

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA

KAMILA ALVES CAMARGO SANTOS

**USO DE INDUTORES DE GERMINAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE  
SEMENTES DE MILHO PIPOCA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO**

Uberlândia – MG

2022

**KAMILA ALVES CAMARGO SANTOS**

**USO DE INDUTORES DE GERMINAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE  
SEMENTES DE MILHO PIPOCA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Agronomia, da Universidade Federal  
de Uberlândia, para obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão

Uberlândia – MG

2022

**KAMILA ALVES CAMARGO SANTOS**

**USO DE INDUTORES DE GERMINAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE  
SEMENTES DE MILHO PIPOCA SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO**

Banca de avaliação:

---

Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão  
Orientador

---

Dr. Adílio de Sá Júnior  
Membro da Banca

---

Me. Maurício Alves de Oliveira Filho  
Membro da Banca

**UBERLÂNDIA-MG  
2022**

## RESUMO

As condições de alagamento, em consequência da elevada precipitação pluviométrica, resultam em condições de hipoxia que prejudicam o vigor e germinação das sementes das culturas, como as do milho pipoca. O uso de agentes indutores, podem reduzir os efeitos adversos causados pelo alagamento das áreas. Portanto, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetidas ao alagamento e o efeito atenuador do cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) e nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) sobre o estresse por hipoxia. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $4 \times 5$ , ou seja, quatro soluções indutoras de germinação (água deionizada; nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ); cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ); combinação de  $\text{KNO}_3 + \text{CaCl}_2$ ) e cinco períodos de alagamento (0; 24; 48; 72; 96 horas) com 4 repetições com 50 sementes do híbrido de milho pipoca AP 4002. A simulação do alagamento foi realizada com a submersão de 50 sementes em copos de 200 ml contendo 50 ml de água deionizada. O teste de germinação foi conduzido por 7 dias, em rolos de papel germitest umedecidos com um volume 2,5 vezes a massa do papel seco com a respectiva solução. Foram avaliados os parâmetros de primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GERM), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total de plântulas (CTP), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da raiz (CR) e, por fim, a massa seca (MS) das plântulas de milho pipoca. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) no *software* Sisvar. Foi verificada interação significativa entre os fatores de estudo para todos os parâmetros estudados. Constatou-se que a submersão das sementes de milho pipoca por períodos prolongados em água é prejudicial à sua qualidade fisiológica. Dentre os agentes indutores de germinação o nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) e a mistura entre  $\text{KNO}_3$  e cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) possuem efeito atenuador do estresse por hipoxia em períodos de 48 e 72 horas de submersão.

**Palavras-chave:** Agentes indutores. Hipoxia. Vigor. *Zea mays* var. *everta*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Preparo das amostras de sementes (a), separação em copos (b e c) e acondicionamento em câmara de germinação (d).....3
- Figura 2** – Solutos utilizados (a), pesagem dos solutos para preparo das soluções (b), diluição dos solutos (c) e a solução pronta (d). .....4
- Figura 3** – Semeadura em papel de germinação (a), confecção dos rolos (b), ensacamento dos rolos de papel germitest em sacos plásticos (c) e acondicionamento em câmara de germinação (d).....5
- Figura 4** – Monitoramento do processo de germinação dos híbridos de milho AP 4002 (a), plântulas (b), pesagem da massa seca (c) e comprimento (d).....5

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Primeira contagem de germinação (%) de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).7
- Tabela 2.** Porcentagem de germinação (%) de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....8
- Tabela 3.** Índice de velocidade de germinação de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....9
- Tabela 4.** Comprimento total de plântulas (cm plântula<sup>-1</sup>) de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....10
- Tabela 5.** Comprimento da parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....11
- Tabela 6.** Comprimento da raiz (cm plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....12
- Tabela 7.** Massa seca (g) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão em Uberlândia (MG).....13

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	4
<b>2.1 Caracterização inicial do material e do local de estudo</b> .....	4
<b>2.2 Delineamento experimental</b> .....	4
<b>2.3 Simulação do alagamento das sementes</b> .....	4
<b>2.4 Preparo das soluções indutoras de germinação</b> .....	5
<b>2.5 Condução do teste de germinação</b> .....	6
<b>2.6 Parâmetros avaliados</b> .....	6
<b>2.7 Análise estatística</b> .....	8
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	8
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	15
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	15

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o mercado de milhos especiais tem ganhado notoriedade, dentre eles o milho-pipoca [*Zea mays* L. var. *evarta* (Sturtev) L.H. Bailey], o qual é comercializado em valores acima do milho comum (FREIRE et al., 2020) e cuja demanda tem aumentado, estimulando a expansão da área de cultivo (VIEIRA et al., 2017). A produção nacional passou de 80 mil toneladas em 2011 para 300 mil toneladas em 2019, um aumento de 275%, com o Brasil ocupando o segundo lugar no cenário mundial (BLECHER, 2019; PARAGINSKI et al., 2016; MIRANDA et al., 2011).

