

**CAMILA SEGALLA PRAZERES**

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DURANTE A GERMINAÇÃO E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientadora: Cileide Maria Medeiros Coelho

**LAGES, SC  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Segalla Prazeres, Camila

Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a  
germinação e estabelecimento de plântulas de milho  
sob déficit hídrico / Camila Segalla Prazeres. -  
Lages, 2018.

90 p.

Orientadora: Cileide Maria Medeiros Coelho  
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,  
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages,  
2018.

1. Zea mays L. 2. Vigor. 3. Potenciais osmóticos.  
4. Enzimas antioxidantes. I. Maria Medeiros Coelho,  
Cileide. II. Universidade do Estado de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação. III. Título.

CAMILA SEGALLA PRAZERES

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DURANTE A GERMINAÇÃO E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina.


Banca examinadora:


Orientadora:

  
Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

  
Dr. Volmir Kist  
Instituto Federal Catarinense

  
Dr. Márcio Zilio  
Universidade do Oeste de Santa Catarina.

  
Dr. Virgílio Gavicho Uarrota  
Universidade do Estado de Santa Catarina

  
Dra. Daniele Nerling  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 07 de dezembro de 2017



Dedico à minha família por todo carinho,  
atenção e apoio em todos os momentos  
da minha vida!



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me guiar para os caminhos do bem e atender sempre as minhas orações.

À minha família, que sempre acreditou nos meus sonhos, em especial aos meus pais, Reginaldo e Bernardete, pelo apoio, carinho e incentivo. E meu irmão Marco por estar comigo nos momentos bons e ruins.

Ao meu amor Eduardo, por toda sua compreensão, incentivo e amor. E a sua família por me acolher sempre.

A minha orientadora Cileide, agradeço pelo apoio e paciência. Ao grupo do Laboratório de Análise de Sementes – LAS CAV/UDESC. Amigos que vou levar para sempre no meu coração. Obrigada por me ajudarem em todos os momentos.

Agradeço também aos professores e funcionários do departamento da Pós-Graduação em Produção Vegetal. E pelo apoio financeiro da PROMOP/UDESC.

Ao Engenheiro Agrônomo Mario Ângelo Possa e toda sua equipe, pela doação das sementes e pela confiança depositada.





“Tenho uma teoria. A minha teoria é sobre momentos. Momentos de impacto. Minha teoria é que esses momentos de impactos, esses flashes de realidade que nos reviram, acabam definindo quem somos. O fato é... Cada um de nós é a soma dos momentos que já tivemos. E de todas as pessoas que já conhecemos. E são esses momentos que se tornam nossa história.”  
(Michael Sucsy; Para Sempre, 2012)



## RESUMO

PRAZERES, Camila Segalla. **Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a germinação e estabelecimento de plântulas de milho sob déficit hídrico**. 2018. 90 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Área: Fisiologia e Manejo de Plantas) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2018.

As respostas fisiológicas e bioquímicas de sementes e plântulas podem explicar as diferenças quanto ao vigor e selecionar genótipos a partir de marcadores para a tolerância ao déficit hídrico. O presente estudo foi conduzido para verificar se o desempenho fisiológico das sementes e plântulas de milho sob condições de déficit hídrico pode ser explicado pela curva de hidratação, hidrólise e mobilização dos componentes bioquímicos e alterações na atividade de enzimas antioxidantes, indicando os componentes mais importantes que influenciam essa tolerância. O trabalho foi desenvolvido com cinco linhagens, dois híbridos simples e dois híbridos triplos de milho. Avaliou-se a qualidade fisiológica das sementes associada à curva de hidratação em água e no potencial osmótico negativo de -0,9 MPa; a resposta fisiológica das sementes em condições de déficit hídrico (-0,3 e -0,9 MPa) e a determinação do padrão de hidrólise e mobilização de proteína solúvel total, prolina, açúcar solúvel total e amido e atividade de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) sob condições de controle e déficit hídrico, indicando os componentes mais importantes para a tolerância; as alterações no acúmulo de solutos, como a proteína solúvel total e a prolina e atividade de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e quantificação de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em plântulas de alto e baixo vigor sob controle (80% da capacidade de campo) e déficit hídrico (50% da capacidade de campo), utilizando solo como substrato, identificando os mecanismos que influenciam na tolerância ao déficit hídrico. Houve diferença entre as sementes para a qualidade fisiológica em relação ao padrão de hidratação, tanto em água, como em PEG 6000 e constatou-se uma relação positiva entre o menor tempo para ocorrer à protrusão radicular e a maior qualidade das sementes dos híbridos, permitindo concluir que o padrão de hidratação pode ter um parâmetro para avaliação precoce da qualidade fisiológica de sementes de milho híbrido. O desempenho fisiológico em condições de déficit hídrico pode ser explicado por determinados componentes da hidrólise e mobilização de reservas e enzimas do estresse oxidativo. O híbrido de alto vigor (HT1) foi mais eficiente na mobilização de proteína solúvel total durante as primeiras fases da germinação, para a mobilização do açúcar solúvel total, anteriormente e após a protrusão radicular sob déficit hídrico e na ativação da enzima catalase, a partir da protrusão radicular em potenciais osmóticos negativos, em relação ao menor desempenho metabólico das sementes do híbrido de baixo vigor (HT2). Plântulas oriundas de sementes vigorosas toleram condições de déficit hídrico nos estádios vegetativos iniciais. O híbrido vigoroso (HT1) demonstrou maior capacidade de combater o estresse oxidativo com o acúmulo de solutos e aumento da atividade de enzimas antioxidantes, o que pode ser uma indicação de tolerância ao déficit hídrico. No híbrido HT1, as variáveis que mais contribuíram para essa tolerância foram o aumento da atividade da catalase e ascorbato peroxidase e a diminuição da quantidade de peróxido de hidrogênio.

**Palavras-chave:** *Zea mays L.* Vigor. Potenciais osmóticos. Enzimas antioxidantes.



## ABSTRACT

PRAZERES, Camila Segalla. **Physiological and biochemical changes during germination and establishment of corn seedling under water déficit.** 2018. 90 f. Thesis (Doctorate in Plant Production – Area: physiology and plant management) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Postgraduate Program in Plant Production, Lages, 2018.

