximo acúmulo de matéria seca (Ritchie; Hanway, 1989). Em cada variedade e data de semeadura retirou-se uma amostra aleatória de sementes e procedeu-se com os seguintes testes para avaliar a qualidade fisiológica das sementes e o desenvolvimento inicial:

i) primeira contagem de germinação (PC, %): realizado a 25°C utilizando quatro repetições de 25 sementes distribuídas em rolos de papel umedecidos com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. A contagem das sementes foi realizada quatro dias após a instalação do teste e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2025). Considerou-se germinada a semente que originou

plântula normal, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2025).

ii) teste de germinação (GE, %): realizado a 25°C utilizando quatro repetições de 25 sementes distribuídas em rolos de papel umedecidos com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel. A contagem das sementes foi realizada sete dias após a instalação do teste e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2025). Foram consideradas plântulas normais aquelas com potencial para continuar o desenvolvimento e originar plantas satisfatórias sob condições favoráveis, apresentando estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas, proporcionais e saudáveis.

iii) teste de frio (TF, %): realizado com quatro repetições de 25 sementes distribuídas em rolos de papel umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos foram colocados dentro de sacos plásticos e mantidos em temperatura controlada de 10 °C dentro de uma câmara durante sete dias. Após esse período, as sementes foram transferidas para uma câmara de germinação com temperatura de 25 °C onde permaneceram por cinco dias. Os resultados foram expressos como porcentagem de plântulas normais (Barros et al, 1999).

iv) condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$): realizado com quatro repetições de 25 sementes, de massa conhecida, imersas em 50 mL de água destilada deionizada em copos plásticos a 25 °C. Após 24 horas, foi realizada a leitura da condutividade elétrica da solução de imersão, em condutivímetro de mesa, sendo os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ de semente (Vieira, 1994).

v) comprimento da parte aérea (CA, cm): as plântulas normais obtidas na primeira contagem do teste de germinação foram separadas em duas porções, parte aérea e radícula. Foi determinado o comprimento da parte aérea de 10 plântulas normais em cada repetição. As medições foram realizadas com auxílio de uma régua graduada em milímetros. A média das 10 plantas foi utilizada para análise (Nakagawa, 1999).

vi) comprimento da radícula (CR, cm): foi determinado o comprimento da radícula de 10 plântulas normais em cada repetição. As medições foram realizadas com auxílio de uma régua graduada em milímetros. A média das 10 plantas foi utilizada para análise.

vii) massa fresca da plântula (MF, g): foi determinada utilizando-se as 10 plântulas normais utilizadas para se obter o comprimento da parte aérea e da radícula. Essas plântulas foram pesadas e o resultado obtido pela média da massa fresca das 10 plântulas avaliadas em cada repetição.

viii) massa seca da plântula (MS, g): foi determinada utilizando-se as 10 plântulas normais utilizadas para se obter o comprimento da parte aérea e da radícula. As amostras foram colocadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa a 65°C, por 24 horas. As plântulas foram pesadas e o resultado obtido pela média da massa seca das 10 plântulas avaliadas em cada repetição.

Em todas as avaliações, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado organizado em esquema fatorial (três variedades de milho × quatro datas de semeadura), com quatro repetições. As variáveis meteorológicas foram obtidas de uma estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a 100 metros da área experimental. Para cada data de semeadura, obteve-se a precipitação pluviométrica, em

mm, e a temperatura máxima diária (Tmax) para o período entre a semeadura e a maturidade fisiológica dos genótipos.

A análise de componentes principais foi utilizada para verificar a variabilidade existente no banco de dados, bem como para observar possíveis respostas das variáveis às variedades de milho e datas de semeadura. Foi realizada a análise de variância e o teste F a 5% de significância. Posteriormente, utilizou-se a análise de agrupamento de médias de Scott-Knott a 5% de significância. Calcularam-se os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os pares de caracteres, sendo a significância dos coeficientes verificada pelo teste t de *Student* a 5%. O algoritmo de árvore de regressão foi utilizado para prever o comprimento da parte aérea e a massa fresca da plântula, sendo estabelecidos os seguintes modelos: $CA = PC + GE + TF + CE$ e $MF = PC + GE + TF + CE$. Todas as análises estatísticas foram realizadas na linguagem e ambiente de programação estatística R (R Core Team, 2026).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve variação da temperatura máxima do ar ao longo do cultivo do milho (Figura 1). Com o atraso das datas de semeadura, a temperatura média diária mostrou-se decrescente a partir da terceira data de semeadura. Durante o período de florescimento masculino da segunda, terceira e quarta datas de semeadura, observou-se melhor distribuição da precipitação pluviométrica, comparado com a primeira data de semeadura. Em todas as datas de semeadura, após o florescimento das plantas, houve dias com temperatura máxima superior a temperatura basal superior, com menores valores no florescimento da quarta data de semeadura.