Entretanto, apesar da importância socioeconômica que o milho pipoca desempenha, a disponibilidade de híbridos no mercado brasileiro é baixa, o que leva à importação de sementes (CATÃO et al., 2020) e adaptação desses materiais as condições climáticas do país (CATÃO; CAIXETA, 2017). Dessa forma, é necessário que se realizem estudos quanto a germinação e vigor das sementes de milho pipoca, de forma a se gerar informações sobre o potencial fisiológico das sementes sob dadas condições, de modo a se auxiliar na tomada de decisões na produção (ROCHA et al., 2018).

A germinação pode ser definida como a sucessão de eventos de reações metabólicas e bioquímicas da semente que se encontrava em repouso fisiológico, em estado inerte, quiescente e de baixo teor de água (MARCOS-FILHO, 2015). Segundo Ferreira e Borghetti (2004) o início do processo germinativo consiste na embebição hídrica das sementes, reduzindo-se gradativamente até ficarem túrgidas, se preparando para a ativação metabólica, esse período pode ser rápido ou lento, dependendo da temperatura. Dentre os fatores que se destacam como limitantes à germinação são a disponibilidade hídrica e de oxigênio (MARCOS-FILHO, 2015).

Não é apenas o déficit hídrico, mas também o excesso de precipitação pluviométrica que causam redução na germinação e vigor das sementes, visto que o alagamento do solo resulta em uma rápida embebição das sementes, causando injúrias ao tegumento, assim como o estresse por hipoxia que induz um desvio no metabolismo aeróbico para o fermentativo (DANTAS, 2002). Assim, a semente já danificada tem menor quantidade de energia disponível para o processo germinativo, refletindo em menor vigor (RICHARD et al., 1991).

A germinação e emergência de plântulas é reduzida ou mesmo impedida, tanto quando é realizada a submersão de sementes em água, em condições laboratoriais, e quando ocorre a saturação do solo por água, em condições de campo, o que prejudica drasticamente o estabelecimento do stand (GAZOLA et al., 2014). O que demonstra o quão fundamental é o



oxigênio e o suprimento adequado de água para a germinação das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Uma forma de contornar o estresse causado pelo excesso de água e baixa disponibilidade de oxigênio pode ser que seja pela utilização de soluções indutoras de germinação. Agentes indutores como o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) e nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ) são empregados com sucesso em vários estudos com sementes (BARROS; ROSSETO, 2009; CARDOSO et al., 2014; DANTAS, 2002). Estes sais atuam como agentes de controle da taxa de velocidade de embebição das sementes devido ao efeito indutor proporcionado por eles sobre as sementes (DANTAS, 2002). Nesse sentido, objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho pipoca submetidas ao alagamento e ao efeito atenuador do  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KNO}_3$  sobre o estresse por hipoxia.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização inicial do material e do local de estudo**

O estudo foi realizado no Laboratório de Sementes (LASEM), *Campus* Umuarama, localizado na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no município de Uberlândia (MG), pelo período de abril a julho de 2022. Foram utilizadas sementes híbridas de milho pipoca AP 4002 produzidas na safra de 2021/22. As sementes estavam com o teor de água inicial de 9,5%. As percentagens de germinação e emergência foram de 97% e 99% respectivamente.

### **2.2 Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 5, sendo o primeiro fator composto de quatro soluções indutoras de germinação (água deionizada; nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ); cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ); combinação de  $\text{KNO}_3$  +  $\text{CaCl}_2$ ) e o segundo por cinco períodos de alagamento (0; 24; 48; 72; 96 horas) com 4 repetições, totalizando 20 tratamentos com 80 parcelas experimentais.

### **2.3 Simulação do alagamento das sementes**

O método de submersão das sementes em água foi adaptado do estudo realizado por Dantas et al. (2000), cuja viabilidade das sementes foi avaliada pelo teste de germinação. Foram empregados copos descartáveis com capacidade de 200 ml contendo 50 ml de água deionizada. Foram colocadas 50 sementes em cada copo descartável e posteriormente acondicionados em

germinador tipo Mangelsdorf a uma temperatura de 25°C, pelo período de submersão pertinente para cada tratamento (Fig. 1).

**Figura 1** – Preparo das amostras de sementes (a), separação em copos (b e c) e acondicionamento em câmara de germinação (d).



Fonte: Santos (2022).

#### 2.4 Preparo das soluções indutoras de germinação

As soluções foram preparadas utilizando dois agentes indutores de germinação:  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KNO}_3$ . A solução de  $\text{CaCl}_2$  foi preparada numa concentração de 0,375% conforme adotado por Dantas (2002). A solução de  $\text{KNO}_3$  foi preparada em uma concentração de 0,2%, conforme preconizado pelas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). A última solução, foi preparada pela combinação de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{KNO}_3$ , resultando em uma solução com 0,375% de  $\text{CaCl}_2$  + 0,2% de  $\text{KNO}_3$  (Fig. 2). A outra solução para compor os tratamentos foi composta por água deionizada (testemunha).

**Figura 2** – Solutos utilizados (a), pesagem dos solutos para preparo das soluções (b), diluição dos solutos (c) e a solução pronta (d).



Fonte: Santos (2022).

