

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**OSMOCONDICIONAMENTO EM SEMENTES DE UROCHLOA BRIZANTHA
(HOCHST. EX A. RICH.) R. D. WEBSTER: QUALIDADE FÍSICA, FISIOLÓGICA E
DESEMPENHO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Ana Clara Moura de Sousa
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

ANA CLARA MOURA DE SOUSA

**OSMOCONDICIONAMENTO EM SEMENTES DE UROCHLOA BRIZANTHA
(HOCHST. EX A. RICH.) R. D. WEBSTER: QUALIDADE FÍSICA, FISIOLÓGICA E
DESEMPENHO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Denise C F Dos Santos Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus**

T

S725o
2024 Sousa, Ana Clara Moura de, 2000-
Osmocondicionamento em sementes de *Urochloa brizantha*
(Hochst. ex. A. Rich.) R. D. Webster: qualidade física, fisiológica e
desempenho sob déficit hídrico / Ana Clara Moura de Sousa. - Viçosa,
MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (66 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2024.

Referências bibliográficas: .

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.665>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Capim-braquiaria - Semente - Efeito do estresse; 2. Capim-
braquiaria - Semente - Fisiologia; 3. Estresse (Fisiologia); 4.
Germinação; I. Dias, Denise Cunha Fernandes dos Santos II.
Universidade Federal de Viçosa.. Departamento de Agronomia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia III. Título

CDD 22. ed. 633.20821

Bibliotecário(a) responsável: ALICE REGINA PINTO PIRES CRB-6/2523

ANA CLARA MOURA DE SOUSA

**OSMOCONDICIONAMENTO EM SEMENTES DE UROCHLOA BRIZANTHA
(HOCHST. EX A. RICH.) R. D. WEBSTER: QUALIDADE FÍSICA, FISIOLÓGICA E
DESEMPENHO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de agosto de 2024.

Assentimento:

Ana Clara Moura de Sousa
Autora

Denise Cunha Fernandes Dos Santos Dias
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 19/11/2024 às 11:35:51 e pela orientadora em 19/11/2024 às 13:24:33. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **6IWA.YK8S.RIDD** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais e às minhas irmãs. Fonte inesgotável de inspiração, amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo infinito amor e por me sustentar nas adversidades da vida, guiando meu caminho com saúde e proteção.

À minha mãe, Eliane Moura, minha melhor amiga, uma mãe incrível e uma mulher forte e resiliente. Você não apenas me apoiou e incentivou nos estudos, mas também foi minha inspiração diária. Sou imensamente grata por ter você ao meu lado. E ao meu pai, Lailson Sousa (in memoriam), sua sabedoria e ensinamentos continuam a guiar meus passos, e seu exemplo de vida é uma lembrança constante do que é ser verdadeiramente dedicado e batalhador. Embora você não esteja mais fisicamente presente, sinto sua presença em cada etapa desta jornada. Amo vocês além das palavras.

Às minhas irmãs, Ana Paula Sousa, Ingridy Sadala, Larissa Sousa e Maria Luiza Sousa, por me ensinarem o verdadeiro significado de laços eternos de companheirismo e amizade. Amo vocês.

Ao meu companheiro, Alessandro Lima, sou profundamente grata por compartilhar a vida ao seu lado. Você é uma grande inspiração, tanto pessoal quanto profissionalmente. Obrigada por todo apoio. Amo você.

Aos meus queridos amigos, João Pedro, Thalita, Ana Lucia e Adrielle, minha profunda gratidão por estarem presentes na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de desenvolvimento e formação profissional.

À minha professora e orientadora, Dra. Denise Cunha F. S. Dias, expresso minha profunda gratidão pelos ensinamentos e pela dedicação na orientação deste trabalho. Sua orientação cuidadosa e apoio foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos professores Laércio Silva e Paulo Cecon, meu sincero agradecimento pela colaboração constante, disponibilidade e apoio.

Ao Departamento de Agronomia, especialmente aos técnicos e amigos do Grupo de Estudos em Sementes (GSEM): Amanda, Ana Clara, Cecília, Cleidiane, Fernanda, Gabriel, Ítallo, Joyce, Júlia, Luciano, Marcelo, Maricélio, Samuel, Tércio e Wander. Obrigada por todo apoio.

À FAPEMIG, pelo financiamento da bolsa de estudos e pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

O trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

SOUSA, Ana Clara Moura de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2024. **Osmocondicionamento em sementes de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. D. Webster: qualidade física, fisiológica e desempenho sob déficit hídrico.** Orientadora: Denise Cunha Fernandes Dos Santos Dias.

O Brasil é líder mundial na produção, consumo e exportação de sementes de gramíneas forrageiras, com destaque para o gênero *Urochloa*, que representa 80% das pastagens do país. No entanto, as sementes dessas espécies apresentam germinação lenta e irregular, especialmente sob estresses abióticos. O condicionamento fisiológico é uma técnica que pode ser utilizada para acelerar a germinação e uniformizar o estabelecimento das plântulas. Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos do osmocondicionamento em sementes de *Urochloa brizantha*, cv. Piatã, nos atributos físicos, fisiológicos e desempenho sob déficit hídrico. Inicialmente, foi realizada a curva de embebição de dois lotes de sementes em água e nas soluções osmóticas de KNO_3 (0,2%), PEG 6000 (-0,8 MPa) e SNP (0,10 mmol.L⁻¹). As sementes foram então osmocondicionadas por 24 h em KNO_3 e SNP e por 48 h em PEG 6000, nas concentrações acima, com sementes não tratadas como controle. Posteriormente, foram submetidas a testes de raios X, germinação, índices de velocidade de germinação e emissão de radícula, além de testes de emergência e crescimento de plântulas sob condições ideais (0 MPa) e sob déficit hídrico (-0,2 MPa). O condicionamento osmótico não alterou as características físicas das sementes de *U. brizantha* avaliadas pelo teste de raios X. O osmocondicionamento com SNP e KNO_3 melhorou o desempenho germinativo das sementes e o crescimento de plântulas sob condições ideais. Sob déficit hídrico, ambos os tratamentos promoveram maior crescimento e vigor das plântulas. O condicionamento com PEG 6000 -0,8 MPa por 48 h não foi benéfico para as sementes de *U. brizantha*.