The physiological and biochemical responses of seeds and seedlings can explain the differences in vigor and select genotypes from markers for water deficit tolerance. The present study was conducted to verify if the physiological performance of maize seeds and seedlings under conditions of water deficit can be explained by the hydration curve, hydrolysis and mobilization of the biochemical components and changes in the activity of antioxidant enzymes, indicating the most important components that influence this tolerance. The work was developed with five lines, two simple hybrids and two triple corn hybrids. The physiological quality of seeds associated to the hydration curve in water and negative osmotic potentials (-0.3 and -0.9 MPa) were evaluated; the physiological response of seeds under conditions of water deficit and determination of the hydrolysis and mobilization of total soluble protein, proline, total soluble sugar and starch and the activity of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) under control conditions and water deficit, indicating the most important components for tolerance; changes in solute accumulation, such as total soluble protein and proline, and antioxidant enzyme activity, such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and quantification of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in seedlings of (80% of field capacity) and water deficit (50% of the field capacity), using soil as substrate and identifying the mechanisms that influence the tolerance for the water deficit. There was a difference between the seeds for the physiological quality in relation to the hydration pattern, both in water and in PEG 6000, and a positive relation was observed between the less time to occur to the root protrusion and the higher seed quality of the hybrids, allowing conclude that the hydration pattern may have a parameter for early evaluation of the physiological quality of hybrid corn seeds. The physiological performance under conditions of water deficit can be explained by certain components of the hydrolysis and mobilization of reserves and enzymes of oxidative stress. The high vigor hybrid (HT1) was more efficient in the mobilization of total soluble protein during the first stages of the germination, for the mobilization of the total soluble sugar, before and after the root protrusion under water deficit and in the activation of the catalase enzyme, from of the root protrusion in negative osmotic potentials, in relation to the lower metabolic performance of the seeds of the low vigor hybrid (HT2). Seedlings from vigorous seeds tolerate water deficit conditions in the early vegetative stages. The vigorous hybrid (HT1) demonstrated a greater ability to combat oxidative stress with the accumulation of solutes and increase the activity of antioxidant enzymes, which may be an indication of tolerance to water deficit. In the HT1 hybrid, the variables that contributed most to this tolerance were increased catalase and ascorbate peroxidase activity and a decrease in the amount of hydrogen peroxide.

**Keywords:** *Zea mays* L.. Vigor. Osmotic potential. Antioxidant enzymes.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curso temporal de eventos físicos e metabólicos ocorridos durante a germinação (Fases I e II) e crescimento das plântulas (Fase III).....	27
Figure 2 - Hydration patterns of seeds from different maize strains and hybrids, evaluated in water.....	39
Figure 3 - Hydration pattern of seeds from maize strains and hybrids, evaluated using polyethylene glycol 6000 at an osmotic potential of -0.9 MPa. ....	43
Figura 4 - Alterações no conteúdo de proteína solúvel total e prolina livre em endospermas de sementes de milho durante a germinação em água (controle) e potenciais osmóticos negativos (-0,3 e -0,9 MPa).....	51
Figura 5 - Alterações no conteúdo de amido e açúcar solúvel total em endospermas de sementes de milho durante a germinação em água (controle) e potenciais osmóticos negativos (-0,3 e -0,9 MPa). ....	53
Figura 6 - Alterações da atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase em endospermas de sementes de milho durante a germinação em água (controle) e potenciais osmóticos negativos (-0,3 e -0,9 MPa).....	56
Figura 7 - Análise dos componentes principais (PCA) para os componentes bioquímicos e enzimas antioxidantes em função dos híbridos.....	58
Figura 8 - Autovalores que identificam as variáveis que mais contribuíram para a variabilidade dos dados em PC1 e PC2, respectivamente.....	59
Figura 9 - Alterações no volume (A) e comprimento de raízes (B) de dois híbridos de milho (HT1 e HT2) em condições de controle e déficit hídrico, após 20 dias da semeadura.....	67
Figura 10 - Conteúdo de proteína solúvel total (A) e prolina livre (B) do tecido vegetal de folhas de dois híbridos de milho (HT1 e HT2), com tratamento controle e déficit hídrico, após 20 dias da semeadura.....	68
Figura 11 - Atividade das enzimas superóxido dismutase (A), catalase (B), ascorbato peroxidase (C) e quantificação de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (D) de híbridos de milho (HT1 e HT2), com tratamento controle e déficit hídrico. ....	70
Figura 12 - Análise de componentes principais (PCA) em amostras dos híbridos, HT1 e HT2.....	73
Figura 13 - Análise de componentes principais (PCA) demonstrando amostras dos híbridos em função do controle e condições de déficit hídrico.....	74
Figura 14 - Os autovalores demonstrando as variáveis que mais contribuíram para variabilidade de dados em PC1 e PC2, respectivamente. ....	75





## LISTA DE TABELAS

Table 1 - Germination and vigor percentages, determined by accelerated ageing and electric conductivity tests, in seeds of maize lines and hybrids.....	41
Tabela 2 - Médias da porcentagem de plântulas normais para a germinação (0,0 MPa) e vigor para a condição de déficit hídrico (-0,3 e -0,9 MPa) avaliados nos híbridos HT1 e HT2. ....	50



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>21</b>
1.1	OBJETIVOS.....	22
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>22</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO E O CENÁRIO DE SEMENTES .	23
2.2	QUALIDADE DE SEMENTES .....	24
2.2.1	<b>Qualidade fisiológica de sementes x déficit hídrico</b> .....	<b>24</b>
2.2.2	<b>Hidratação de sementes associada à qualidade fisiológica</b> .....	<b>27</b>
2.2.3	<b>Composição química durante a germinação de sementes de milho</b> .....	<b>29</b>
2.3	MECANISMOS RELACIONADOS À TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM SEMENTES E PLÂNTULAS DE MILHO.....	31
2.3.1	<b>Mecanismos bioquímicos</b> .....	<b>31</b>
2.3.2	<b>Enzimas antioxidantes</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>HYDRATION CURVE AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF MAIZE SEEDS SUBJECTED TO WATER DEFICIT</b> .....	<b>35</b>
3.1	ABSTRACT.....	35
3.2	RESUMO .....	35
3.3	INTRODUCTION .....	36
3.4	MATERIAL AND METHODS .....	37
3.5	RESULTS AND DISCUSSION .....	39
3.6	CONCLUSION .....	43
<b>4</b>	<b>ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS DURANTE A GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO DE ALTO E BAIXO VIGOR SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO</b> .....	<b>44</b>
4.1	RESUMO .....	44
4.2	INTRODUÇÃO .....	44
4.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	46
4.3.1	<b>Material Vegetal</b> .....	<b>46</b>
4.3.2	<b>Hidratação das sementes com a simulação do déficit hídrico</b> .....	<b>46</b>
4.3.3	<b>Avaliação da germinação e do vigor para o déficit hídrico</b> .....	<b>46</b>
4.3.4	<b>Extração e quantificação de compostos bioquímicos</b> .....	<b>47</b>
4.3.5	<b>Determinação de atividades de enzimas antioxidantes</b> .....	<b>48</b>
4.3.6	<b>Análise estatística</b> .....	<b>49</b>
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	49
4.5	CONCLUSÃO .....	60