## 2.5 Condução do teste de germinação

A semeadura das sementes de milho de pipoca AP 4002 foi realizada com o auxílio de tabuleiro semeador manual, em que se colocaram 50 sementes sobre uma folha de papel para germinação, sendo cobertas por uma segunda folha. O papel foi umedecido com um volume de 2,5 vezes a massa do substrato seco, utilizando a água como testemunha e cada solução indutora de germinação. Posteriormente, rolos de papel contendo as sementes foram confeccionados, sendo acondicionados em germinador modelo Mangelsdorf, por 7 dias, a uma temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas (Fig. 3). Os rolos foram mantidos em sacos plásticos durante todo o teste, para evitar a evaporação de água e a mudança das soluções utilizadas. A germinação foi monitorada diariamente, sendo as contagens de plântulas normais realizadas no quarto e sétimo dia após a semeadura (BRASIL, 2009).

**Figura 3** – Semeadura em papel de germinação (a), confecção dos rolos (b), ensacamento dos rolos de papel germitest em sacos plásticos (c) e acondicionamento em câmara de germinação (d).

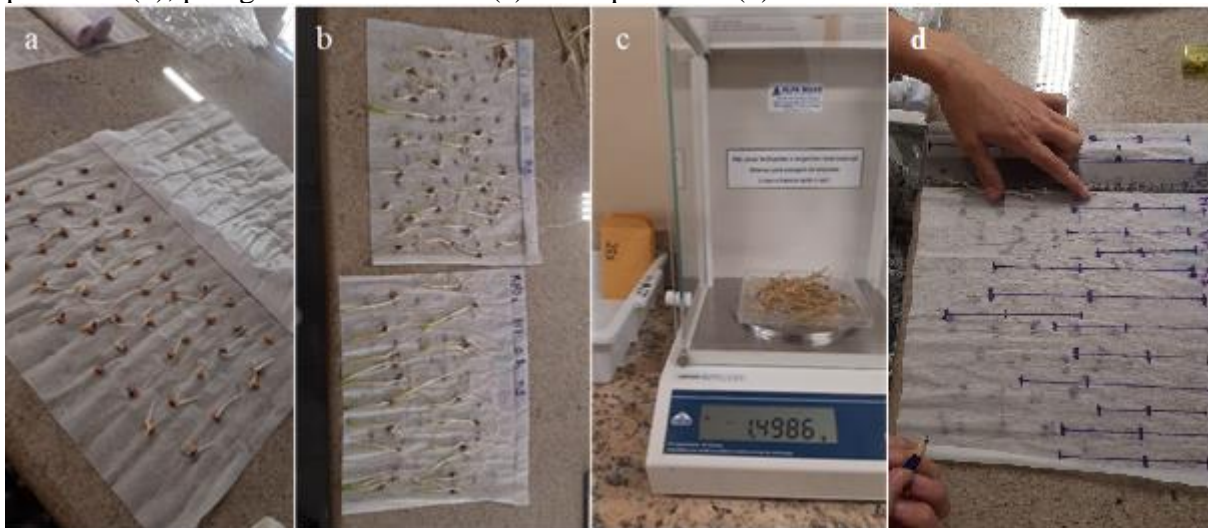


Fonte: Santos (2022).

## 2.6 Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados no experimento foram: primeira contagem de germinação (PCG; Fig. 4<sup>a</sup>; BRASIL, 2009), germinação (GERM; Fig. 4b; BRASIL, 2009), índice de velocidade de germinação (IVG; MAGUIRE, 1962), massa seca de plântulas (MS; Fig. 4c) e comprimentos da parte aérea (CPA; Fig. 4d), da raiz (CR; Fig. 4d) e total de plântula (CTP; Fig. 4d).

**Figura 4** – Monitoramento do processo de germinação dos híbridos de milho AP 4002 (a), plântulas (b), pesagem da massa seca (c) e comprimento (d).



Fonte: Santos (2022).

A primeira contagem de germinação foi obtida com a contagem de plântulas normais no quarto dia após a semeadura, conforme critérios estabelecidos pela Regra para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). Enquanto a germinação foi determinada pela de plântulas normais, conforme critérios estabelecidos pela RAS (BRASIL, 2009), até o sétimo dia. Os resultados foram expressos em porcentagem (%). Foi utilizada a Equação 1 para obtenção destes parâmetros:

$$PCG \text{ ou } GERM (\%) = \frac{A}{N} \times 100 \text{ (Eq. 1)}$$

Em que:

PCG é o percentual de plântulas normais da primeira contagem de germinação, em %;

GERM é o percentual de plântulas normais, em %;

A é o número de sementes germinadas;

N é o número total de sementes colocadas para germinar, isto é, 50 sementes.

O IVG foi estimado a partir dos dados de germinação (porcentagem de plântulas normais) obtidos diariamente do 1º ao 7º dia, e posteriormente calculado conforme equação proposta por MAGUIRE (1962), utilizando a Equação 2:

$$IVG = \sum \frac{n_i}{t_i} \text{ (Eq. 2)}$$

Em que:

IVG é o índice de velocidade de germinação, adimensional;

ni é o número de sementes germinadas por dia;

ti é o tempo de incubação em dias.

A CPA foi medida do colo ao ápice foliar da plântula normal, enquanto o CR foi medido do colo da plântula à ponta da raiz, e o comprimento total envolveu o ápice foliar ao radicular. As medições foram feitas com o auxílio de uma régua milimetrada (cm).