Palavras-chave: braquiária. condicionamento fisiológico. estresses abióticos. germinação. *priming*

ABSTRACT

SOUSA, Ana Clara Moura de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2024.
Priming in seeds of *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. D. Webster: physical and physiological quality and performance under water deficit.
Adviser: Denise Cunha Fernandes Dos Santos Dias.

Brazil is a global leader in the production, consumption, and export of forage grass seeds, particularly in the genus *Urochloa*, which accounts for 80% of the country's pastures. However, seeds of these species often exhibit slow and irregular germination, particularly under abiotic stress. Seed priming is a technique that can be used to enhance germination rates and ensure uniform seedling establishment. In this context, the objective was to evaluate the effects of osmopriming on *Urochloa brizantha* seeds (cv. Piatã) in terms of physical and physiological attributes and performance under water deficit conditions. Initially, two seed lots were imbibed in water and osmotic solutions of KNO₃ (0.2%), PEG 6000 (-0.8 MPa), and SNP (0.10 mmol.L⁻¹). The seeds were then primed for 24 h in KNO₃ and SNP, and for 48 h in PEG 6000 at the specified concentrations, with untreated seeds serving as controls. Subsequently, tests were performed including X-ray imaging, germination assays, germination speed index, and radicle emergence. Emergence and seedling growth tests were conducted under optimal conditions (0 MPa) and water deficit (-0.2 MPa). Osmopriming did not alter the physical characteristics of *U. brizantha* seeds as evaluated by X-ray tests. Priming with SNP and KNO₃ improved seed germination performance and seedling growth under optimal conditions. Under water deficit, both treatments promoted greater seedling growth and vigor. Priming with PEG 6000 (-0.8 MPa) for 48 h did not benefit *U. brizantha* seeds.

Keywords: brachiaria. physiological conditioning. abiotic stress. germination. priming

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Classificação das plântulas de <i>U. brizantha</i>	23
FIGURA 2 - Classificação de sementes de <i>U. brizantha</i> avaliadas pelo tetrazólio.....	23
FIGURA 3 - Teor de água durante a embebição de sementes de <i>U. brizantha</i> , lote 1 (A) e lote 2 (B). A seta indica o início visível da germinação (emissão da radícula).....	27
FIGURA 4 - Atributos físicos de sementes de <i>U. brizantha</i> condicionadas e não condicionadas, lote 1.....	31
FIGURA 5 - Imagens radiográficas de sementes de <i>U. brizantha</i> condicionadas com KNO ₃ e não condicionadas (controle), lote 1.....	32
FIGURA 6 - Atributos físicos de sementes de <i>U. brizantha</i> condicionadas e não condicionadas, lote 2.....	33
FIGURA 7 - Germinação (G), primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) de sementes de <i>U. brizantha</i> condicionadas e não condicionadas, lote 1 (A e C) e lote 2 (B e D).....	34
FIGURA 8 - Emergência (E) e índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de <i>U. brizantha</i> dos lotes 1 (A e C) e 2 (B e D) após diferentes tratamentos de condicionamento osmótico.....	39
FIGURA 9 - Plântulas de <i>U. brizantha</i> obtidas no teste de crescimento realizado com sementes do lote 2 não condicionadas (controle) e osmocondicionadas com SNP.....	43
FIGURA 10 - Germinação (G); primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) sob déficit hídrico de sementes de <i>U. brizantha</i> do lote 1 submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.....	45
FIGURA 11 - Germinação (G); primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) sob déficit hídrico de sementes de <i>U. brizantha</i> do lote 2 submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.....	47
FIGURA 12 - Plântulas de <i>U. brizantha</i> obtidas no teste de crescimento sob déficit hídrico das sementes dos lotes 1 (A) e 2 (B), dos tratamentos controle e osmocondicionamento com KNO ₃ e SNP.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de água das sementes após a curva de embebição.....	26
Tabela 2 - Teor de água das sementes de <i>U. brizantha</i> após o condicionamento osmótico, antes e após a secagem.....	30
Tabela 3 - Sementes remanescentes do teste de germinação de cada tratamento dos lotes 1 e 2, avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes viáveis (SV), não viáveis (SN) e deterioradas (SD).....	38
Tabela 4 - Atributos de vigor obtidos pelo teste de crescimento de plântulas realizado em sementes de <i>U. brizantha</i> submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.....	42
Tabela 5 - Sementes remanescentes do teste de germinação de cada tratamento dos lotes 1 e 2, avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes viáveis (SV), não viáveis (SN) e deterioradas (SD).....	49
Tabela 6 - Atributos de vigor obtidos pelo teste de crescimento de plântulas sob déficit hídrico realizado em sementes de <i>U. brizantha</i> submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1. <i>Condicionamento fisiológico de sementes.....</i>	<i>12</i>
2.2. <i>Efeitos do condicionamento na qualidade de sementes.....</i>	<i>16</i>
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. <i>Aplicação dos tratamentos.....</i>	<i>19</i>
3.2. <i>Avaliação da qualidade das sementes.....</i>	<i>20</i>
3.2.1. <i>Qualidade física.....</i>	<i>20</i>
3.2.1.1. <i>Raios X.....</i>	<i>20</i>
3.2.2. <i>Qualidade fisiológica.....</i>	<i>21</i>
3.2.2.1. <i>Germinação.....</i>	<i>21</i>
3.2.2.2. <i>Emergência de plântulas.....</i>	<i>23</i>
3.3. <i>Déficit hídrico.....</i>	<i>24</i>
3.4. <i>Delineamento experimental e análise estatística.....</i>	<i>25</i>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1. <i>Ensaio I – Curva de embebição em sementes de U. brizantha com H₂O, PEG, KNO₃ e SNP.....</i>	<i>25</i>
4.2. <i>Ensaio II – Efeito do condicionamento osmótico no desempenho de sementes de U. brizantha.....</i>	<i>29</i>
4.2.1. <i>Qualidade física.....</i>	<i>30</i>
4.2.1.1. <i>Raios X.....</i>	<i>30</i>
4.2.2. <i>Qualidade fisiológica.....</i>	<i>33</i>
4.2.2.1. <i>Germinação.....</i>	<i>33</i>
4.2.2.2. <i>Emergência de plântulas.....</i>	<i>38</i>
4.2.2.3. <i>Crescimento/análise computadorizada de plântulas.....</i>	<i>41</i>
4.3. <i>Ensaio IV – Efeito do osmocondicionamento em sementes de U. brizantha sob estresse.....</i>	<i>44</i>
4.3.1. <i>Qualidade fisiológica.....</i>	<i>44</i>
4.3.1.1. <i>Germinação.....</i>	<i>44</i>
4.3.1.2. <i>Crescimento/análise computadorizada de plântulas.....</i>	<i>49</i>
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