<b>5</b>	<b>SEMENTES DE ALTO VIGOR COMO UM INDICATIVO DE TOLERÂNCIA AO DEFICIT HÍDRICO DE PLANTULAS DE MILHO ASSOCIADO A ALTA ATIVIDADE DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES.....</b>	<b>61</b>
5.1	RESUMO.....	61
5.2	INTRODUÇÃO.....	61
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
5.3.1	Material vegetal.....	63
5.3.2	Simulação do déficit hídrico.....	63
5.3.3	Avaliações morfológicas.....	64
5.3.4	Extração e quantificação de compostos bioquímicos.....	64
5.3.5	Determinação da atividade de enzimas antioxidantes.....	65
5.3.6	Extração e quantificação de peróxido de hidrogênio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).....	66
5.3.7	Análise estatística.....	66
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
5.5	CONCLUSÃO.....	75
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>77</b>
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICES.....	90

### 3 HYDRATION CURVE AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF MAIZE SEEDS SUBJECTED TO WATER DEFICIT

#### 3.1 ABSTRACT

The hydration pattern associated with the physiological quality of seeds can be an early indicator for the evaluation of seed quality. The present study aimed to evaluate the hydration pattern of seeds subjected, or not, to water restriction, and to relate these patterns to their physiological quality. The physiological quality of seeds from five maize strains (L1, L2, L3, L4, and L5) and four hybrids (HT1, HT2, HS1, and HS2) was initially determined using seed germination and vigor tests (accelerated ageing and electric conductivity). A completely randomized experimental design was used with four repeats for the physiological analyses and a regression analysis was performed in order to assess the behavior of the seeds over time. The hydration curve was determined by imbibing the seeds in distilled water (0.0 control) and in a -0.9-MPa osmotic solution of polyethylene glycol 6000. Water uptake by the seeds was found to follow a triphasic pattern in the absence of water stress (0.0 MPa); however, when exposed to a -0.9 MPa osmotic potential, an extended phase II was observed. Diversity was observed between the strains in terms of the hydration pattern of the seeds, which can influence the physiological quality of the hybrid seeds. Regarding the hybrids, a positive relationship was observed between the shortest time to root protrusion and the quality of the seeds, both with or without water restriction, which allows us to conclude that hydration pattern can be used as a parameter for the early evaluation of physiological quality in hybrid maize seeds.

**Keywords:** *Zea mays* L. Hydration pattern. Osmotic potential. Vigor

#### 3.2 RESUMO

O padrão de hidratação associado à qualidade fisiológica das sementes pode ser um indicativo para avaliação da qualidade de forma precoce. Objetivou-se neste trabalho avaliar o padrão de hidratação das sementes, submetidas ou não à restrição hídrica e relacioná-lo com a qualidade fisiológica das sementes. Inicialmente, determinou-se a qualidade fisiológica das sementes de cinco linhagens (L1, L2, L3, L4 e L5) e quatro híbridos de milho (HT1, HT2, HS1 e HS2) através do teste de germinação e testes de vigor (envelhecimento acelerado e condutividade elétrica). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições para as análises fisiológicas e análise de regressão a fim de analisar o comportamento das sementes ao longo tempo. A curva de hidratação foi realizada com embebição das sementes em água destilada 0,0 (controle) e em solução de PEG 6000 à -0,9 MPa. Verificou-se que a absorção de água nas sementes apresentou o padrão trifásico na condição sem déficit (0,0 Mpa), no entanto, quando expostas à condição de potencial -0,9 MPa, apresentou alongamento da fase II. Houve diferenças entre as linhagens com relação ao padrão de hidratação das sementes, sendo que estas podem influenciar na qualidade fisiológica das sementes dos híbridos. Nos híbridos, tanto com ou sem restrição

hídrica, constatou-se uma relação positiva entre o menor tempo para ocorrência da protrusão radicular e a qualidade das sementes, o que permite concluir que o padrão de hidratação pode ser um parâmetro para avaliação precoce da qualidade fisiológica de sementes de milho híbrido.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L.. Padrão de hidratação. Potencial osmótico. Vigor.

### 3.3 INTRODUCTION

Germination is the result of physiological processes that are sequentially initiated by the absorption of water by the seed (SUNMONU et al., 2016). However, the seeds must reach an adequate level of hydration, which activate their metabolic processes (FONSECA; PEREZ, 2003), allowing the growth of the embryo, and subsequently, of the seedling (NONOGAKI; BASSEL; BEWLEY, 2010). The hydration of maize seeds follows a triphasic pattern, with different physical and metabolic processes occurring in each phase (BEWLEY et al., 2013); however, when a condition of water deficit is imposed during germination, the hydration pattern can be altered.

The hydration pattern can be linked to physiological quality, and can be used as a parameter for precocious seed evaluation (BORTOLOTTO et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2009; WRASSE et al., 2009; SMIDERLE et al., 2013). According to Villela et al. (2003), in a study focusing on the hydration of caryopses with or without maize seed embryos, the embryos were hydrated at a faster rate than the caryopsis during the first 48 h, and, in addition, the embryos of the seeds with lower physiological potential absorbed a higher amount of water compared to those composed of more vigorous seeds.

The quality of seeds is defined as a set of characteristics that determine their value for planting, such as the interactions between genetic, physical, sanitary, and physiological attributes, for which the latter includes germination and vigor (MARCOS FILHO, 2015a). Seed vigor is a property that determines the potential for the rapid and uniform development of seedlings under a wide range of field conditions (RAJJOU et al., 2012).

The physiological quality of seeds depends on their capacity for cellular organization and the mobilization of resources for the formation of more vigorous seedlings (DELGADO et al., 2015), which vary according to genotype (DINIZ et al., 2015). The use of seeds with high vigor is essential for the speed and initial

emergence of maize seedlings (SBRUSSI; ZUCARELI, 2014). The results of germination and vigor tests, which are associated with the hydration pattern of the seeds, can be early indicators of better quality genotypes. The precocious characterization of genotypes, making use of previous evaluations of the physiological quality of their seeds, can be a determining factor in the choice of strains used to obtain new maize hybrids that are also tolerant to water deficit conditions (ABREU et al., 2014).

Water deficit, like many other environmental stresses, adversely affects seed production, and one of the most important stages that can be compromised by this type of environmental stress is germination. Seed vigor can be an indication of tolerance to water deficit (TAVARES et al., 2013); as such, it is probable that a lower physiological potential will present deficiencies in the process of repair and protection of the membrane system during the initial absorption stage, which would negatively affect the later stages of the germination process (COSTA et al., 2008).

In this context, the objective of the present study was to evaluate the hydration pattern of seeds subjected, or not, to water restriction, and to relate these patterns to the physiological quality of the seeds.

### 3.4 MATERIAL AND METHODS

The experiments were performed in the Seed Laboratory of the Department of Agronomy of the University of Santa Catarina, CAV/UDESC, in the municipality of Lages, SC. The seeds evaluated were produced in the headquarters of an agribusiness company in Coxilha, RS, at an average altitude of 720 m, with latitude 28°07'38" and longitude 52°17'46". The average annual temperature was 17.5°C and the mean annual precipitation was 1,800 mm. The maize seeds utilized included two triple hybrids (HT1 and HT2), two simple hybrids (HS1 and HS2), and five strains (L1, L2, L3, L4, and L5). The composition of the HT1 triple hybrid refers to the following strains: (L2 × L1) × L4. The composition of the HT2 triple hybrid was formed from the strains: (L2 × L3) × L5. The L2 × L1 cross generated a simple hybrid, named HS1, and that generated by the L2 × L3 cross was named HS2. Samples that were representative of the fields were collected when the cobs were harvested for use in the laboratory experiment.