Em seguida, as plântulas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar previamente regulada a 65°C pelo período de 72 h, sendo após este período pesadas. Ao término da secagem, os materiais foram resfriados em dessecador e pesados em balança analítica com precisão de 0,001 g (DANTAS, 2002).

## 2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos fatores de estudo foram comparadas pelo teste de comparação múltipla de Scott-Knott (1974) a 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a PCG de sementes de milho pipoca, foi verificado a interação entre os fatores estudados, em que o tempo de 0 horas não diferiu quanto às soluções estudadas. No tempo de exposição de 24 horas, a água foi que promoveu melhores respostas seguidas da combinação de soluções ( $\text{KNO}_3 + \text{CaCl}_2$ ). Em 48, 72 e 96 horas se comportaram de forma semelhante e não diferiram entre si. Independente da solução, a partir das 24 horas, houve decréscimo nesta variável. A partir de 48 horas o vigor das sementes diminuiu ainda mais, se mantendo baixos a partir desse ponto (Tabela 1).

**Tabela 1.** Primeira contagem de germinação (%) de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	87,0 Aa	66,0 Ab	5,0 Ac	7,0 Ac	4,0 Ac
$\text{KNO}_3$	83,0 Aa	49,0 Cb	16,0 Ac	14,0 Ac	11,0 Ac
$\text{CaCl}_2$	82,0 Aa	46,0 Cb	6,0 Ac	11,0 Ac	8,0 Ac
$\text{KNO}_3 + \text{CaCl}_2$	81,0 Aa	56,0 Bb	10,0 Ac	15,0 Ac	7,0 Ac
CV (%)			17,86		

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Os resultados estão de acordo com Dantas et al. (2000), que observaram que em milho a germinação de sementes sofreu maior inibição quanto maior foi o período de alagamento. Ainda de acordo com os mesmos autores, o teste de alagamento pode ser uma alternativa viável para avaliação do vigor em sementes de espécie de milho. O KNO<sub>3</sub> é relatado como um ótimo agente indutor para germinação de sementes de diversas espécies (BRASIL, 2009), principalmente em sementes de baixo vigor (AMARAL et al., 2020; ATAÍDE et al., 2015; MENEGAZZO et al., 2020). Segundo Roberts (1974), durante a redução do nitrato a nitrito e do nitrito a amônia, haveria a liberação da coenzima nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato, na forma oxidada (NADP<sup>+</sup>). A disponibilidade dessa coenzima estimularia a respiração das sementes, pela via pentose-fosfato, a qual, segundo o autor, é a mais importante no início da germinação. O CaCl<sub>2</sub>, por sua vez, tem por papel relatado na literatura diminuir a absorção de água, uma vez que decresce o potencial osmótico do substrato, prolongando a embebição das sementes (CHAVES et al., 2009; STEFANELLO et al., 2018).

Na variável GERM, o tempo de 0 horas não diferiu entre as soluções, sendo que para 24 horas todas as soluções afetaram negativamente, com exceção da água. Nos demais tempos de embebição, foi constatado que o KNO<sub>3</sub> favorece o desempenho fisiológico. Ao pesquisar o comportamento das soluções, foi observado que a partir de 24 horas a germinação decresceu, ocorrendo esse comportamento nas demais soluções. No maior tempo de submersão (96 horas) e independente da solução utilizada, ocorreram os maiores declínios da germinação (Tabela 2).

**Tabela 2.** Porcentagem de germinação (%) de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	88,0 Aa	67,0 Ab	7,0 Bc	14,0 Bc	6,0 Ac
KNO <sub>3</sub>	91,0 Aa	56,0 Bb	18,0 Ac	23,0 Ac	13,0 Ac
CaCl <sub>2</sub>	83,0 Aa	46,0 Cb	6,0 Bc	11,0 Bc	8,0 Ac
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	86,0 Aa	57,0 Bb	11,0 Bd	19,0 Ac	7,0 Ad
CV (%)			17,50		

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Ao avaliarem os efeitos de períodos de hipoxia no processo germinativo de sementes de diferentes tipos de cultivares de milho tradicional, Gazola, Zucareli e Camargo (2014) verificaram que a GERM (96,6% em 4h e 80,2% em 96h) foi reduzida e o percentual de plântulas anormais (1,6% em 4h e 8,6% em 96h) aumentou em função do período de submersão.



Em sementes de milho tradicional, Corrêa et al. (2013), verificaram que dentre os períodos (0; 24; 48 e 72h) de submersão avaliados, a GERM reduziu a partir de 24 h de submersão.

A submersão de sementes resulta em redução significativa da germinação e emergência de plântulas, prejudicando o stand. Assim, em vista de aprimorar as metodologias para avaliar sementes nestas condições diferentes estudos relataram que o teste de alagamento de sementes realizado em condições laboratoriais está diretamente correlacionado com a emergência de plântulas em condições de campo, o que torna este um ótimo teste de seleção rápido e de baixo custo (GRZYBOWSKI; VIEIRA; PANOBIANCO, 2015; KHOSRAVI; ANDERSON, 1990; THEODORO et al., 2018). De acordo com Grzybowski, Vieira e Panobianco (2015) o teste de submersão em água por 48 horas a 25 °C é promissor para avaliação do vigor de sementes de milho tradicional, com a ausência de relato na literatura para o milho pipoca.