O rebanho bovino brasileiro é o segundo maior do mundo, com cerca de 244 milhões de cabeças, alimentado predominantemente por pastoreio livre em pastagens (mais de 95%), a forma mais econômica e prática de fornecer alimentos para os rebanhos (USDA, 2020). Atualmente, no Brasil, existem cerca de 180 milhões de hectares (Mha) de terras ocupadas por pastagens, sendo 120 Mha pastagens cultivadas e mais da metade são espécies do gênero *Urochloa* (syn. *Brachiaria*) (HUNGRIA et al., 2021). Nesse contexto, o país posiciona-se na liderança mundial em produção, consumo e exportação de sementes forrageiras, um dos maiores segmentos no comércio nacional de sementes e, as forrageiras desenvolvidas e adaptadas para a produção animal em pastagens contribuem para que o Brasil mantenha a condição de grande produtor e exportador mundial de carne bovina (EMBRAPA, 2021).

A produção de sementes forrageiras, especialmente do gênero *Urochloa*, atende a uma demanda crescente e tem se expandido para várias regiões do Brasil, pois são espécies adaptáveis a uma ampla gama de condições de clima e solo. Assim, a produção e utilização de sementes com alta qualidade fisiológica, genética, física e sanitária é um fator fundamental que ajuda a promover a qualidade da implementação de novas áreas e a renovação das pastagens. Contudo, a germinação das sementes de *Urochloa* frequentemente apresenta desafios devido à desuniformidade de maturação e ocorrência de dormência pós-colheita, prejudicando o estabelecimento de plântulas em campo, principalmente quando expostas a situações de estresse nas fases iniciais de germinação (BINOTTI et al., 2014).

O déficit hídrico está entre as principais situações de estresse que afetam a germinação e a emergência de plântulas no campo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (SABERALI e MORADI, 2019). Portanto, a germinação rápida e uniforme é essencial para o estabelecimento adequado de pastagens, sobretudo em condições de estresse. Nesse contexto, justifica-se o uso de tratamentos que reduzam o tempo necessário entre a semeadura e a emergência das plântulas, resultando em maior segurança quanto à obtenção de populações desejadas de plantas por área.

Dentre estes tratamentos, destaca-se o condicionamento osmótico (CO) de sementes, pois permite o controle da velocidade de embebição de água pelas sementes com o uso de soluções osmóticas, permitindo a ocorrência dos processos

fisiológicos iniciais (fases I e II do processo de germinação), sem atingir umidade suficiente para que ocorra o alongamento celular e, conseqüentemente, a emissão da radícula (fase III do processo de germinação) (MARCOS-FILHO, 2015). Essa técnica acelera a emergência de plântulas, ativa os processos metabólicos que ocorrem nas fases iniciais da germinação e garante uma germinação mais rápida e uniforme, reduzindo o tempo de embebição após a semeadura em campo (HEYDECKER et al., 1978; MARTHANDAN et al., 2020). Permite a emergência das plântulas de forma rápida e uniforme diminuindo o tempo de exposição das sementes às condições adversas em campo e melhorando seu desempenho, especialmente sob estresses abióticos (LIU et al., 2018). É uma técnica alternativa, de baixo custo e viável, que pode melhorar o desempenho germinativo das sementes, pois induz à emergência de plântulas de forma mais rápida por meio da regulação de processos metabólicos nas fases iniciais da germinação como a ativação de enzimas pré-germinativas (HUSSAIN et al., 2016).

O condicionamento fisiológico é um tratamento indicado especialmente para espécies de sementes pequenas devido à sua praticidade de execução (NASCIMENTO, 2005). Assim, diversos estudos vem sendo realizados com sementes do gênero *Urochloa* (CARDOSO et al., 2014; CARDOSO et al., 2015; BATISTA et al., 2016; PEREIRA et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021) avaliando, principalmente, os efeitos de diferentes tratamentos no desempenho fisiológico das sementes de diversas cultivares. Mais recentemente, Peris et al. (2024) avaliaram os efeitos do osmocondicionamento em sementes de dois lotes de *U. decumbens* na qualidade fisiológica e nos atributos físicos, avaliados pelo teste de raios X, concluindo que houve melhoria tanto destes atributos como no desempenho das sementes sob condições de déficit hídrico.

Neste contexto, objetivou-se avaliar os efeitos do condicionamento com diferentes agentes osmóticos na qualidade física e fisiológica de sementes de *U. brizantha*, cv. Piatã, considerando também o seu desempenho sob condições de déficit hídrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Condicionamento fisiológico de sementes

A água é necessária à retomada da atividade metabólica das sementes, reações bioquímicas e estabilização da conformação das macromoléculas. A restauração da atividade metabólica, juntamente com a pressão de turgor adequada gerada pelo aumento progressivo do conteúdo de água nas células, leva ao crescimento do embrião e, por fim, à protrusão da radícula através do revestimento da semente, que define o ponto final da germinação (COPELAND et al., 2012).

Um processo de germinação de sementes rápido e eficiente, resultando em plântulas vigorosas e uniformes em campo, é fundamental na agricultura moderna, principalmente para espécies que têm germinação lenta e/ou desuniforme, como as de gramíneas forrageiras. Muitas vezes, durante a fase de emergência no campo, as sementes são expostas a múltiplos estresses bióticos e abióticos que podem afetar o seu desempenho e estabelecimento adequado das plântulas (KHALAKI et al., 2021).