Immediately after harvest, the seeds originated from each genitor and the first generation (F1) were taken to the laboratory. Each sample, corresponding to the different strains and hybrids, was reduced by successive divisions in order to obtain a working sample (900 g) (BRASIL, 2009). The working sample was divided into four using a seed divider for homogenization.

The pattern of seed hydration as a function of time was determined under two osmotic potentials: 0.0 and -0.9 MPa. The seeds were imbibed in "germitest" paper rolls soaked 2.5 times their dry weight in distilled water or polyethylene glycol (PEG) 6000. The amount of PEG 6000 used was determined using the methodology proposed by Villela et al. (1991). The rolls containing the seeds were kept in the germinator in a vertical position at 25°C.

Sub-samples formed of 5 g of seeds were collected during germination in order to determine the hydration curve, using the oven method at 105°C (BRASIL, 2009). The water absorption intervals established were 0, 12, 24, 36, 48, 60, and 72 h for water, and 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, and 192 h for PEG6000. The percentage water gain was calculated according to the initial and final seed weights. The time to the occurrence of germination in 50% of the seeds (T50) was determined from the moment the seed roots reached 2 mm, as measured using a caliper.

The initial physiological quality of the seeds was evaluated by the percentage germination and the vigor tests (accelerated ageing and electric conductivity), separate from the seed hydration curve.

The germination test was performed using four sub-samples containing 50 seeds each, using "germitest"-type paper, soaked in distilled water up to 2.5 times the weight of the substrate. The rolls containing the seeds remained at 25°C. The evaluations were performed on the seventh day, considering the seedlings as normal, according to BRASIL (2009).

The accelerated ageing test involved four sub-samples of 50 seeds, uniformly distributed on a steel frame in acrylic boxes measuring 11 × 11 × 3.5 cm, with 40 mL of distilled water (MARCOS FILHO, 1999a). The boxes containing the seeds were kept at 45°C for 72 h (BITTENCOURT; VIEIRA, 2006). After this period, the seeds were maintained at 25°C for 4 days, at which point the number of normal seedlings was determined.

The electric conductivity test was performed on four sub-samples of 50 seeds, with each repeat sample being previously weighed and placed in a container with



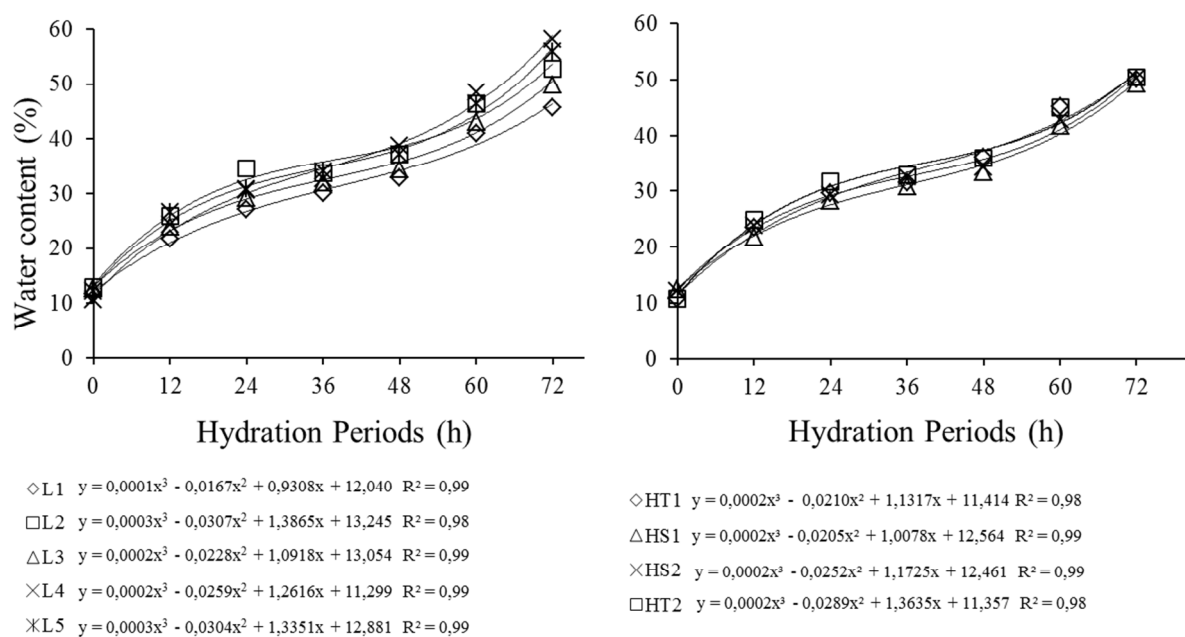
75 mL of distilled water for soaking, and maintained in a germinator at 25°C. A digital benchtop conductivity meter (model Q795A2 Quimis) was used to measure conductivity in the 24 h period after the test was set up. The result obtained with the conductivity meter was divided by the weight of the repeat, so that the final result was expressed in  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  (MARCOS FILHO, 1999b).

A completely randomized experimental design was used for the physiological analyses, with four repeats. The Scott-Knott test was used at 5% probability to compare the averages, and a regression analysis was performed to assess the behavior of the seeds over time. It was not necessary to transform the data. The analyses were performed using the Software SAS System® 9.0 (SAS, 2009).

### 3.5 RESULTS AND DISCUSSION

First, the seeds were evaluated for initial humidity content, which was established at around 11% for the different strains and hybrids used. After the seeds were hydrated in water, they quickly gained weight due to water absorption, characterized as Phase I, which terminated after 12 h of hydration (Figure 2).

Figure 1 - Hydration patterns of seeds from different maize strains and hybrids, evaluated in water.



Source: Prepared by the author, 2017.

Root protrusion (T50) occurred at the end of Phase II, corresponding to 36 or 48 h of hydration, depending on the genotype. Phase III was again marked by an increase in water absorption by the seeds. The L4 strain and the HT1 triple hybrid showed root protrusion at 36 h, whereas root protrusion in the remaining genotypes was observed after 48 h of seed hydration. This process may influence the speed of future seedling formation.

Water deficit simulated by the use of PEG 6000 induced different seed behavior, when compared to the hydration pattern observed in water (Figure 3), leading to a prolonged Phase II that resulted in a delay in root protrusion (T50), and occurred 72 to 168 h after the start of hydration. Root protrusion was observed at 72 and 96 h in the HT1 hybrid and the L4 strain, respectively, whereas the L5 strain and the HS2 simple hybrid showed root protrusion only after 168 h of seed hydration.