Em seu estudo, Custódio et al. (2009) avaliaram os efeitos do alagamento no vigor das cultivares de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) IAPAR 65 e EMGOPA 201, os quais foram submetidos a submersão por períodos de 0, 4, 8,12 e 16 horas a 25°C. Os autores concluíram que o período de 4 (quatro) horas ou mais, causou redução da germinação. Em sementes de soja (*Glycine max* L.) ocorre redução significativa na germinação a partir de 48 horas de embebição em água (WUEBKER et al., 2001).

O IVG é uma variável utilizada como parâmetro de vigor e os comportamentos das soluções se mostraram diferentes como é apresentado na Tabela 3. Para o tempo 0 e 24 horas somente a água foi eficaz. Quando as sementes foram submersas a partir de 48 horas, somente o KNO<sub>3</sub> se mostrou superior.

**Tabela 3.** Índice de velocidade de germinação de sementes de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	9,59 Aa	7,83 Ab	0,66 Bc	0,78 Ac	0,36 Ac
KNO <sub>3</sub>	8,70 Ba	5,38 Cb	1,66 Ac	1,55 Ac	0,99 Ac
CaCl <sub>2</sub>	8,43 Ba	4,72 Cb	0,49 Bc	0,98 Ac	0,70 Ac
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	7,42 Ca	6,21 Bb	1,07 Bc	1,46 Ac	0,56 Ac
CV (%)	16,80				

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Ao estudar as soluções foi validado que no tempo de 0 horas, nenhuma delas interferiu no vigor das sementes pelo IVG. Em todas as soluções, a partir de 24 horas ocorreram o

decréscimo na velocidade de germinação, merecendo atenção que a partir de 48 horas todas as velocidades se comportam de forma indesejada e semelhante independente da solução utilizada.

O vigor das sementes de milho pipoca foi reduzido de forma significativa pela simulação de alagamento, uma das hipóteses para isto, é que a submersão causou a entrada de água em grandes quantidades e de forma rápida no interior das sementes, por consequente diferença de potencial hídrico entre as mesmas e o meio o que acarretou dano por embebição. Além disso, resultou em condições de anoxia (ausência ou diminuição de oxigênio), o que induziu as sementes ao metabolismo fermentativo (LIMA et al., 2004; COSTA et al., 2008ab).

O oxigênio é essencial para o processo de germinação, visto que participa da degradação das substâncias de reserva da semente para o fornecimento de nutrientes e energia para o desenvolvimento do eixo embrionário (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; POPINIGIS, 1985). A semente com algum tipo de injúria tem menor energia disponível para a germinação, a qual será afetada negativamente pelo processo de submersão em água, resultando assim em baixo vigor (CUSTÓDIO et al., 2009).

A aplicação de agentes indutores (sais inorgânicos) na germinação de sementes podem modificar a atividade de enzimas nas sementes durante a germinação (RHAMAN et al., 2020). Fato constatado no estudo de Jyotsna e Srivastava (1998) mostraram que sementes de feijão bôer tratadas com  $\text{KNO}_3$  ou  $\text{CaCl}_2$  geralmente exibiam proteínas aumentadas, aminoácidos livres e açúcares solúveis durante a germinação sob estresse salino. Da mesma forma, o condicionamento de sementes de milheto (*Pennisetum americanum*) e sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) com solução de  $\text{CaCl}_2$  ou  $\text{KNO}_3$  aumentou a atividade da amilase total,  $\alpha$ -amilase e proteases sob estresse salino (KADIRI; HUSSAINI, 1999). Sementes de trigo preparadas com  $\text{CaCl}_2$  reduziram o estresse de salinidade aumentando a atividade da amilase (ROY, 1999). Todas essas espécies tiveram a germinabilidade melhorada em condições estressantes, o que indica a viabilidade de uso destes como agentes indutores em condições de alagamento.

Ao se avaliar o CTP de milho pipoca, foi observado que no período de 0 horas de submersão que o crescimento das plântulas foi reduzido pela aplicação da mistura dos agentes indutores ( $\text{KNO}_3 + \text{CaCl}_2$ ). Em contrapartida, em 24 horas de submersão foram os agentes indutores  $\text{KNO}_3$  e  $\text{CaCl}_2$  que reduziram significativamente o crescimento das plântulas. Em 48 e 96 horas de submersão, o agente indutor  $\text{KNO}_3$  se destacou, conferindo maior CTP, enquanto em 72 horas foram o  $\text{KNO}_3$  e a combinação dos agentes que proporcionaram maior CTP. Em relação ao desdobramento dos agentes indutores, o  $\text{KNO}_3$  se destacou entre os agentes por



conferir maiores valores de CTP, ocorrendo declínio a partir de 72 horas de submersão (Tabela 4).