Neste contexto, o condicionamento fisiológico de sementes, como proposto por Heydecker et al. (1978), é uma técnica que visa reduzir o tempo entre a germinação e a emergência das plântulas, além de obter estandes uniformes. A técnica envolve a hidratação controlada das sementes, as quais irão absorver água até atingirem o equilíbrio com o potencial osmótico da solução de embebição, de modo a ativar os processos metabólicos preparatórios da germinação, correspondentes às fases I e II dos estágios de embebição (Bewley et al., 2013) em que ocorre o reparo de macromoléculas e estruturas celulares, sem, contudo, atingir a fase III, quando ocorre o início da emissão da raiz primária (SIMON e MILLS, 1983; BEWLEY et al., 2013). Após o osmocondicionamento, as sementes podem ser secas até o seu teor de água inicial, o que permite o manuseio e/ou armazenamento por períodos curtos sem perder a viabilidade (NASCIMENTO, 2005).

Para tanto, são empregados diferentes métodos e soluções osmóticas que reduzem o potencial hídrico da solução e limitam a absorção de água pelas sementes, como a hidratação controlada (*hidropriming*), o uso de soluções osmóticas (*osmopriming*) e a aplicação de agentes químicos ou biológicos (*quimiopriming* e *biopriming*), podendo-se utilizar também o condicionamento em matriz sólida (BASU et al., 1994; SANTOS e MENEZES, 2000; ASHRAF e FOOLAD, 2007).

O osmocondicionamento é particularmente eficaz em condições ambientais adversas, que são cada vez mais prevalentes na agricultura contemporânea (RHAMAN et al., 2021). Trata-se de uma técnica alternativa, de baixo custo e viável

(MARTHANDAN et al., 2020) e interessante principalmente para espécies de sementes pequenas, tendo sido desenvolvida inicialmente para aplicação em sementes de hortaliças (NASCIMENTO e COSTA, 2009; PUTHIYOTTIL, 2015; YAN, 2015, CASTANARES e BOUZO, 2018), mas que vem sendo estudada também para sementes de gramíneas forrageiras (OLIVEIRA et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2022; SILVA et al., 2023; PERIS et al., 2024).

Os efeitos benéficos do condicionamento osmótico de sementes antes da semeadura têm sido amplamente relatados; no entanto, em alguns casos, o condicionamento não induziu os efeitos esperados ou foi até mesmo desvantajoso (ABDULRAHMANI et al., 2007; GHODRAT e ROUSTA, 2012; ASGHARIPOUR et al., 2014; AMORIM et al., 2015). Isso se deve ao fato de que a obtenção de resultados benéficos com o condicionamento depende, principalmente, da utilização de uma metodologia adequada permitindo que, ao final do condicionamento, todas as sementes atinjam um nível uniforme de hidratação sem iniciar a emissão da radícula. Assim, quando semeadas em campo terão germinação sincronizada, com emergência mais rápida e uniforme, favorecendo o estabelecimento de um estande adequado (SUBHABRATA et al., 2021).

Desse modo, diversos fatores determinam o sucesso da técnica de condicionamento osmótico, incluindo diferentes espécies e/ou cultivares que respondem de maneira distinta ao condicionamento (GEETHA et al., 1997; ASHRAF e FOOLAD, 2005; ABDULRAHMANI et al., 2007), a qualidade fisiológica inicial das sementes (KIKUTI e MARCOS-FILHO, 2009; ESHKAB e HARRIS, 2020; RHAMAN et al., 2020), o período de condicionamento (DEZFULI et al., 2008; GOVINDEN-SOULANGE e LEVANTARD, 2008; YARI et al., 2010; ESHKAB e HARRIS, 2020), a temperatura (NASCIMENTO, 2004; HUSSAIN et al., 2006; VARIER et al., 2010; WAQAS et al., 2019), o potencial osmótico da solução (GOMES et al., 2012; ASGHARIPOUR et al., 2014; FAIJUNNAHAR et al., 2017; AHMAD et al., 2017; ESHKAB e HARRIS, 2020), bem como o agente osmótico utilizado (FAROOQ et al., 2005; FAROOQ e WAHID, 2009; ESHKAB e HARRIS, 2020).

Dentre os solutos utilizados para reduzir o potencial osmótico da solução destacam-se os compostos orgânicos, como manitol, glicerol, espermidina, giberelina e polietileno glicol (PEG) (GIROLAMO e BARBANTI, 2012; LOPES et al., 2018; NAKAO, 2012; OKELLO et al., 2022). Além destes compostos orgânicos, substâncias

inorgânicas também têm sido recomendadas para o osmocondicionamento, tais como CaCl_2 , CaSO_4 , NaCl , KNO_3 , KCl , H_2O_2 , MgSO_4 , CuSO_4 e ZnSO_4 , NaNO_3 , MnSO_4 , MgCl_2 , K_3PO_4 , Ca_2SiO_4 (ALVARADO et al., 1987; HAIGH e BARLOW, 1987; FAROOQ et al., 2005; AFZAL et al. 2008; TIRYAKI e BUYUKCINGIL, 2009; ALVES et al., 2020; KHAING et al., 2020; OKELLO et al., 2022b). Além destes, o nitroprussiato de sódio (SNP), uma substância doadora de óxido nítrico, também vem sendo utilizado em pesquisas mais recentes (KAISER et al., 2016; KUSHWAHA, 2021; OLIVEIRA et al., 2021; PERIS et al., 2024).

O PEG é um dos agentes osmóticos mais utilizados, pois é um polímero osmoticamente ativo, quimicamente inerte e de elevado peso molecular, o que impede sua penetração nas células das sementes. Outra vantagem do PEG é que não se degrada e não causa toxicidade devido ao seu alto peso molecular, que varia de 4.000 a 12.000 Da (MARCOS-FILHO, 2015). No entanto, uma desvantagem significativa é que sua alta viscosidade pode afetar a disponibilidade de oxigênio para as sementes, dependendo da concentração utilizada. Essa alta viscosidade reduz a difusão do oxigênio na solução, o que pode impactar negativamente na germinação após o tratamento. Portanto, alguns autores recomendam a aeração da solução osmótica durante o processo para mitigar esse efeito (NASCIMENTO, 2003; BALBINOT e LOPES, 2006; MARCOS-FILHO, 2015; SILVEIRA et al., 2023).