Analysis of hydration pattern behavior can help identify the physiological process occurring in the seed, thus providing a tool that can be used to determine the physiological quality of the different genotypes (EHRHARDT-BROCARDO; COELHO, 2016). By studying the hydration pattern of seeds in water and PEG 6000, the results obtained could be related to the initial physiological quality of the seeds.

Statistically significant differences were observed between the strains and the hybrids in the germination and vigor tests (accelerated ageing and electric conductivity), as shown in Table 1. The strains differed significantly in terms of the percentage of germination (Table 1), which was not explained by the increased speed of root protrusion. An increased level of germination (88%) and fast root protrusion in water (36 h), was observed in the L4 strain, but the remaining strains (L1, L2, and L3) also showed a high percentage of germination (94, 94, and 91%, respectively), which was associated with a slower root protrusion time, at 48 h. Root protrusion at 48 h of hydration was also observed in the L5 strain that was used to form the HS2 triple hybrid, which showed a low physiological potential regarding the percentage of germination (75%).

During the evaluation of hybrids, a heterosis effect was observed in terms of physiological characteristics, which allowed the association to be made between the lowest root protrusion time and the highest physiological quality, due to the capacity of the combined strains.

Comparing the hybrids in terms of the percentage germination, the HT1 triple hybrid showed a high percentage of germination (96%), which was higher than that

of the HT2 triple hybrid (84%). The elevated physiological potential was shown in the HT1 triple hybrid by the occurrence of root protrusion at 36 h of hydration, unlike the HT2 triple hybrid, which presented a slower root protrusion at 48 h of hydration. Despite its high physiological quality, the HS1 simple hybrid showed root protrusion at 48 h, which may have occurred as a result of the particular combination of strains that formed this hybrid, as the L1 and L2 strains also presented a longer hydration time (48 h).

The vigor results obtained from the accelerated ageing test revealed significant differences between the strains and the hybrids. The L1 and L2 strains stood out, with 71 and 84%, respectively. Median results were obtained for the L3, L4, and L5 strains for this test, with 61, 54, and 63%, respectively. The HT1 triple hybrid showed a vigor result of 89%, compared to the HT2 triple hybrid, which presented a lower vigor, of only 22%, since in addition to the low physiological quality of its seeds, it also exhibited a slow water absorption speed.

The results of the electric conductivity test revealed differences between the strains (Table 1).

Table 1 - Germination and vigor percentages, determined by accelerated ageing and electric conductivity tests, in seeds of maize lines and hybrids.

Genotypes	Germination (%)	Accelerated ageing (%)	Electric conductivity ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )
Strains			
L1	94a	71a	9,309a
L2	94a	84a	14,686c
L3	91a	61b	12,373b
L4	88a	54b	27,423e
L5	75b	63b	19,842d
Mean (%)	88,20	66,40	16,72
CV(%)	5,84	17,06	8,74
Hybrids			
HT1	96a	89a	10,812a
HS1	97a	93a	11,542a
HS2	87b	63b	15,295b
HT2	84b	22c	19,563c
Mean (%)	90,62	66,93	14,3034
CV(%)	4,47	9,06	9,42

In the column, the averages followed by identical letters do not differ between each other by the Scott-Knott test ( $p > 0.05$ ).

Source: Prepared by the author, 2017.

The L1 strain, used in the cross that formed the HT1 triple hybrid, was highlighted among the remaining strains at  $9.30 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , associated with less solute leaching in the seeds, demonstrating their increased vigor. Conversely, the L5 strain, used in the cross that formed the HT2 triple hybrid, showed the lowest vigor in the electric conductivity test, with  $19.84 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , and a longer seed hydration time. The HT1 triple hybrid and the HS1 simple hybrid stood out in this vigor test, with lower solute leaching at  $10.81$  and  $11.54 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , respectively; however, the lowest result was obtained with the HT2 triple hybrid, at  $19.56 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ . Once again, these results confirmed that the HT1 triple hybrid presented the highest vigor in the root protrusion test (36 h) and that the seeds of the HT2 hybrid showed elevated electric conductivity and slow root protrusion.

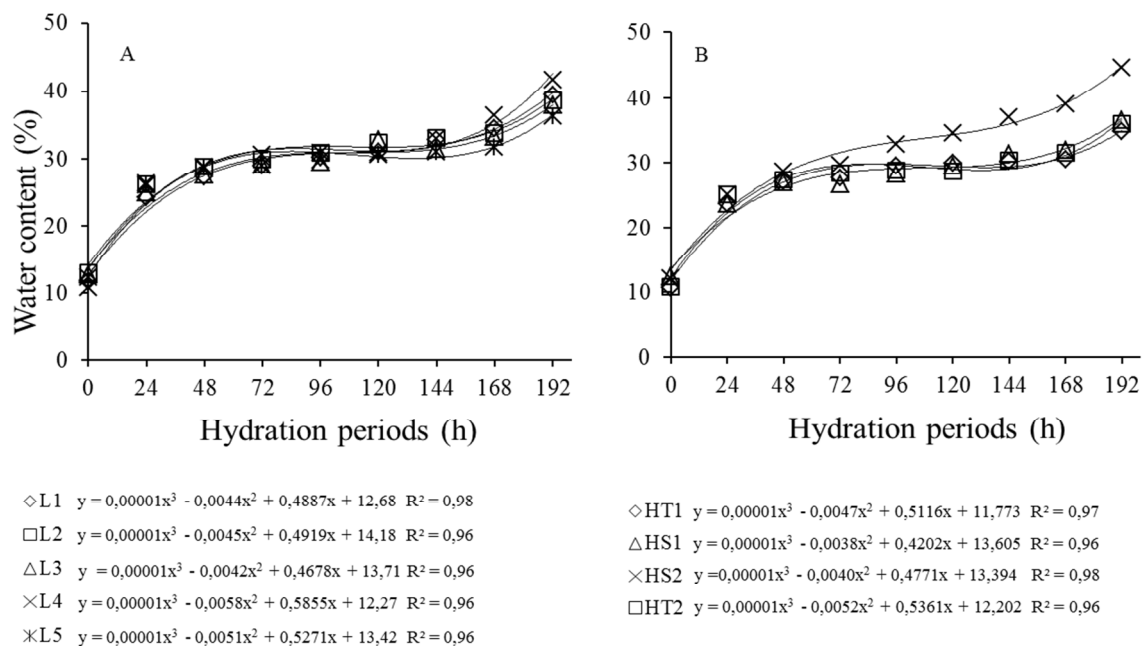
In studies on rice cultivation, Wrasse et al. (2009) observed that it was possible to use the hydration curve (in water) to classify seed lots based on their physiological quality, concluding that this was a promising method to evaluate the physiological potential of rice seeds. The duration of each of hydration phase depends on the inherent properties of the seeds, such as the hydration content of the substrate (BEWLEY et al., 2013). The reduced water potential caused by the use of PEG 6000 is harmful to seed germination (MOTERLE et al., 2008) and influences the behavior of the hydration curve, as observed in the present study.