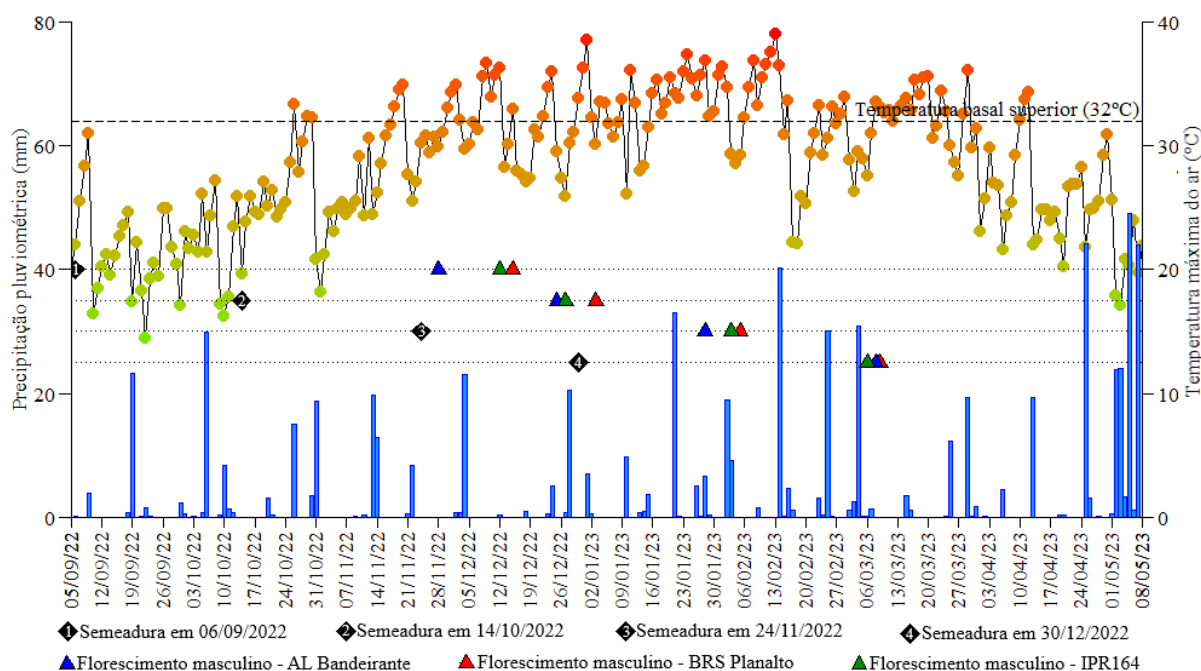


Figura 1. Temperatura máxima do ar e precipitação pluviométrica durante o cultivo de três variedades de milho semeadas em quatro datas de semeadura. As barras em cor azul representam a precipitação pluviométrica, enquanto as linhas com círculos representam a temperatura máxima do ar.

Fonte: Autores (2025).

Os dois primeiros componentes principais explicaram 69,5% da variabilidade total dos dados (Figura 2). Houve formação de grupos distintos entre as variedades de milho para os caracteres avaliados. Isso indica que há variabilidade genética para os caracteres avaliados, ou seja, as variedades apresentam respostas distintas. A variedade AL Bandeirante expressou os menores valores de todos os caracteres avaliados. Os maiores valores de GE, CR, MF e MS foram observados na variedade BRS Planalto, enquanto a variedade IPR164 apresentou maiores valores de PC, TF, CE e CA. Logo, pode-se observar que a variedade AL Bandeirante apresentou baixa qualidade fisiológica de sementes, enquanto as variedades BRS Planalto e IPR164 exibiram superioridade da qualidade fisiológica e caracteres morfológicos das plântulas. Isso indica que, mesmo sob as mesmas condições de cultivo, as variedades diferem quanto à capacidade de produzir sementes com maior potencial fisiológico, o que reforça a importância da escolha genética na produção de sementes de variedades de polinização aberta.

Não houve formação clara de grupos entre as datas de semeadura, o que sugere que a variabilidade genética dos genótipos tem um impacto maior sobre os caracteres avaliados do que as variações nas datas de semeadura. As condições ambientais da terceira data de semeadura (mês de novembro), no entanto, promoveram a maior qualidade de sementes, evidenciado pelos maiores valores de PC, GE, TF e CA.

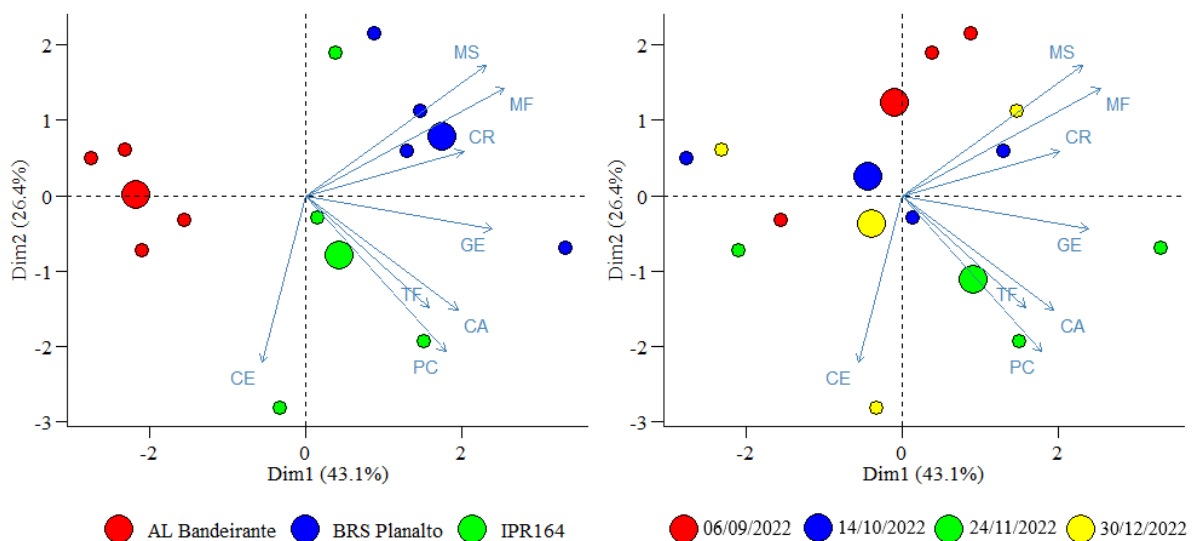


Figura 2. Variabilidade total dos dados representados por dois componentes principais estratificado por variedades de milho e datas de semeadura. Caracteres: primeira contagem de germinação (PC, %), teste de germinação (GE, %), teste de frio (TF, %), condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), comprimento da parte aérea (CA, cm), comprimento da radícula (CR, cm), massa fresca da plântula (MF, g) e massa seca da plântula (MS, g).