Outro agente condicionante muito utilizado é o nitrato de potássio (KNO_3) é um importante agente na quebra da dormência e promoção da germinação, especialmente em sementes com dificuldade para germinar em condições normais. Ele desempenha um papel chave ao facilitar a respiração celular e o metabolismo energético, fornecendo a energia necessária para o início da germinação. Além disso, atua como agente redox, participando de reações químicas que ajudam a ativar processos vitais na semente. Também modula hormônios importantes para a germinação, como o ácido abscísico (ABA), que inibe o processo, e a giberelina (GA), que o estimula (HENDRICKS e TAYLORSON, 1974). O KNO_3 também tem demonstrado bons resultados como agente de condicionamento osmótico, melhorando o desempenho germinativo em diversas espécies, incluindo gramíneas forrageiras como *U. brizantha* (BONOME et al., 2006; BINOTTI et al., 2014; CARDOSO et al., 2015).

A aplicação exógena de doadores de óxido nítrico (ON), como o nitroprussiato de sódio (SNP), durante o condicionamento osmótico de sementes tem evidenciado efeitos significativos no crescimento e na produtividade das plantas, afetando diversos parâmetros físico-bioquímicos (OLIVEIRA et al., 2021; PERIS et al., 2024). O NO é uma molécula de sinalização redox essencial, envolvida em vários processos fisiológicos nas plantas, incluindo germinação e resposta ao estresse abiótico. O SNP alivia os danos oxidativos causados por estresses abióticos, auxiliando no combate das espécies reativas de oxigênio e modulando diretamente a expressão de genes que codificam enzimas antioxidantes. Além disso, ativa sistemas de defesa que restauram a homeostase redox nas células vegetais (KUSHWAHA, 2021). Em resumo, a aplicação exógena de SNP como doador de óxido nítrico no osmocondicionamento não apenas melhora a germinação e o crescimento das plântulas, mas também fortalece os mecanismos de defesa antioxidantes, conferindo maior resistência a estresses ambientais.

2.2. *Efeitos do condicionamento na qualidade de sementes*

A qualidade das sementes condicionadas é avaliada por parâmetros como taxa de germinação, vigor das plântulas, uniformidade do crescimento e resistência a condições ambientais adversas (PAPARELLA et al., 2015). Assim, diversas pesquisas têm sido realizadas para estudar os efeitos do condicionamento em espécies de *Urochloa* e outras espécies, explorando uma variedade de métodos e condições de condicionamento. Nesse contexto, o condicionamento fisiológico de sementes tem se mostrado uma técnica eficaz para melhorar o desempenho das sementes em campo (RHAMAN et al., 2020).

Em sementes de *U. brizantha* cv. MG-5, o condicionamento fisiológico, utilizando três fontes de glicídios (glicose, sacarose e maltose) em seis diferentes concentrações, mostrou resultados promissores. As concentrações de 2% e 5% de glicose proporcionaram aumento significativo na massa seca das plântulas (BATISTA et al., 2018). Para esta mesma espécie e cultivar, Binotti et al. (2014) avaliaram o efeito da escarificação química com ácido sulfúrico e períodos de pré-embrição em solução de nitrato de potássio (KNO_3) na superação de dormência de sementes e no desempenho inicial de plântulas. O tratamento pré-germinativo das sementes em

solução de nitrato de potássio (0,2%) demonstrou efeitos benéficos na velocidade de germinação das sementes. Já o condicionamento osmótico em soluções com KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e bioestimulante proporcionou um aumento de potássio, cálcio e magnésio, respectivamente, na composição química das sementes de *U. brizantha* cv. MG-5 (CARDOSO et al., 2015).

O condicionamento osmótico de sementes de *U. brizantha* cv. Marandu em soluções aeradas de PEG (6000), KNO_3 e em mistura de PEG (6000) + KNO_3 , durante 12 h, promoveu aumento na velocidade de protrusão radicular em comparação à testemunha. As sementes osmocondicionadas em solução de KNO_3 por 12 h apresentaram uniformidade de germinação superior tanto à testemunha quanto às sementes imersas nas outras soluções condicionadoras (BONOME et al., 2006).

Pereira et al. (2008) observaram que, o condicionamento em água a 25 °C por 85 h melhorou significativamente o percentual e o índice de velocidade de germinação das sementes de *U. brizantha* cv. Xaraés.

Sementes de *U. brizantha* cv. BRS Piatã, foram osmocondicionadas em nitrato de cálcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, sulfato de cálcio CaSO_4 e KNO_3 , observando-se que os três agentes foram eficientes para reduzir a porcentagem de sementes dormentes e aumentar a velocidade de emergência das plântulas (RIBEIRO et al., 2019).

Agostini et al. (2022) avaliaram os efeitos do osmocondicionamento com água, biorreguladores (auxina, citocinina e giberelina) e etanol na germinação, dormência e alterações bioquímicas, incluindo a atividade da superóxido dismutase, o conteúdo de malonaldeído e de peróxido de hidrogênio em sementes de *U. humidicola*. Eles constataram que o osmocondicionamento das sementes resultou em qualidade fisiológica superior em comparação com as sementes não condicionadas ou condicionadas apenas com água.

O condicionamento osmótico tem sido considerado promissor especialmente para melhorar o desempenho das sementes sob situações de estresse. Batista et al. (2016) avaliaram o desempenho de sementes de *U. brizantha* cv. MG-5 submetidas ao condicionamento fisiológico com água, KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, giberelina e glicose sob condições de estresse por alta umidade e temperatura. O uso de KNO_3 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ foi eficaz na superação da dormência e aumentou a tolerância das sementes ao estresse.

Oliveira et al. (2021) avaliaram o efeito do condicionamento fisiológico na germinação de sementes, quebra de dormência e comprimento de plântulas de *U.*

brizantha sob restrição hídrica e estresse salino. Foram utilizadas cinco soluções condicionantes (água destilada, KNO_3 , espermidina, giberelina e SNP) e o controle (sementes não condicionadas). Os resultados mostraram que o condicionamento fisiológico é eficaz em minimizar os efeitos negativos da restrição hídrica e da salinidade. O uso de SNP no condicionamento destacou-se por reduzir a porcentagem de sementes dormentes, além de aumentar a germinação, o vigor e o desenvolvimento das plantas.