In the presence of PEG 6000, the L4 strain showed fast root protrusion (72 h), which was also observed when the seeds were imbibed in water (36 h). The HT1 triple hybrid, which showed high physiological quality and rapid water absorption (36 h), also demonstrated increased speed in the absorption curve performed with PEG 6000 (72 h) (Figure 3). Delayed root protrusion was observed in the L5 strain and in its respective hybrid, HT2, and was only reached after 168 h of hydration in the presence of PEG 6000 (Figure 3), demonstrating that, in addition to being classified as having lower physiological quality, they also exhibited slow root protrusion during the hydration curve of seeds under conditions of negative osmotic potential.

The composition of strains used to obtain the hybrids must be considered in terms of heterosis. A positive relationship was observed between the hydration pattern and the physiological potential of maize seeds. Even though strains with slower root protrusion (L2  $\times$  L1) were used to generate the HT1 triple hybrid, the L4 strain stood out and may have influenced the fast root protrusion ultimately observed in this hybrid. In addition to being formed from the L2  $\times$  L3 strains that showed root

protrusion at 48 h, the HT2 triple hybrid was also composed of the L5 strain, which not only presented low physiological quality, but also had a negative effect on the hybrid that resulted in slow root protrusion.

Figure 2 - Hydration pattern of seeds from maize strains and hybrids, evaluated using polyethylene glycol 6000 at an osmotic potential of -0.9 MPa.



Source: Prepared by the author, 2017.

### 3.6 CONCLUSION

Diversity in the hydration pattern of the seeds was observed between the strains, and this can influence the physiological quality of the hybrid seeds. Regarding the hybrids, both with or without water restriction, there was a positive relationship between the shortest time to the occurrence of root protrusion and the quality of the seeds, enabling the conclusion to be made that the hydration pattern can be a parameter for the early evaluation of the physiological quality of hybrid maize seeds.

## REFERÊNCIAS

- ABRASEM. **Associação Brasileira de Sementes e Mudanças**. Anuário 2016. Brasília, 2016.
- ABREU, V. M. De; VILELA, É. V. de R.; VON PINHO, R. G.; NAVES, G. M. de F.; NETA, I. C. S.; GUIMARÃES, R. M.; CARVALHO, M. R. De. Physiological performance and expression of isozymes in maize seeds subjected to water stress. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 01, p. 40–47, 2014.
- AEBI, H. Catalase in Vitro. **Methods in Enzymology**, v. 105, n. 0, p. 121–126, 1984.
- AHMAD, S.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y.; ASHRAF, M.; WARAICH, E. A. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. **Pakistan Journal Botany**, v. 41, n. 02, p. 647–654, 2009.
- ALBUQUERQUE, K. S.; GUIMARÃES, R. M.; ALMEIDA, I. F. De; CLEMENTE, A. D. C. S. Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a embebição de sementes de sucupira-preta (*Bowdichia virgilioides* Kunth.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 01, p. 12–19, 2009.
- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.
- ALMEIDA, J. A. de; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. do; ZOLDAN, W. A. J. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 03, p. 437–445, 2005.
- AMIRJANI, M. R.; MAHDIYEH, M. Antioxidative and biochemical responses of wheat. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 08, n. 04, p. 291–301, 2013.
- ANDRADE, R. V. DE; AUZZA, S. A. Z.; ANDREOLI, C.; NETTO, D. A. M.; OLIVEIRA, A. C. DE. Qualidade fisiológica das sementes do milho híbrido simples HS 200 em relação ao tamanho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 03, p. 576–582, 2001.

ANJORIN, F. B.; ADEJUMO, S. A.; AGBOOLA, L.; SAMUEL, Y. D. Proline, soluble sugar, leaf starch and relative water contents of four maize varieties in response to different watering regimes. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 49, n. 03, p. 51–62, 2016.

ANJUM, S. A.; ASHRAF, U.; TANVEER, M.; KHAN, I.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, B.; ZOHAIB, A.; ABBAS, F.; SALEEM, M. F.; ALI, I.; WANG, L. C. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, v. 08, n. 69, p. 01–12, 2017.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 02, p. 206–216, 2007.

ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. D. L. E.; SCAPIM, C. A. Teste de comprimento de plântulas sob estresse hídrico na avaliação do potencial fisiológico das sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 02, p. 117–124, 2007.

AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, n. 02, p. 280–292, 1998.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 03, p. 453–460, 2014.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 01, p. 205–207, 1973.

BENEŠOVÁ, M.; HOLÁ, D.; FISCHER, L.; JEDELSKÝ, P. L.; HNILIČKA, F.; WILHELMOVÁ, N.; ROTHOVÁ, O.; KOČOVÁ, M.; PROCHÁZKOVÁ, D.; HONNEROVÁ, J.; FRIDRICHOVÁ, L.; HNILIČKOVÁ, H. The physiology and proteomics of drought tolerance in Maize: early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration? **PLoS ONE**, v. 07, n. 06, p. 01–17, 2012.

BEWLEY, J. D. Seed Germination and Reserve Mobilization. **Encyclopedia of life sciences**, p. 1–7, 2001.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.H.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3º ed., New York: Springer, 2013. 392 p.

BITTENCOURT, S. R. M. De; VIEIRA, R. D. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 03, p. 161–168, 2006.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant Cell and Environment**, v. 40, n. 01, p. 04–10, 2017.

BORTOLOTTI, R. P.; MENEZES, N. L. DE; GARCIA, D. C.; MATTIONI, N. M. COMPORTAMENTO DE HIDRATAÇÃO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE ARROZ. **Bragantia**, v. 67, n. 04, p. 991–996, 2008.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 0, p. 248–254, 1976.

BRASIL. Ministério da agricultura agropecuária e abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**, Brasília, 2009, 398p.

BUITINK, J.; CLAESSENS, M. M. A. E.; HEMMINGA, M. A.; HOEKSTRA, F. A. Influence of water content and temperature on molecular mobility and intracellular glasses in seeds and pollen. **Plant Physiology**, v. 118, n. 02, p. 531–541, 1998.

CAIXETA, D. F.; FAGAN, E. B.; SILVA, C. P. de L. e; MARTINS, K. V.; ALVES, V. A. B.; SILVA, R. B.; GONÇALVES, L. A. Crescimento da plântula de milho à aplicação de inseticidas na semente sob diferentes disponibilidades hídricas. **Revista da FZVA**, v. 17, n. 01, p. 78–87, 2010.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V. DE; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. DE. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 04, p. 752–761, 2011.

CARVALHO, N. M. de; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.



CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

CAVERZAN, A.; CASASSOLA, A.; BRAMMER, S. P. Antioxidant responses of wheat plants under stress. **Genetics and Molecular Biology**, v. 39, n. 01, p. 01–06, 2016.  
CLEGG, K. M. The application of the anthrone reagent to the estimation starch in cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 07, n. 01, p. 40–44, 1956.