Fonte: Autores (2025).

Houve efeito significativo da interação variedades $\times$ datas de semeadura para os caracteres relacionados a qualidade fisiológica (PC, GE, TF e CE) (Tabela 1). Isso indica que a expressão desses caracteres nas variedades de milho se alterou conforme as datas de semeadura. Dessa forma, a constituição genética das variedades e as condições

meteorológicas observadas entre as datas de semeadura (Figura 1), podem determinar a qualidade fisiológica das sementes. Machado *et al.* (2020) e Dubal *et al.* (2021) também descreveram a existência da influência dos ambientes de cultivo sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho.

Ausência de interação foi observada para os caracteres relacionados ao desenvolvimento inicial (MF, MS, CA e CR). Logo, verificou-se que os efeitos principais das variedades foram significativos para esses caracteres, enquanto que o efeito principal de datas de semeadura foi significativo para CA e CR. O coeficiente de variação variou de 6,13% (CR) a 15,50% (CE), indicando precisão experimental média a alta (Pimentel-Gomes, 2009). Coeficientes de variação similares foram observados por Queiroz *et al.* (2019) avaliando quatro variedades de milho.

Tabela 1. Valores do teste F (Fc) da análise de variância para primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (GE), teste de frio (TF), condutividade elétrica (CE), comprimento da parte aérea (CA), comprimento da radícula (CR), massa fresca da plântula (MF) e massa seca da plântula (MS) de três variedades de milho cultivadas em quatro datas de semeadura.

Fonte de Variação	GL	Fc			
		PC (%)	GE (%)	TF (%)	CE (uS cm ⁻¹ g ⁻¹)
Variedades (V)	2	20,19*	18,88*	7,45*	14,82*
Datas de semeadura (D)	3	19,25*	4,27*	10,73*	38,77*
V × D	6	10,88*	2,96*	6,48*	22,96*
Resíduo	36				
Total	47				
CV (%)		13,03	6,71	13,32	15,50

Fonte de Variação	GL	Fc			
		CA (cm)	CR (cm)	MF (g)	MS (g)
Variedades (V)	2	25,60*	4,00*	23,03*	27,37*
Datas de semeadura (D)	3	13,82*	3,10*	1,32	0,55
V × D	6	1,13	1,48	1,03	1,97
Resíduo	36				
Total	47				
CV (%)		7,98	6,13	8,75	7,92

*Significativo pelo teste F a 5%. GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Fonte: Autores (2025).

As médias de PC e GE variaram de 41 a 95% e 73 a 98%, respectivamente, entre as variedades de milho e datas de semeadura (Figura 3). A amplitude observada para PC foi maior que para GE, indicando que a primeira contagem foi mais sensível para detectar diferenças de vigor entre sementes produzidas em diferentes condições. As variedades AL Bandeirante e BRS Planalto apresentaram as maiores médias de PC (64 e 72%, respectivamente) na primeira data de semeadura, não se diferenciando estatisticamente entre si. Nas demais datas de semeadura, a variedade IPR164 exibiu valores médios significativamente superiores às demais variedades, não se diferenciando apenas da variedade BRS Planalto na terceira data.