Mais recentemente, Peris et al. (2024) estudaram os efeitos do *osmopriming* com H_2O , PEG 6000, KNO_3 e SNP e sua relação com os atributos físicos e fisiológicos das sementes de *U. decumbens* sob déficit hídrico. Os resultados indicaram que, de maneira geral, o *osmopriming* não melhorou o desempenho fisiológico das sementes sob condições ideais de germinação. Por outro lado, o uso do SNP ($0,10 \text{ mmol L}^{-1}$) e PEG ($-0,8 \text{ MPa}$) contribuiu para o melhor desempenho das sementes sob déficit hídrico. Além das avaliações de qualidade fisiológica, os autores utilizaram ferramentas de análise de imagens de raios X para avaliar as alterações físicas nas sementes promovidas pelo condicionamento osmótico evidenciando melhorias nos atributos físicos como área, escala de cinza, perímetro e densidade do tecido das sementes de *U. decumbens*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil. Foram utilizados dois lotes de sementes de *U. brizantha* (capim braquiária), cultivar Piatã, fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), produzidas na safra 2022/23.

As sementes foram submetidas aos ensaios descritos a seguir.

Ensaio I – Curva de embebição das sementes de U. brizantha em H_2O , PEG, KNO_3 e SNP.

Após a determinação inicial do teor de água das sementes, foi realizada a pesagem de 4 g de sementes de *U. brizantha* que foram colocadas para embeber em

caixas gerbox, tendo como substrato duas folhas de papel germitest umedecidas com volume de solução equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco: água destilada (0 MPa), polietileno glicol (PEG 6000) a -0,8 MPa; nitrato de potássio (KNO_3) a 0,2% (CARDOSO et al., 2014; CARDOSO et al., 2015) e solução de nitroprussiato de sódio (SNP) 0,10 mmol.L⁻¹ (ATAÍDE et al., 2015; SILVA et al., 2015; FARAJI et al., 2018). As amostras foram mantidas em câmara de germinação tipo BOD com temperaturas alternadas de 20-35 °C e fotoperíodo de oito horas.

Para avaliar a embebição das sementes em função do tempo e obtenção da curva de embebição em cada solução, foram realizadas pesagens até o início da emissão da raiz primária de 50% das sementes contidas em cada amostra. Assim, foram realizadas pesagens em 13 períodos de embebição (0, 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas). Com os valores obtidos em cada pesagem foi calculado o teor de água das sementes com base no monitoramento do peso (g) utilizando-se a equação 1:

$$P_i (100 - U_i) = P_f (100 - U_f) \quad (1)$$

Em que P_i = peso inicial das sementes (g); U_i = umidade inicial das sementes (%); P_f = peso final das sementes (g); U_f = umidade final das sementes (%).

Ao final do período de embebição, o teor de água das sementes foi determinado em estufa a 105 °C por 24 h, utilizando-se duas repetições de 50 sementes por tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida) (BRASIL, 2009).

Ensaio II – Efeito do condicionamento osmótico no desempenho das sementes de U. brizantha.

3.1. Aplicação dos tratamentos

As sementes de cada lote foram submetidas ao condicionamento osmótico utilizando o método de solução aerada. Para isso, foram colocadas em frascos *erlenmeyer* contendo 500 mL de cada solução condicionadora: polietileno glicol (PEG 6000) a -0,8 MPa por 48 h; nitrato de potássio (KNO_3) a 0,2% (CARDOSO et al., 2014;

CARDOSO et al., 2015); e nitroprussiato de sódio (SNP) a $0,10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (ATAÍDE et al., 2015; SILVA et al., 2015; FARAJI et al., 2018) por 24 h. Os períodos foram determinados com base na curva de embebição realizada no Ensaio I, selecionando-se o tempo imediatamente anterior à emissão da radícula de 50% das sementes. Sementes não condicionadas foram utilizadas como controle. Os frascos foram vedados com plástico filme e mantidos em incubadora BOD a 25°C , com aeração constante fornecida por uma bomba de ar de aquário (PEREIRA et al., 2018). Após o condicionamento osmótico, as sementes foram lavadas em água corrente e secas em papel toalha, a 25°C , até atingirem um teor de umidade de aproximadamente 12%, o que foi alcançado em cerca de 48 h.

O teor de água das sementes de cada tratamento foi determinado imediatamente após o CO e após a secagem, com duas repetições de 50 sementes que foram secas em estufa a 105°C por 24 h (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem (b.u.).

3.2. Avaliação da qualidade das sementes

3.2.1. Qualidade física

3.2.1.1. Raios X

Para a análise da morfologia interna das sementes, foram utilizadas oito repetições de 25 sementes por tratamento. As sementes foram fixadas em papel adesivo e, em seguida, colocadas no interior do equipamento de Raios X digital Faxitron, modelo MX-20 (Faxitron Xray Corp. Wheeling, IL, U.S.A).

Para gerar as imagens radiográficas, o equipamento foi configurado com o tempo de exposição à radiação de 10 segundos, tensão de 23 kV, distância focal de 27,8 cm e contraste da imagem calibrado em 2290 (width) x 1573 (center). As imagens digitais geradas foram salvas em computador no formato TIFF, processadas e analisadas em seguida. As imagens radiográficas foram processadas e avaliadas utilizando-se a ferramenta de processamento de imagens IJCropSeed, no software ImageJ®.

Após o processamento, foram determinadas as seguintes variáveis (MEDEIROS et al., 2020; FELIX et al., 2024):

Área (mm^2) - seleção da superfície da semente (mm^2), calculada a partir dos limites definidos pelo perímetro.

Perímetro (mm) - limite externo da seleção da semente (mm), calculado a partir dos centros dos pixels de limite.

Largura (mm) - medida da largura (mm) definida pelo menor retângulo delimitador que envolve a seleção da semente.

Solidez - valor escalar (0,0 a 1,0), indicando a relação entre a área da semente capturada na imagem e a área convexa de cada semente.

Densidade relativa ($\text{cinza}.\text{mm}^{-1}$) - refere-se ao valor médio de cinza dentro da seleção.

Densidade integrada ($\text{cinza}.\text{mm}.\text{pixel}^{-1}$) - refere-se à soma dos valores de escala de cinza na partícula.

3.2.2. Qualidade fisiológica

3.2.2.1. Germinação

Foram realizados testes com quatro repetições de 50 sementes. As sementes foram semeadas sobre duas folhas de papel germitest em caixas do tipo gerbox; o papel foi umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (g). As sementes permaneceram em câmaras de incubação do tipo BOD com temperatura alternada de 20 a 35 °C e fotoperíodo de oito horas.