**Tabela 4.** Comprimento total de plântulas (cm plântula<sup>-1</sup>) de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	11,73 Ab	19,54 Aa	3,18 Cc	4,68 Bc	2,10 Bc
KNO <sub>3</sub>	12,35 Aa	12,26 Ca	11,28 Aa	7,63 Ab	7,17 Ab
CaCl <sub>2</sub>	10,40 Aa	12,35 Ca	1,36 Cb	3,76 Bb	3,06 Bb
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	5,24 Bc	16,39 Ba	5,75 Bc	8,33 Ab	2,61 Bd
CV (%)	84,95				

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Em relação ao CPA de plântulas de milho pipoca, foi observado que no tempo de 0 horas de submersão que o crescimento da parte aérea foi beneficiada pela aplicação da água e do agente indutor KNO<sub>3</sub>. Em 24 horas, foi observado que a mistura de agentes conferiu maior CPA. Em 48 e 96 horas de submersão, o agente indutor KNO<sub>3</sub> se destacou, conferindo maior CPA, enquanto em 72 horas foram o KNO<sub>3</sub> e a combinação dos agentes que proporcionaram maior CPA. Em relação ao desdobramento dos agentes indutores (48h, 72h e 96h), o KNO<sub>3</sub> se destacou entre os agentes por conferir maiores valores de CPA em função dos tempos de submersão quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Comprimento da parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	6,00 Ab	9,83 Aa	1,46 Cc	1,95 Bc	0,86 Bc
KNO <sub>3</sub>	6,30 Ab	7,26 Ba	5,73 Ab	4,32 Ac	3,58 Ac
CaCl <sub>2</sub>	4,64 Bb	6,30 Ba	0,74 Cc	1,93 Bc	1,55 Bc
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	2,70 Cd	9,05 Aa	3,24 Bc	4,44 Ab	1,60 Bd
CV (%)	86,15				

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Ao avaliarem a submersão (0, 2, 4, 6, 8 e 24 horas) de sementes de feijão do grupo preto e seu desenvolvimento inicial, Ogawa et al. (2016) verificaram que a partir de 2 horas houve redução na altura de plântulas das cultivares Soberano e a FTS41, ocorrência similar ao do

presente estudo em relação ao CPA. Também, Custódio et al. (2002) avaliando a submersão de sementes de feijão (0, 8, 16, 24, 32, 40 e 48 horas a 25°C) observaram uma crescente inibição ao desenvolvimento do hipocótilo com o aumento do período de submersão.

Na variável de CR de plântulas de milho pipoca, foi observado que no tempo de 0 horas de submersão que o crescimento das raízes foi afetado negativamente pela aplicação da combinação de agentes indutores. Em 24 horas, foi observado que a testemunha (água) teve maior CR. Em 48 e 96 horas de submersão, o agente indutor KNO<sub>3</sub> se destacou, conferindo maior CR, enquanto em 72 horas foram o KNO<sub>3</sub> e a combinação dos agentes que proporcionaram maior CR. Em relação ao desdobramento dos agentes indutores, o KNO<sub>3</sub> se destacou entre os agentes por conferir maiores valores de CPA em função dos tempos de submersão quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 6).

**Tabela 6.** Comprimento da raiz (cm plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	5,81 Ab	9,71 Aa	1,72 Bd	2,73 Bc	1,24 Bd
KNO <sub>3</sub>	6,07 Aa	5,00 Ca	5,56 Aa	3,30 Ab	3,59 Ab
CaCl <sub>2</sub>	5,76 Aa	6,05 Ca	0,62 Cb	1,83 Bb	1,51 Bb
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	2,57 Bc	7,33 Ba	2,47 Bc	3,89 Ab	1,01 Bd
CV (%)	89,56				

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

A aplicação exógena nas sementes de agentes indutores, afeta o desenvolvimento da plântula. No caso do CaCl<sub>2</sub>, que não afetou positivamente as plântulas de milho pipoca, em outra espécie ele foi responsável por fornecer o Ca<sup>2+</sup> que aumentou a resistência à estresses abióticos (SNEHA et al., 2022), gerou uma maior atividade no processo metabólico das sementes (BETHALA et al., 2018) e afetou positivamente os parâmetros relacionados ao rendimento biológico em relação às sementes não condicionadas com o elemento (MAHBOOB et al., 2015).

Pallardy (2008) afirmou que o agente indutor CaCl<sub>2</sub> é tido como o um dos agentes que provocam maior danos no desenvolvimento das plantas, visto que o Ca<sup>2+</sup> é um mensageiro secundário da transdução de sinais, sendo que pequenas variações na sua concentração acabam alterando as atividades das enzimas ligadas a este nutriente. Por sua vez, o agente indutor KNO<sub>3</sub>

já foi relatado como propiciador do reparo no sistema de membranas em sementes de *Brachiaria brizantha* (Cardoso et al., 2014)

As médias provenientes das MS de plântulas inteiras são apresentadas na Tabela 7. Foi averiguado que são necessários os estudos dos fatores em conjunto. Sendo que no período de submersão de 0 horas, o comportamento em gramas foi similar, diferindo somente na combinação KNO<sub>3</sub> + CaCl<sub>2</sub>. Enquanto em 24 horas foi observado que somente CaCl<sub>2</sub> diferiu. Em 48, 72 e 96 horas somente o KNO<sub>3</sub> respondeu positivamente. No entanto, salienta-se que as massas diminuem nesses tempos tendo menor MS com 96 horas (Tabela 7).