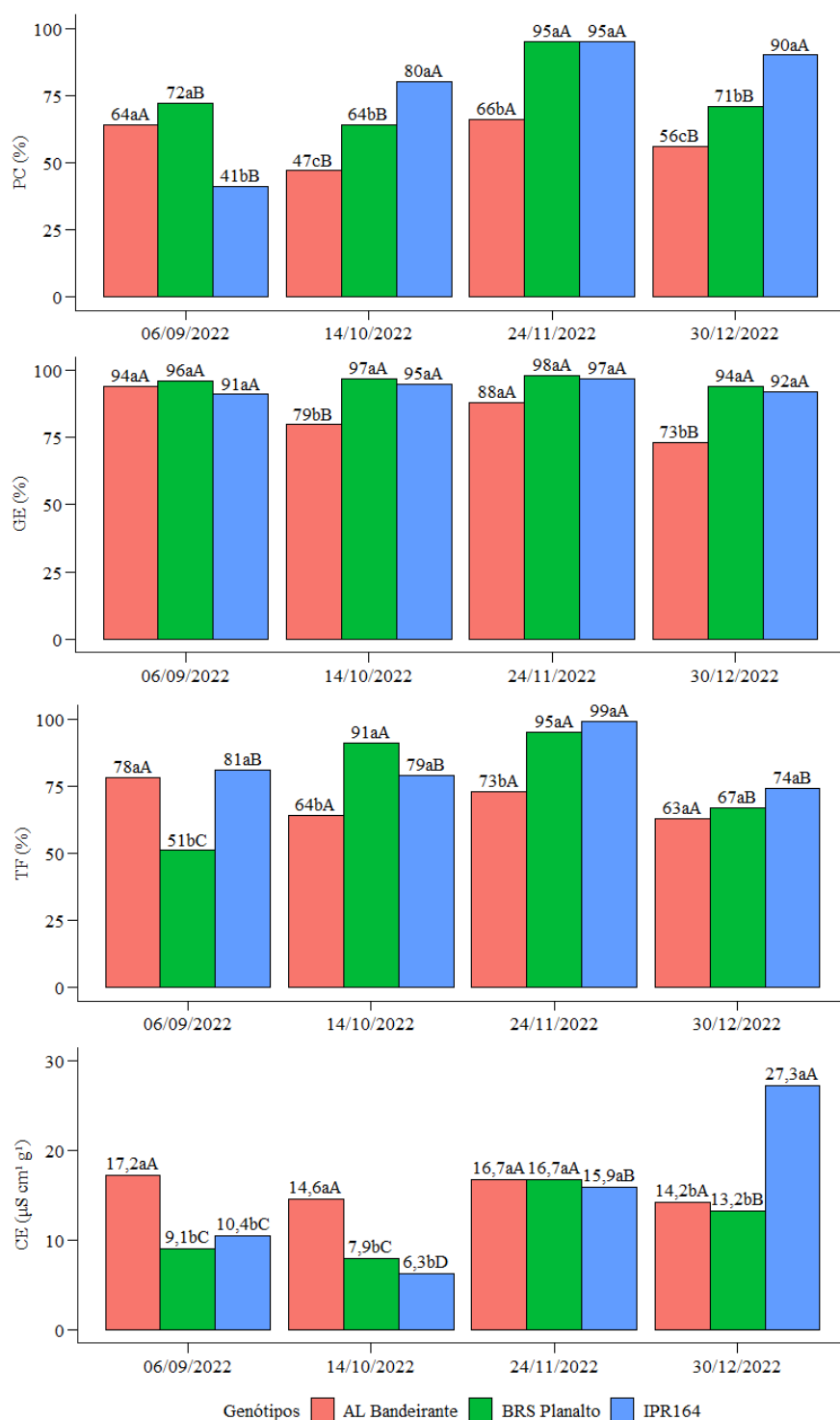


Figura 3. Teste de agrupamento de médias de Scott-Knott para a primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação (GE), teste de frio (TF) e condutividade elétrica (CE) de sementes de três variedades de milho cultivadas em quatro datas de semeadura. Médias de cada variedade seguidas pela mesma letra maiúscula entre as datas de semeadura não diferem entre si ao nível de 5%. Médias de cada data de semeadura seguidas pela mesma letra minúscula entre as variedades não diferem entre si ao nível de 5%.

Fonte: Autores (2025).

A variedade AL Bandeirante apresentou as menores médias de PC a partir da segunda data de semeadura, em comparação com as demais variedades. Na terceira data

de semeadura, foi observado as maiores médias de PC para todas as variedades de milho. Isso pode estar associado às condições de maior frequência de precipitação pluviométrica e redução da temperatura máxima do ar durante o florescimento, enchimento de grãos e maturação das sementes nesta data. Machado *et al.* (2018) e Pereira *et al.* (2023) também observaram diferenças na qualidade fisiológica das sementes dos genótipos de milho de acordo com as condições ambientais. Em estudo, Martin *et al.* (2018) observaram valores de primeira contagem de germinação e teste de germinação de 95,75% e 96,02%, respectivamente, para a variedade AL Bandeirante. Esses valores foram superiores ao presente estudo, o que indica a influência do ambiente na qualidade fisiológica das sementes de milho.

Na primeira e terceira datas de semeadura, não houve diferença significativa entre as médias de GE das variedades, com valores $\geq 88\%$. Na segunda e quarta datas de semeadura, as maiores médias de GE foram observadas nas variedades BRS Planalto (97% e 94%, respectivamente) e IPR164 (95% e 92%, respectivamente). As médias de GE das variedades BRS Planalto e IPR164 não diferiram estatisticamente entre as datas de semeadura, indicando que o potencial de GE dessas variedades foi consistente independentemente da data de semeadura. Pode-se inferir, que as variedades BRS Planalto e IPR164 semeadas em novembro apresentaram valores de PC e GE acima dos padrões estabelecidos ($\geq 80\%$), bem como é uma data que permite realizar o isolamento espacial para produção de sementes. Para cultivo de variedades de milho em Santa Catarina, Munari *et al.* (2021) também observaram as maiores porcentagens de germinação nas semeaduras de setembro (91%) e novembro (87%), em comparação à semeadura em janeiro (79%).

Na primeira data de semeadura, as variedades AL Bandeirante e IPR164 apresentaram as maiores médias de TF (Figura 3). Enquanto na segunda e terceira datas de semeadura, as maiores médias de TF foram observadas pelas variedades BRS Planalto e IPR164. Na quarta data de semeadura não foram observadas diferenças significativas entre as variedades. Logo, pode-se inferir que a variedade IPR164 apresentou altos valores médios de TF independentemente da data de semeadura em que foi cultivada. Isso indica que essa variedade deve ser preferencialmente utilizada em semeaduras precoces, principalmente na região Sul do Brasil, uma vez que tolera menores temperaturas durante a germinação. Além disso, a semeadura das variedades BRS Planalto e IPR164 pode ser realizada em novembro para garantir o isolamento temporal para a produção de sementes com altos valores de TF.