CONAB, C. N. de A. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Monitoramento agrícola- Safra 2017/2018**, v. 04, n. 02, p. 01–119, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 10 de outubro de 2017.

CORBINEAU, F. Markers of seed quality: from present to future. **Seed Science Research**, v. 22, n. 01, p. 61–68, 2012.

COSTA, C. J.; VILLELA, F. A.; BERTONCELLO, M. R.; TILLMANN, M. Â. A.; MENEZES, N. L. De. Pré-hidratação de sementes de ervilha e sua interferência na avaliação do potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 01, p. 198–207, 2008.

CRUZ DE CARVALHO, M. H. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant signaling & behavior**, v. 03, n. 03, p. 156–165, 2008.

DELGADO, C. M. L.; COELHO, C. M. M.; BUBA, G. P. Mobilization of reserves and vigor of soybean seeds under desiccation with glufosinate ammonium. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 02, p. 154–161, 2015.

DINIZ, R. P.; PINHO, E. V. D. R. Von; SANTOS, H. O. Dos; VON PINHO, R. G.; VEIGA, P. D. O. A.; CARVALHO, M. L. M. De. Physiological quality and protein patterns of corn seeds produced under water and salt stresses. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 42, p. 3962–3967, 2015.

EHRHARDT-BROCARDI, N. C. M.; COELHO, C. M. M. Hydration patterns and physiologic quality of common bean seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 04, p. 1791–1800, 2016.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 01, p. 185–212, 2009.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.

FLETA-SORIANO, E.; MUNNÉ-BOSCH, S. Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 07, n. 143, p. 01–6, 2016.

FONSECA, S. C. L.; PEREZ, S. C. J. G. Ação do polietileno glicol na germinação de sementes de *Adenanthera pavonina* L. e o uso de poliaminas na atenuação do estresse hídrico sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 01, p. 01–06, 2003.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 01, p. 309–314, 1977.

GOODARZIAN-GHAHFAROKHI, M.; MANSOURI-FAR, C.; SAEIDI, M.; ABDOLI, M. Different physiological and biochemical responses in maize hybrids subjected to drought stress at vegetative and reproductive stages. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 60, n. 01, p. 27–37, 2016.

GUIMARÃES, M. D. A.; DIAS, D. C. F. dos S.; LOUREIRO, M. E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 02, n. 01, p. 31–39, 2008.

HAN, C.; YIN, X.; HE, D.; YANG, P. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed, and its comparison with Rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. **PLoS ONE**, v. 08, n. 02, p. 01-09, 2013.

HAYANO-KANASHIRO, C.; CALDERÓN-VÁSQUEZ, C.; IBARRA-LACLETTE, E.; HERRERA-ESTRELLA, L.; SIMPSON, J. Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. **PLoS ONE**, v. 04, n. 10, p. 01-19, 2009.

HENDGES, F. B.; RAMBO, C. R.; ALCASSA, L. P.; LIEBL, J.; VENDRUSCOLO, E. C. G.; COSTA, A. C. T. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 04, n. 02, p. 52–63, 2015.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 03, p. 727–734, 2010.

HOMAYOUNI, H.; KHAZARIAN, V. Effects of deficit irrigation on soluble sugars , starch and proline in three corn hybrids. **Indian Journal of Scientific Research**, v. 07, n. 01, p. 910–917, 2014.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. de O. Análise de Componentes Principais : resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 05, n. 01, p. 83–90, 2015.

JAIN, N.; SINGH, G. P.; YADAV, R.; PANDEY, R.; RAMYA, P.; SHINE, M. B.; PANDEY, V. C.; RAI, N.; JHA, J.; PRABHU, K. V. Root trait characteristics and genotypic response in wheat under different water regimes. **Cereal Research Communications**, v. 42, n. 03, p. 426–438, 2014.

KAPPES, C.; ANTÔNIO, J. A. da C.; HAGA, K. I.; FERREIRA, J. P.; ARF, M. V. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 02, p. 125–134, 2010.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J. C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 05, n. 06, p. 709–725, 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 431 p.

KEUNEN, E.; PESHEV, D.; VANGRONVELD, J.; VAN DEN ENDE, W.; CUYPERS, A. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 07, p. 1242–1255, 2013.

KHAYATNEZHAD, M.; GHOLAMIN, R.; JAMAATI-E-SOMARIN, S.; ZABIHI-E-MAHMOODABAD, R. Effects of salt stress levels on five maize (*Zea mays* L.) cultivars at germination stage. **World Applied Sciences Journal**, v. 11, n. 05, p. 504–506, 2010.

LEOPOLD, A. C.; SUN, W. Q.; BERNAL-LUGO, I. The glassy state in seeds: analysis and function. **Seed Science Research**, v. 04, n. 03, p. 267–274, 1994.

LI, H.; LI, X.; ZHANG, D.; LIU, H.; GUAN, K. Effects of drought stress on the seed germination and early seedling growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). **Excli Journal**, v. 12, n. 0, p. 89–101, 2013.

LI, W. U.; ZHANG, X.; ASHRAF, U.; MO, Z.; SUO, H.; LI, G. Dynamics os seed germination, seedling growth and physiological responses of sweet corn under PEG-induced water stress. **Pakistan Jounal Botany**, v. 49, n. 02, p. 639–646, 2017.

LIGTERINK, W.; JOOSEN, R. V. L.; HILHORST, H. W. M. Unravelling the complex trait of seed quality: using natural variation through a combination of physiology, genetics and -omics technologies. **Seed Science Research**, v. 22, n. 01, p. 45–52, 2012.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. Fisiologia do milho. **Circular Técnica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, v, 01, n. 22. p. 01–23, 2002.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; PADILHA, F. A. Influência do ácido abscísico na atividade enzimática antioxidante, nos parâmetros hídricos e na tolerância à seca em híbridos de milho. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, v. 53, p. 40, 2012.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing : an overview of the past , present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 04, p. 363–374, 2015a.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In.: KRYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. DE B. (ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, 1999a. 218p.

MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. In.: KRYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.) Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES,. 1999b. 218p.

MCCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILIVIERA, V.; OWENS, H. S. Determination of starch and amylose in vegetables. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 09, p. 1156–1158, 1950.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. D. M.; LIMA, M. M. D. A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 1/2, p. 1039–1072, 2006.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 07, n. 09, p. 405–410, 2002.

MITTLER, R. ROS Are Good. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 01, p. 11–19, 2017.

MOHAMMADKHANI, N.; HEIDARI, R. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. **World Applied Sciences Journal**, v. 3, n. 03, p. 448–453, 2008.

MONDO, V. H. V.; CICERO, S. M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T. L.; DIAS, M. A. N. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 143–155, 2012.

MOTERLE, L. M.; LOPES, P. D. C.; BRACCINI, A. D. L. E.; SCAPIM, C. A. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 03, p. 169–176, 2006.