**Tabela 7.** Massa seca (g) de plântulas de híbrido de milho pipoca AP 4002 submetidas a diferentes agentes indutores e períodos de submersão.

Agente indutor	Períodos de Submersão (horas)				
	0	24	48	72	96
Água	1,42 Aa <sup>1</sup>	1,40 Aa	0,16 Bb	0,25 Bb	0,14 Ab
KNO <sub>3</sub>	1,54 Aa	1,21 Ab	0,44 Ac	0,45 Ac	0,28 Ac
CaCl <sub>2</sub>	1,27 Aa	0,79 Bb	0,10 Bc	0,21 Bc	0,17 Ac
KNO <sub>3</sub> + CaCl <sub>2</sub>	0,69 Bb	1,39 Aa	0,29 Ac	0,42 Ac	0,14 Ac
CV (%)	23,85				

Médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas na coluna não diferem entre si, a uma probabilidade de 5% de erro pelo teste de Scott-Knott (1974).

Custódio et al. (2002) observaram que as médias dos pesos secos da parte aérea de feijoeiro diferiram significativamente nos diferentes períodos de embebição, apresentando redução em todos os períodos. No estudo de Ogawa et al. (2016) a submersão de sementes da cultivar Soberano ocasionou redução no peso de matéria seca das plântulas.

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o aumento das condições de hipoxia acarretam mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons necessários ao seu crescimento e reduz a atividade de enzimas responsáveis pela respiração e fotossíntese. Desta forma, a obtenção de energia para o crescimento e diferenciação das células em tecidos é restringida, limitando o alongamento do eixo embrionário. Além disso, o efeito prejudicial ocorre devido ao estresse osmótico e à toxicidade, conseqüentemente, a interação de efeitos iônicos e osmóticos específicos conduzem a uma queda na taxa de germinação das sementes (KAZEMI; ESKANDARI, 2011).

## 4 CONCLUSÃO

A submersão das sementes de milho pipoca por períodos prolongados em água é prejudicial à sua qualidade fisiológica. Dentre os agentes indutores de germinação o nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e a mistura entre KNO<sub>3</sub> e cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) possuem efeito atenuador do estresse por hipoxia em períodos de 48 e 72 horas de submersão.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, R. S. S. et al. **Germinação de sementes de *Eleusine indica* e *E. tristachya*: fotoblastia**. Sete Lagoas: Embrapa, 2020. 11 p. (CIRCULAR TÉCNICA 269).

ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; FLORES, A. V.; CASTRO, R. V. O. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 38, v. 3, p. 438-444, 2015.

BARROS, C. S.; ROSSETTO, C. A. V. Condicionamento fisiológico de aquênios de girassol. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1667- 1675, 2009.

BETHALA, K. et al. Effect of seed priming with inorganics on growth, yield and physiological parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought. **The Pharma Innovation Journal**, v. 7, n. 8, p. 411-414, 2018.

BLECHER, B. **Brasil já é segundo maior produtor de milho pipoca do mundo**. [Entrevista disponibilizada em 21 de maio de 2019, Internet]. CBN Agronegócios, 2019. Disponível em: <https://glo.bo/2WuNHIB>. Acesso em: 21 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CARDOSO, E. D. et al. Desempenho fisiológico e superação de dormência em sementes de *Brachiaria brizantha* submetidas a tratamento químico e envelhecimento artificial. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR, v. 35, n. 1, p. 21-38, 2014.

CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. S.; NOGUEIRA, D. C.; VALÉRIO FILHO, W. V. Desempenho fisiológico e superação de dormência em sementes de *Brachiaria brizantha* submetidas a tratamento químico e envelhecimento artificial. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 21-38, 2014.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p.

CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F.; LOPES, A. M.; NERY-SILVA, F. A.; SÁ JÚNIOR, A. Antioxidant activity and physiological performance of popcorn seed after saline stress and analysis of seedling images. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 44, e005020, 2020. DOI:

10.1590/1413-7054202044005020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044005020>. Acesso em: 20 jul. 2022.

CATÃO, H. C.R.M.; CAIXETA, F. Physiological, isozyme changes and image analysis of popcorn seeds submitted to low temperatures. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.000-000, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 10º levantamento da safra 2021/22**. 9. ed. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. 88 p.

COSTA, C. J. et al. Expressão de isoenzimas após a pré-hidratação de sementes de ervilha. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 130-138, 2008a.

COSTA, C. J. et al. Pré-hidratação de sementes de ervilha e sua interferência na avaliação do potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 198-207, 2008b.

CUSTÓDIO, C. C. et al. Water submersion of bean seeds in the vigor evaluation, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.3, p.261-266, 2009.

CUSTÓDIO, C.C.et al. Efeito da submersão em água de sementes de feijão na germinação e no vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p.49-54, 2002.

DANTAS, B. F. **Atividade amilolítica e qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.) submetidas ao alagamento**. 2002. 75 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

DANTAS, B.F. et al. Teste de alagamento para avaliação do vigor em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 2, p. 288-292, 2000.