Nas duas primeiras datas de semeadura foram observados altos valores de CE para a variedade AL Bandeirante, indicando que a integridade das membranas celulares das sementes foi afetada negativamente, uma vez que apresentou maior quantidade de íons lixiviados na solução de embebição. Assim, maiores valores de CE indicam menor organização das membranas celulares, o que pode comprometer a velocidade de germinação e o acúmulo inicial de biomassa das plântulas. Na terceira data de semeadura não foram observadas diferenças entre as variedades, enquanto que na quarta data de semeadura a variedade IPR164 exibiu os maiores valores médios de CE ($27,30 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$). O período de enchimento de grãos na quarta data de semeadura coincidiu com menor frequência de precipitação pluviométrica (Figura 1). Logo, pode-se compreender que a variedade IPR164 apresentou maior sensibilidade às condições ambientais impostas neste

período. Resultado similar foi observado por Machado *et al.* (2020) e Pereira *et al.* (2023), no qual observaram que o cultivo de milho com maior estresse hídrico promoveu aumento da condutividade elétrica das sementes ($>15 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Os genótipos BRS Planalto e IPR164 apresentaram maiores valores de CA (Figura 4). Já para as variáveis CR, MF e MS o genótipo BRS Planalto exibiu valores significativamente superior em comparação aos demais genótipos (19,10 cm, 7,59 g e 0,69 g, respectivamente). Isso indica que esse genótipo apresenta maior potencial de desenvolvimento de estruturas morfológicas. O cultivo dos genótipos a partir da segunda data de semeadura promoveu maiores médias de CA, enquanto as maiores médias de CR foram observadas na primeira, terceira e quarta datas de semeadura.

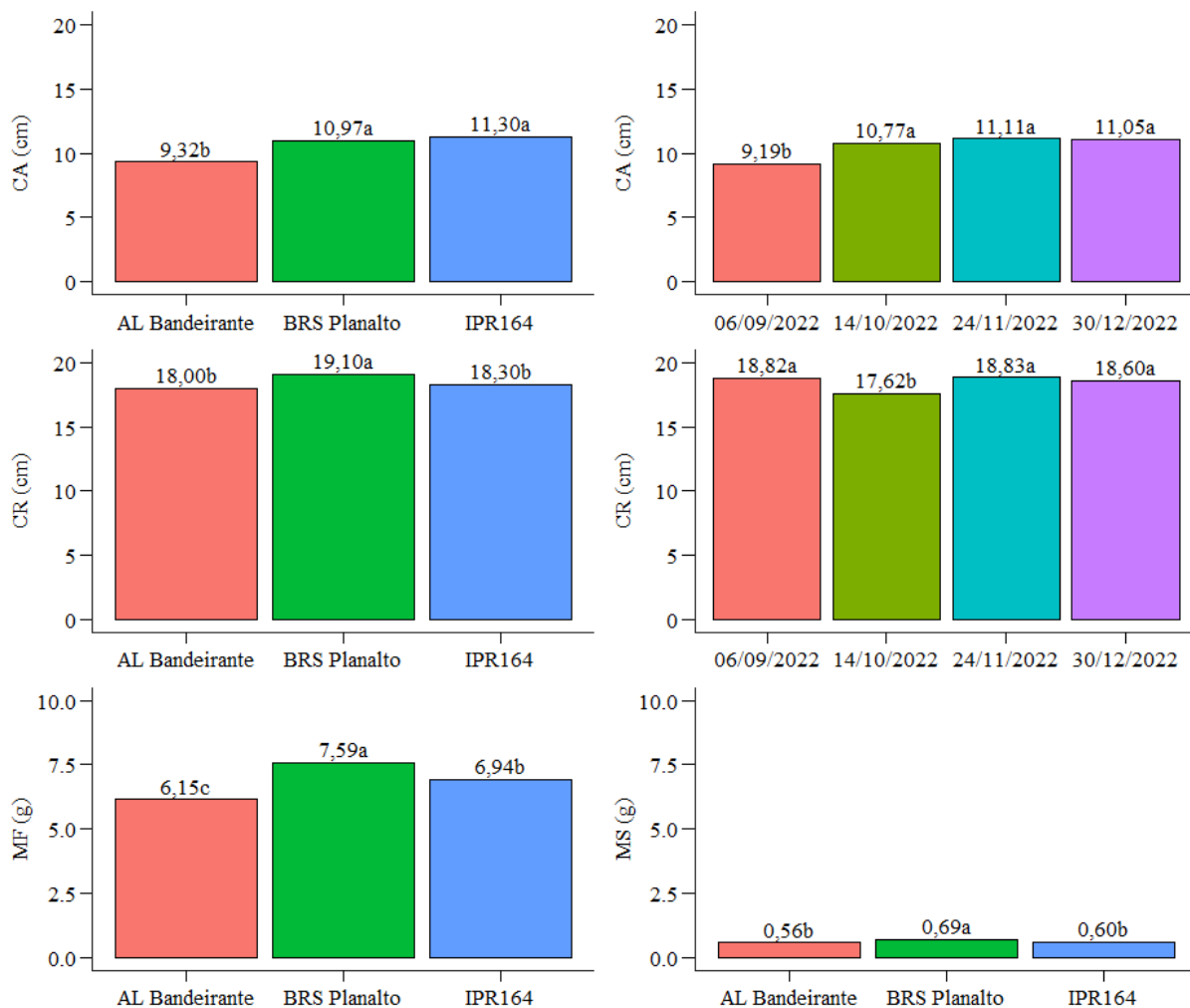


Figura 4. Teste de agrupamento de média de Scott-Knott para o comprimento da parte aérea (CA), comprimento da radícula (CR), massa fresca da plântula (MF) e massa seca da plântula (MS) de três variedades de milho cultivadas em quatro datas de semeadura. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: Autores (2025).