MOTERLE, L. M.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. de L.; RODOVALHO, M. de A.; BARRETO, R. R. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 32, n. 06, p. 1810–1817, 2008.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 05, p. 867–880, 1981.

NATERA, J. R. M.; PINTO, J. F. M.; MATA, N. J. M. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea Mays* L.) caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). **Revista UDO Agrícola**, v. 08, n. 01, p. 61–66, 2008.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination—Still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 06, p. 574–581, 2010.

OLIVEIRA, E. A. P.; ZUCARELI, C.; PRETE, C. E. C.; ZAMUNER, D. Potencial osmótico do substrato na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de milho doce. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 09, n. 04, p. 477–482, 2014.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica 75**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, v. 75, n.0, p. 01–06, 2006.

PANDEY, S.; FARTYAL, D.; AGARWAL, A.; SHUKLA, T.; JAMES, D.; KAUL, T.; NEGI, Y. K.; ARORA, S.; REDDY, M. K. Abiotic stress tolerance in plants: myriad roles of ascorbate peroxidase. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1–13, 2017.

PARTHEEBAN, C.; CHANDRASEKHAR, C. N.; JEYAKUMAR, P.; RAVIKESAVAN, R.; GNANAM, R. Effect of PEG induced drought stress on seed germination and seedling characters of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 06, n. 05, p. 1095–1104, 2017.

PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. ARTIGO Desempenho de sementes , vigor e expressão isoenzimática em plântulas de teosinto (*Euchlaena mexicana* Schrader ) sob efeito da restrição hídrica. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 01, p. 05–09, 2015.

PIANA, Z.; DA SILVA, W. R. Respostas de sementes de milho, com diferentes níveis de vigor, à disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 09, p. 1525–1531, 1998.

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília, 2 ed., 1985. 289 p.

PRITCHARD, S. L.; CHARLTON, W. L.; BAKER, A.; GRAHAM, I. A. Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in Arabidopsis. **The Plant Journal**, v. 31, n. 05, p. 639–647, 2002.

QUEIROZ, R. J. B.; CAZETTA, J. O. Proline and trehalose in maize seeds germinating under low osmotic. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 01, p. 22–28, 2016.

RAJJOU, L.; DUVAL, M.; GALLARDO, K.; CATUSSE, J.; BALLY, J.; JOB, C.; JOB, D. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, n. 01, p. 507–533, 2012.

ROSA, M.; PRADO, C.; PODAZZA, G.; INTERDONATO, R.; GONZÁLEZ, J. a; HILAL, M.; PRADO, F. E. Soluble sugars-metabolism, sensing and abiotic stress: a complex network in the life of plants. **Plant signaling & behavior**, v. 04, n. 05, p. 388–393, 2009.

SANTOS, J. F.; DIRK, L. M. A.; DOWNIE, A. B.; SANCHES, M. F. G.; VIEIRA, R. D. Reciprocal effect of parental lines on the physiological potential and seed composition of corn hybrid seeds. **Seed Science Research**, v. 27, n. 03, p. 01–11, 2017.

SANTOS, O. O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; LUSTOSA, B. M.; SANTOS, M. G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, v. 73, n. 02, p. 203–212, 2014.

SAS. SAS Institute Inc® 2009. Cary, NC, USA, Lic. UDESC: SAS Institute Inc, 2009.

SBRUSSI, C. A. G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 01, p. 215–226, 2014.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, n. 07, p. 995–1014, 2005.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, n. 03, p. 296–302, 2007.

SILVA, R. C.; DE SOUZA GRZYBOWSKI, C. R.; PANOBIANCO, M. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 03, p. 491–499, 2016.

SILVA, W. R.; MARCOS-FILHO, J. Avaliação da embebição e do desenvolvimento inicial das estruturas embrionárias de sementes de milho submetidas a diferentes potenciais hídricos. **Anais da Esalq**, v. 47, n. 02, p. 335–359, 1990.

SILVA, M. R. da; MARTIN, T. N.; ORTIZ, S.; BERTONCELLI, P.; VONZ, D. Desempenho agrônômico de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 01, p. 202–212, 2012.

SIMONNEAU, T.; LEBON, E.; COUPEL-LEDRU, A.; MARGUERIT, E.; ROSSDEUTSCH, L.; OLLAT, N.; OLLAT, N. Adapting plant material to face water stress in vineyards: Which physiological targets for an optimal control of plant water status? **Oeno One**, v. 51, n. 02, p. 167–179, 2017.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P. S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. com dois tamanhos. **Revista Agro@ambiente Online**, v. 07, n. 02, p. 203–208, 2013.

SOARES, A. M. dos S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 01, n. 01, p.0 9–19, 2007.

SORIANO, D.; OROZCO-SEGOVIA, A.; MRQUEZ-GUZMN, J.; KITAJIMA, K.; GAMBOA-DE BUEN, A.; HUANTE, P. Seed reserve composition in 19 tree species of a tropical deciduous forest in Mexico and its relationship to seed germination and seedling growth. **Annals of Botany**, v. 107, n. 06, p. 939–951, 2011.

SOUZA, L. C. DE; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. S.; SILVA, J. N. DA; RESUENO, C. C.; COELHO; NEVES, M. G.; NETO, C. F. D. O.; LOBATO, A. K. D. S. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 02, p. 117–128, 2014.

STEUTER, A. A.; MOZAFAR, A.; GOODIN, J. O. E. R. Water potential of aqueous polyethylene glycol. **Plant Physiology**, v. 67, n. 01, p. 64–67, 1981.

SUNMONU, T. O.; KULKARNI, M. G.; VAN STADEN, J. Smoke-water, karrikinolide and gibberellic acid stimulate growth in bean and maize seedlings by efficient starch mobilization and suppression of oxidative stress. **South African Journal of Botany**, v. 102, n, 0, p.04–11, 2016.

TAVARES, L. C.; RUFINO, C. D. A.; BRUNES, A. P.; TUNES, L. M. De; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência rural**, v. 43, n. 08, p. 1357–1363, 2013.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

VARMUZA, K.; FILZMOSE, P. **Introduction to Multivariate Statistical Analysis in Chemometrics**. Boca Raton: CRC Press, 2009. 336 p.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. dos S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 05, p. 687–695, 2012.



VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.

VILLELA, F. A.; MARCOS FILHO, J.; NOVENBRE, A. D. D. L. C. Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 01, p. 95–100, 2003.

VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 16, n. 02, p. 123–132, 2005.

WRASSE, C. F.; MENEZES, N. L. De; MARCHESAN, E.; AMARAL, F.; BORTOLOTTI, R. P. Testes de vigor para sementes de arroz e sua relação com o comportamento de hidratação de sementes e a emergência de plântulas. **Científica**, v. 37, n. 02, p. 107–114, 2009.

ZADEBAGHERI, M.; AZARPANAH, A.; JAVANMARDI, S. Proline metabolite transport an efficient approach in corn yield improvement as response to drought conditions. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 13, n. 12, p. 1632–1641, 2013.