Ao final do teste de germinação, as sementes que não germinaram e não apresentaram tecido flácido foram submetidas ao teste de tetrazólio para avaliar a sua viabilidade, conforme metodologia descrita por Custódio e Aguiar (2020). As sementes foram cortadas longitudinalmente com um bisturi e após o corte de cada semente, apenas uma metade foi colocada em solução de cloreto de 2,3,5-trifenil tetrazólio a 0,1% em um recipiente escuro e mantido em câmara de germinação do tipo BOD à temperatura constante de 40 °C por três horas, no escuro (OLIVEIRA et al., 2021). As sementes foram avaliadas considerando a localização e a intensidade da coloração de suas partes, o que permitiu identificar as sementes viáveis (SV), não

viáveis (SN) e em avançada deterioração (SD) (DIAS e ALVES, 2000; CUSTÓDIO e AGUIAR, 2020) (Figura 2). As sementes viáveis remanescentes do teste de germinação foram consideradas sementes dormentes e expressas em porcentagem. Essas sementes viáveis não foram adicionadas à porcentagem de germinação, o critério para inclusão na porcentagem de germinação foi apenas as plântulas normais (Figura 1).

Assim foi possível obter as seguintes variáveis:

Primeira contagem de germinação: conduzido conjuntamente com o teste de germinação, consistiu no registro da porcentagem de plântulas normais obtidas na data primeira contagem, ou seja, aos sete dias após a semeadura (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Emissão da raiz primária: conduzido conjuntamente com o teste de germinação, consistiu no registro da porcentagem de sementes cuja radícula apresentava-se superior a 2 mm (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Germinação: porcentagem de plântulas normais obtidas até o final do teste, ou seja, até 21 dias após a semeadura (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação: foi calculado de acordo com a equação 2, proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (2)$$

Em que IVG = índice de velocidade de germinação; G_1 , G_2 e G_n = nº de plântulas computadas na 1ª, 2ª, ... e última contagem; N_1 , N_2 , N_n = nº de dias da semeadura até a 1ª, 2ª, ... e última contagem.

Índice de velocidade de emissão da raiz primária: foi calculado de acordo com a equação 3, adaptada de Maguire (1962):

$$IVER = \frac{ER_1}{N_1} + \frac{ER_2}{N_2} + \dots + \frac{ER_n}{N_n} \quad (3)$$

Em que IVER = índice de velocidade de emissão da raiz primária; E_1 , E_2 e E_n = nº de sementes com emissão da radícula computadas na 1ª, 2ª, ... e última contagem; N_1 , N_2 , N_n = nº de dias da semeadura até a 1ª, 2ª, ... e última contagem.

Figura 1. Classificação das plântulas de *U. brizantha*.

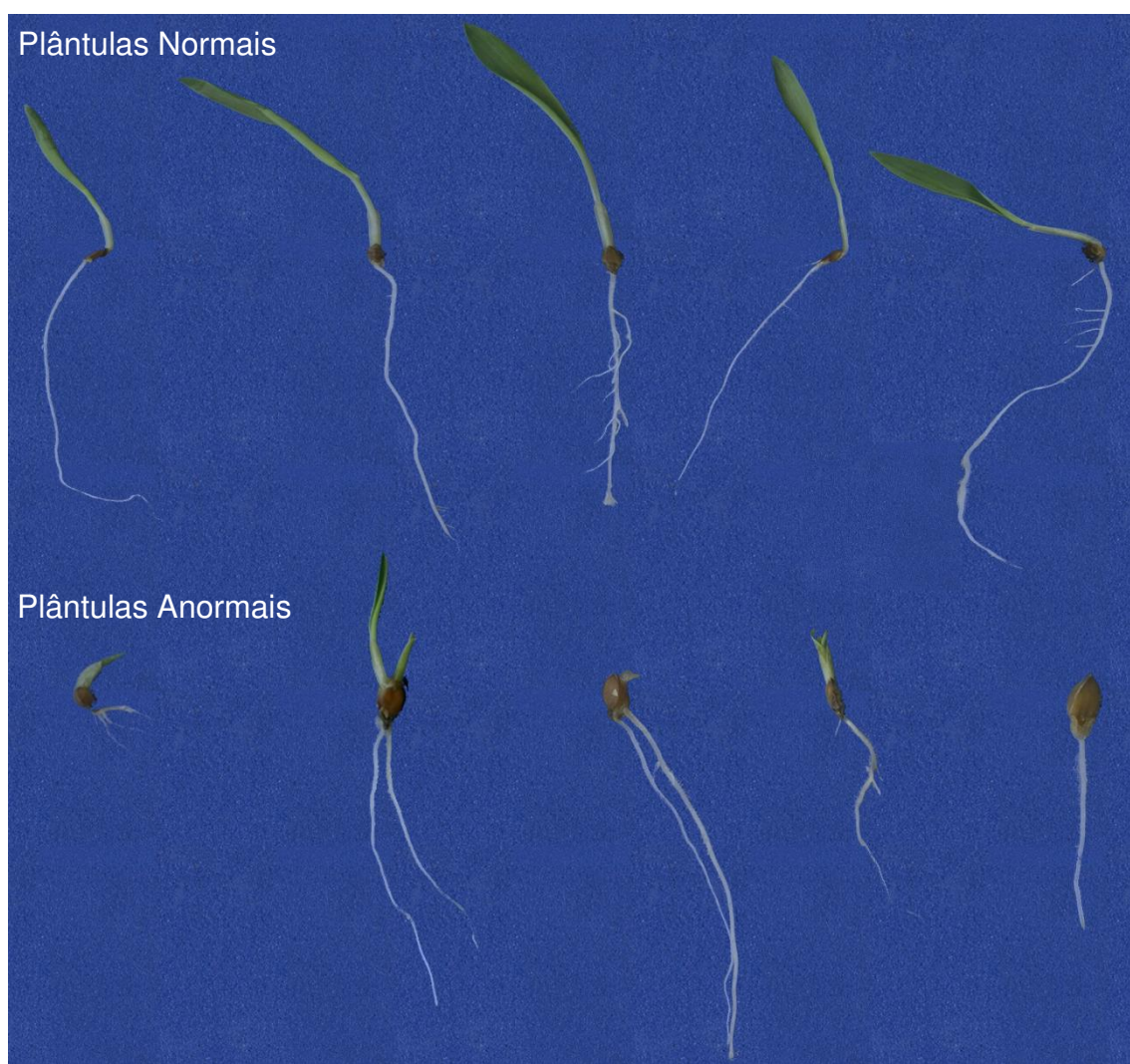


Figura 2. Classificação de sementes de *U. brizantha* avaliadas pelo tetrazólio.