Os coeficientes de correlação entre as variáveis PC, GE, TF e CE variaram de -0,076 a 0,53 (Figura 5). As correlações positivas ($r \geq 0,33$) entre as variáveis PC, GE e TF também foram observadas por Troyjack *et al.* (2019). Entre as variáveis CA, CR, MF e MS foram observados coeficientes que variaram de 0,15 a 0,89. Logo, pode-se perceber que as

variáveis referentes ao desenvolvimento inicial apresentaram maior magnitude de correlação entre si. As únicas correlações negativas foram observadas com a CE. Por exemplo, CE apresentou coeficientes negativos de -0,38 e -0,39 com MF e MS, respectivamente. Isso indica que sementes com maior CE apresentam menor MF e MS. Isso implica em dificuldades no estabelecimento inicial de plântulas à campo.

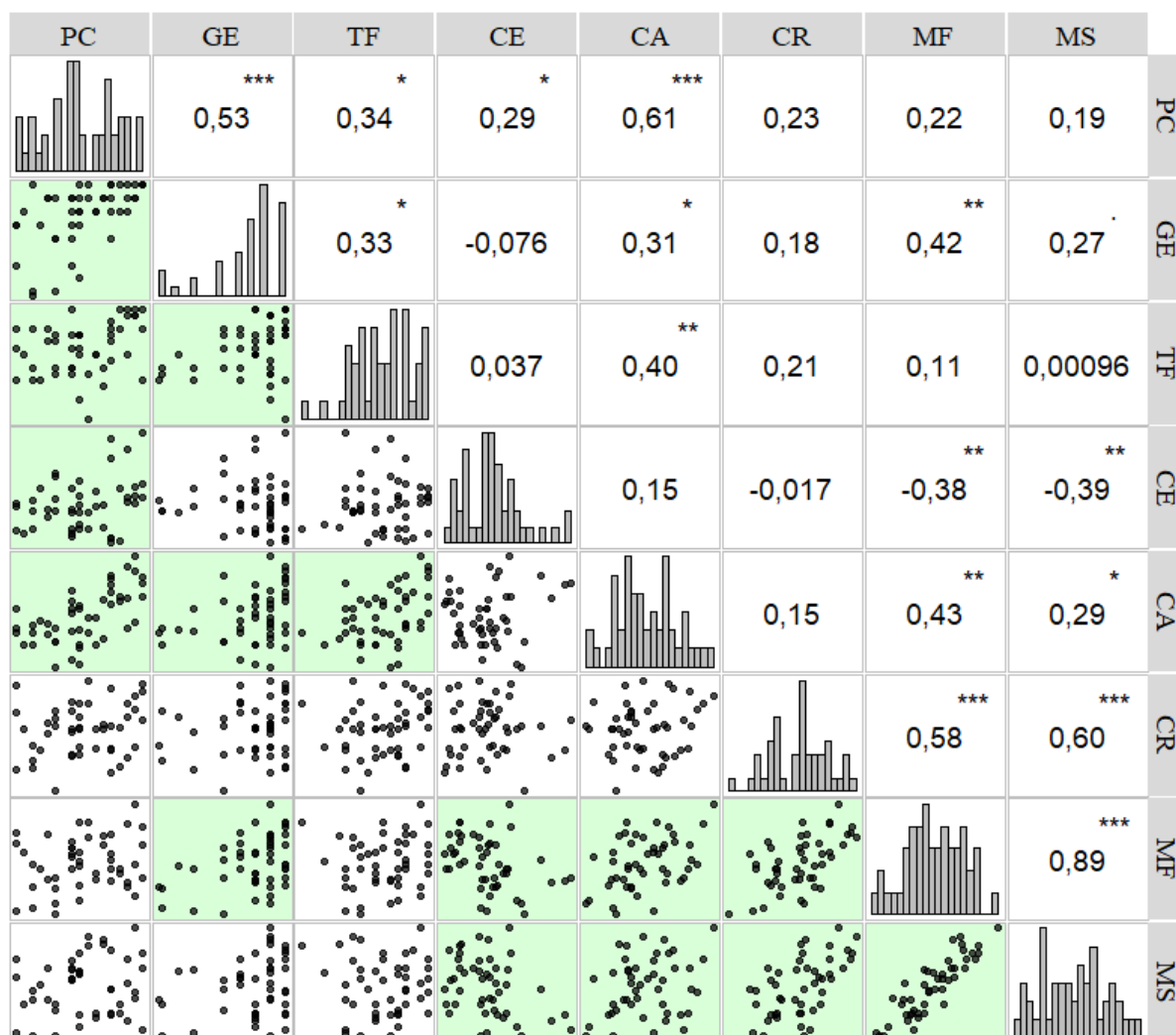


Figura 5. Correlação linear de Pearson, distribuições de frequências e diagramas de dispersão entre os caracteres avaliados em três variedades de milho cultivadas em quatro datas de semeadura ($n = 48$). *, **, *** significativo, respectivamente, a 0,05, 0,01 e 0,001 de probabilidade de erro. Caracteres: primeira contagem de germinação (PC, %), teste de germinação (GE, %), teste de frio (TF, %), condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$), comprimento da parte aérea (CA, cm), comprimento da radícula (CR, cm), massa fresca da plântula (MF, g) e massa seca da plântula (MS, g).