FERREIRA, A, G; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p 149-162.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREIRE, A. I.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, A. M.; CRUZ, R. R. P.; SOUZA, F. B. M.; CHAGAS, W. F. T.; SOUZA, J. C. Amylose content and micromorphology of popcorn progenies with different popping expansion volumes. **Ciência Rural**, v. 50, n. 2, e20180962, 2020. DOI: 10.1590/0103-8478cr20180962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20180962>. Acesso em 19 jul. 2022.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; CAMARGO, M. C. Comportamento Germinativo de sementes de cultivares de milho sob condições de hipoxia. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 224-232, 2014.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; CAMARGO, M. C. Comportamento germinativo de sementes de cultivares de milho sob condições de hipoxia. **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.3, p.224–232, 2014.

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015.

JYOTSNA, V.; SRIVASTAVA, A. K. Physiological basis of salt stress resistance in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.)-II. Pre-sowing seed soaking treatment in regulating early seedling metabolism during seed germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.25, p. 89-94, 1998.

KADIRI, M.; HUSSAINI, M. A. Effect of hardening pretreatments on vegetative growth, enzyme activities and yield of *Pennisetum americanum* and *Sorghum bicolor* L. **Global Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 5, p. 179-183 1999.

KHOSRAVI, G. R.; ANDERSEN, I. C. Pre-emergence flooding and nitrogen atmosphere effects on germinating corn inbreds. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.2, p.495-499, 1990.

LIMA, S. M. P. et al. Efeitos de tempos e temperaturas de condicionamento sobre a qualidade fisiológica de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob condições ideais de estresse térmico. **Ciência Agrotécnica**, v. 28, n. 3, p. 505-14, 2004.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n.1, p.176-177, 1962.

MAHBOOB, W. et al. Seed priming improves the performance of late sown spring maize (*Zea mays*) through better crop stand and physiological attributes. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.17, n.3, 2015.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MENEGAZZO, R. F. et al. Influência da temperatura na superação de dormência e germinação de *Brachiaria*. **Research, Society and Development**, v. 9, n.12, e43891211329, 2020.

MIRANDA, D. S; SILVA, R. R; TANAMATI, A. A. C; CESTARI, L. A; MADRONA, G. S; SCAPIM, M. R; Avaliação da qualidade do milho-pipoca, **Revista Tecnológica**, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 13-20, 2011. DOI: 10.4025/revtecnol.v0i0.14950. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v0i0.14950>. Acesso em: 18 jul. 2022.

OGAWA, N. S. et al. Submersão de sementes de feijão do grupo preto e desenvolvimento inicial de plântulas. **Nucleus**, v. 13, n.2, p. 283-290, 2016.

PALLARDY, D. S. G. **Molecules physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 2008. 377 p.

PARAGINSKI, R. T.; SOUZA, N. L; ALVES, G. H.; ZIEGLER, V.; OLIVEIRA, M.; ELIAS. Avaliação sensorial e nutricional de MC de grãos de pipoca com pericarpos amarelos, brancos e vermelhos expandidos de maneiras diferentes. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 383–391, 2016.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília. 1985. 289p.

RHAMAN, M. S. et al. Seed Priming Methods: Application in Field Crops and Future Perspectives. **Asian Journal of Research in Crop Science**, v. 5, n. 2, p.8-19, 2020.

RICHARD, B.; RIVOAL, J.; SPITERI, A.; PRADET, A. Anaerobic stress induces the transcription and translation of sucrose synthase in rice. **Plant Physiology**, v.95, p.669-74, 1991.

ROBERTS, E. H. **Viability of seeds**. London: Chapman-Hall, 1974. p.14-58.

ROCHA, C. S.; CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F.; KAVAN, H. K.; CLAUDINO, T. M.; CAIXETA, D. G. Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 4, p. 428-434, 2018. DOI: 10.1590/2317-1545v40n4191101. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n4191101>. Acesso em: 20 de jul. 2022.

ROY, N. K.; SRIVASTAVA, A. K. Effect of presoaking seed treatment on germination and amylase activity of wheat (*Triticum aestivum*) under salt stress conditions. **Barley and Wheat Newsletter**, 1999.

SILVA, É. G.; ESPÍNDOLA, J. S.; MEERT, L.; ARAÚJO, T. K. A. Condicionamento fisiológico de sementes de beterraba para produção de baby leafs. **Campo Digital**, v. 15, n. 1, p. 18-25, 2020.

SNEHA, G. et al. Influence of botanicals and chemical seed treatments on growth and yield attributing traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). cv. EC 507742. **Journal of Crop and Weed**, v. 18, n. 1, p. 215-219, 2022.

STEFANELLO, R.; GOERGEN, P. C. H.; NEVES, L. A. S. Resposta fisiológica de sementes de alcachofra ao estresse salino. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.27, n.4, p.463-470, 2018.

VIEIRA, R. A.; ROCHA, R.; SCAPIM, C. A.; AMARAL JÚNIOR, A. T. Recurrent selection of popcorn composites UEM-CO1 and UEM-CO2 based on selection indices. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 3, p. 266- 272, 2017. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n3n40. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n3n40>. Acesso em 19 jul. 2022.

WUEBKER, E. F.; MULLEN, R. E.; KOEHLER, K. Flooding and temperature effects on soybean germination. **Crop Science**, Madison, v.41, n.1, p.1857 – 1861, 2001.