Fonte: Autores (2025).

As plântulas com maior desenvolvimento de parte aérea e radícula apresentam maior potencial de estabelecimento inicial quando semeadas à campo. Isso permite reduzir a competição com plantas daninhas e tolerar estresses abióticos. Logo, foi observado que maiores valores de PC, GE e TF estão associados ao maior CA de plântulas de milho. Além disso, a GE promoveu maior MF e MS de plântulas. Assim, pode-se inferir,

que o estabelecimento inicial de plântulas é definido positivamente pelo potencial de PC, GE e TF e negativamente pelos valores de CE.

As relações positivas de PC, GE e TF com o desenvolvimento das plântulas destacam a importância desses fatores no estágio inicial de crescimento, indicando que ao potencializar essas variáveis pode promover o desenvolvimento inicial saudável e robusto para o cultivo do milho. Conhecer as correlações entre as variáveis pode informar estratégias de manejo agrícola. Por exemplo, em lotes de sementes com maior CE tem-se plântulas com menor MS e MF, embora apresentem elevados valores de PC, GE e TF. Assim as indústrias ou os agricultores podem adaptar práticas de semeadura, como menor profundidade e utilização de promotores de crescimento, como ácido salicílico (Rehman *et al.*, 2015), para maximizar o desenvolvimento inicial das plântulas.

A partir dos resultados da correlação entre variáveis, foram preditos os limites dos valores das variáveis que definem as características morfológicas das plântulas (MF e CA) (Figura 6). A PC foi a principal variável que determinou o CA de plântulas de milho (Figura 6A). Os maiores valores médios de CA (11,90 cm) foram obtidos a partir de sementes com PC superior à 82% (33,30% das observações). Isso indica que sementes com maior velocidade de germinação tendem a originar plântulas com emissão e crescimento mais rápido da parte aérea, associado à maior eficiência na mobilização inicial das reservas. A menor média de CA foi obtida em condições de PC inferior a 82%. Esses resultados são consistentes com os de Silva, Grzybowski e Panobianco (2016), na qual descreveram que as sementes oriundas de lotes com maior PC promoveram o maior desenvolvimento de plântulas de milho.

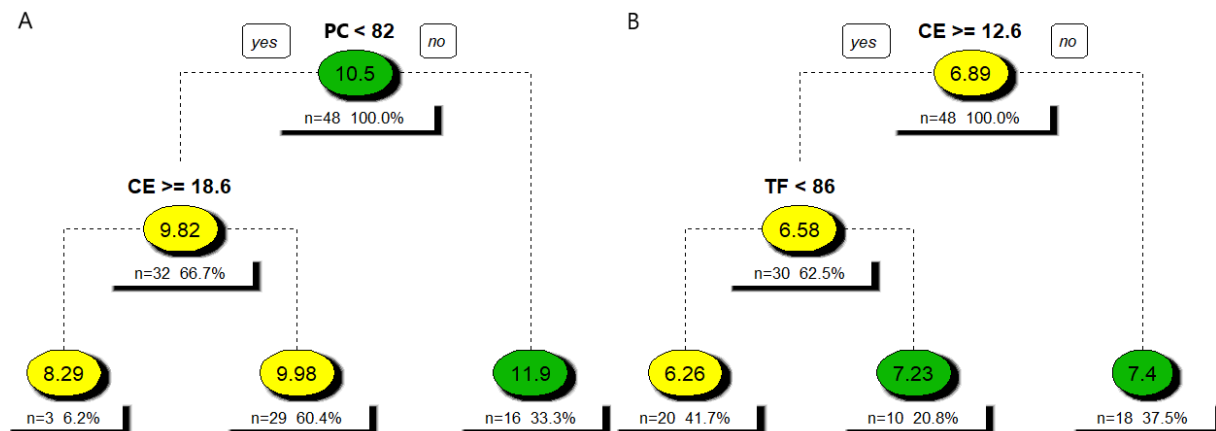


Figura 6. Algoritmo de árvore de regressão para predição do comprimento da parte aérea (CA, cm) (A) e massa fresca da plântula (MF, g) (B) em função da primeira contagem de germinação (PC, %), teste de germinação (GE, %), teste de frio (TF, %) e condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de três variedades de milho cultivadas em quatro datas de semeadura.

A CE foi a principal variável que determinou a MF de plântulas de milho (Figura 6B). Os maiores valores médios de MF (7,40 g) foram obtidos a partir de sementes com CE menor que $12,60 \mu\text{S g}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (37,50% das observações). Valores menores de CE indicam maior integridade das membranas celulares, reduzindo a lixiviação de solutos durante a embebição, o que favorece maior acúmulo inicial de biomassa nas plântulas. O maior desenvolvimento inicial de plântulas está associado ao melhor desempenho agrônomo de plantas de milho (Rehman *et al.*, 2015).

Os resultados deste estudo permitem orientar a produção de sementes de variedades de milho pelos produtores, considerando a necessidade de isolamento temporal e a qualidade fisiológica das sementes. A semeadura em novembro é uma estratégia eficiente a ser utilizada para produção de sementes de variedades de milho, uma vez que permite o isolamento temporal e apresenta condições ambientais favoráveis para maximizar a PC, GE, TF, CA e CR das variedades BRS Planalto e IPR164. Além disso, foi possível identificar os caracteres que apresentam maior importância para prever o desenvolvimento inicial das plântulas. Portanto, a escolha da variedade e da data de semeadura deve considerar não apenas o isolamento temporal, mas também a qualidade fisiológica das sementes produzidas. Em novas pesquisas sugere-se avaliar maior número de variedades de polinização aberta em diferentes anos agrícolas e regiões produtoras, visando validar estratégias de produção de sementes baseadas no isolamento temporal e na qualidade fisiológica das sementes.

4 CONCLUSÃO

As variedades IPR164 e BRS Planalto apresentam maior qualidade fisiológica de sementes em comparação à variedade AL Bandeirante.

A semeadura das variedades de milho em novembro possibilita maior qualidade fisiológica das sementes em comparação às semeaduras nos meses de setembro, outubro e dezembro.

Maiores valores da primeira contagem de germinação, teste de germinação e teste de frio, e menores valores da condutividade elétrica, se associam a plântulas com maior desenvolvimento inicial, ou seja, maiores valores de comprimento da parte aérea, comprimento da radícula, massa fresca da plântula e massa seca da plântula.

A primeira contagem de germinação se associa positivamente com o comprimento da parte aérea da plântula de variedades de milho.

A condutividade elétrica se relaciona negativamente com a massa fresca da plântula de variedades de milho.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BARROS, S. R. B.; DIAS, M. C. L. L.; CICERO, S. M.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Teste de frio**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. cap 5, p.1-15.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análises de sementes – RAS 2025**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Padrões de identidade e qualidade para produção e comercialização de sementes.** Diário Oficial da União: Brasília.

DUBAL, I. T. P.; CARVALHO, I. R.; PIMENTEL, J. R.; TROYJACK, C.; SZARESKEI, V. J.; JAQUES, L. B. A.; ESCALERA, R. A. V.; SANTOS, L. A.; LAUTENCHLEGER, F.; LORO, M. V.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T. Effect of production environments on storage and physiological quality of maize seed. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 8, n.1, p. 1-15, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33158/ASB.r138.v8.2022>

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho: manejo e produtividade.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2009, 181p.

LANA, M. A.; EULENSTEIN, F.; SCHLINDWEIN, S. L.; GRAEF, F.; SIEBER, S.; BITTENCOURT, H. V. H. Yield stability and lower susceptibility to abiotic stresses of improved open-pollinated and hybrid maize cultivars. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 30, p. 1-11, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0442-x>

LORO, M. V.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ORTIZ, V. M.; ANDRETTA, J. A.; REIS, M. B. Adaptabilidade e estabilidade de variedades de polinização aberta de milho em Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 6, p. e4211-e4211, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-051>

LORO, M.; CARGNELUTTI, F. A.; REIS, M.; ANDRETTA, J.; ORTIZ, V.; SCHULLER, B. Desempenho fenotípico de bases genéticas de milho em relação às variáveis meteorológicas. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 10, n. 1, p. 012-022, 2025. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.10.1.2025.6864.012-022>

MACHADO, F. H. B.; DAVID, A.; SANTOS, S. R. D.; FIGUEIREDO, J. C.; SILVA, C. D. D.; NOBRE, D. A. Physiological quality of maize seeds produced under soil water deficit conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 451-456, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n7p451-456>

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria SPA/MAPA nº 173, de 18 de maio de 2023. Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC para a cultura do milho 1ª safra no estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2023/2024.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/rio-grande-do-sul/PORTN173MILHO1SAFRARS.pdf>.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agrícola**, v. 72, p. 363-374, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>

MARTIN, B. C.; FONTANETTI, A.; CONCEIÇÃO, P. M.; LOURENÇO, O.; SILVA NETO, F. J. Potencial fisiológico das sementes de genótipos de milho produzidas em sistema orgânico. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 62-68, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2359-6643.07108>

MUNARINI, A.; NERLING, D.; COELHO, C. M. M.; NODARI, R. O. Maize landraces management to avoid transgenic contamination, decreases yield and seed quality. **Bragantia**, v. 80, p. e3921, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.20200421>

PEREIRA, K. K. G.; DAVID, A. M. S.; SANTOS, S. R.; FIGUEIREDO, J. C.; SILVA, C. D.; NOBRE, D. A. C.; SANTOS, A. R.; CUSTODIO, D. C. S. Water restriction: physiological quality of corn seeds. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 10, p. 20442-20455, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.10-106>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

QUEIROZ, T. N.; VALIGUZSKI, A. L.; SANTOS BRAGA, C.; SOUZA, S. A. M.; ROCHA, A. M. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de variedades tradicionais de milho. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 1, p. 19-30, 2019.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2026. <https://www.R-project.org>

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1989. 21 p. (Special Report n. 48)

REHMAN, H.; IQBAL, H.; BASRA, S. M.; AFZAL, I.; FAROOQ, M.; WAKEEL, A.; NING, W. A. N. G. Seed priming improves early seedling vigor, growth and productivity of spring maize. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 9, p. 1745-1754, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)61000-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)61000-5)

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5ª ed., Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, R. C. D.; GRZYBOWSKI, C. R. D. S.; PANOBIANCO, M. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 491-499, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160059>

TROYJACK, C.; PIMENTEL, J. R.; CARVALHO, I. R.; SZARESKI, V. J.; JUNIOR, G. T.; DUBAL, Í. T. P.; DEMARI, G. H.; JAQUES, L. B. A.; KOCK, F.; DELAGOSTIN, S. M.; LAUTENCHLEGER, F.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T. Multivariate characterization and canonical interrelations for the productive performance of open pollinated corn genotypes. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 2, GMR18123, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr18123>

VIEIRA, R. D. **Teste de condutividade elétrica**. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (ed.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.103-132.