3.2.2.2. Emergência de plântulas

O teste foi realizado em ambiente de laboratório em bandejas plásticas contendo mistura de solo e areia na proporção de 1:1 com quatro repetições de 50 sementes, semeadas na profundidade de 1,0 cm. A porcentagem de emergência foi calculada computando-se o total de plântulas emergidas, com as plúmulas acima da superfície do substrato, após a completa estabilização do estande. Assim, calculou-se o índice de velocidade de emergência (IVE) a partir dos valores diários, obtidos do número de plantas emergidas do primeiro ao último dia de duração do teste de emergência (KRZYZANOWSKI et al., 2020), conforme fórmula proposta por Maguire (1962).

3.2.2.3. Crescimento/análise computadorizada de plântulas

O teste de crescimento de plântulas foi conduzido utilizando-se 10 repetições de 20 sementes, nas mesmas condições descritas para o teste de germinação (GOMES-JUNIOR, 2020). As caixas foram colocadas em sacos plásticos para evitar a perda de umidade. As imagens das plântulas foram obtidas aos 7 dias após a instalação do teste, equivalente ao período da primeira contagem de germinação (BRASIL, 2009).

Um escâner modelo EPSON PERFECTION V700 PHOTO foi usado para capturar as imagens de cada plântula. As plântulas foram retiradas do papel e inseridas na bandeja do módulo de captura para obtenção das imagens. Após isso as imagens foram processadas no software ImageJ para obtenção das medidas de comprimento do hipocótilo e da raiz primária. Os dados obtidos foram processados no pacote SeedCalc no software R (SILVA et al. 2019), para obtenção dos parâmetros: comprimento da parte aérea (cm), comprimento da raiz primária (cm), comprimento total (cm), relação comprimento da parte aérea e comprimento da raiz primária, índice de uniformidade, índice de crescimento e índice de vigor corrigido (SAKO et al., 2001).

Ensaio III – Efeito do osmocondicionamento em sementes de U. brizantha sob déficit hídrico.

3.3. Déficit hídrico

Adotou-se a metodologia descrita acima para o teste de germinação. As sementes de cada tratamento foram colocadas para germinar em papel toalha umedecido com água destilada (controle) e sob condição de restrição hídrica (papel toalha umedecido com solução de PEG 6000 a -0,2 MPa (OLIVEIRA et al., 2021). Para o preparo desta solução foi utilizada a quantidade de PEG de 119,571 g.L⁻¹ (VILLELA et al., 1991).

Foram realizados os testes de germinação e crescimento/análise computadorizada de plântulas conforme metodologias descritas no ensaio II.

3.4. *Delineamento experimental e análise estatística*

Os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Para o ensaio I, foi utilizada uma análise de regressão ajustada ao modelo logarítmico de dois parâmetros, conforme a equação 4.

$$y = a * \ln(x) + y_0 \quad (4)$$

Em que a = coeficiente que representa a taxa de variação do teor de água (%) em relação ao logaritmo natural do tempo (x); y₀ = teor de água inicial (%).

No ensaio II, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O ensaio III seguiu um esquema fatorial 4x2, envolvendo quatro tratamentos de osmocondicionamento e duas condições (sem e com estresse). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. *Ensaio I – Curva de embebição em sementes de U. brizantha com H₂O, PEG, KNO₃ e SNP.*

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram o teor de água (%) das sementes dos dois lotes após a curva de embebição em diferentes soluções: água

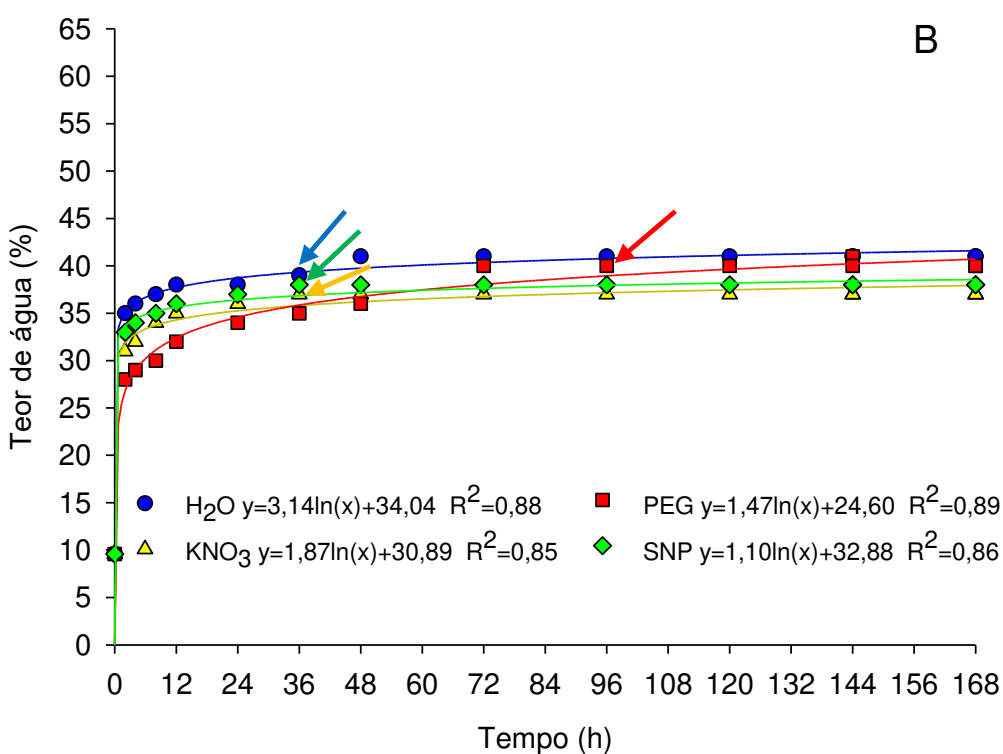
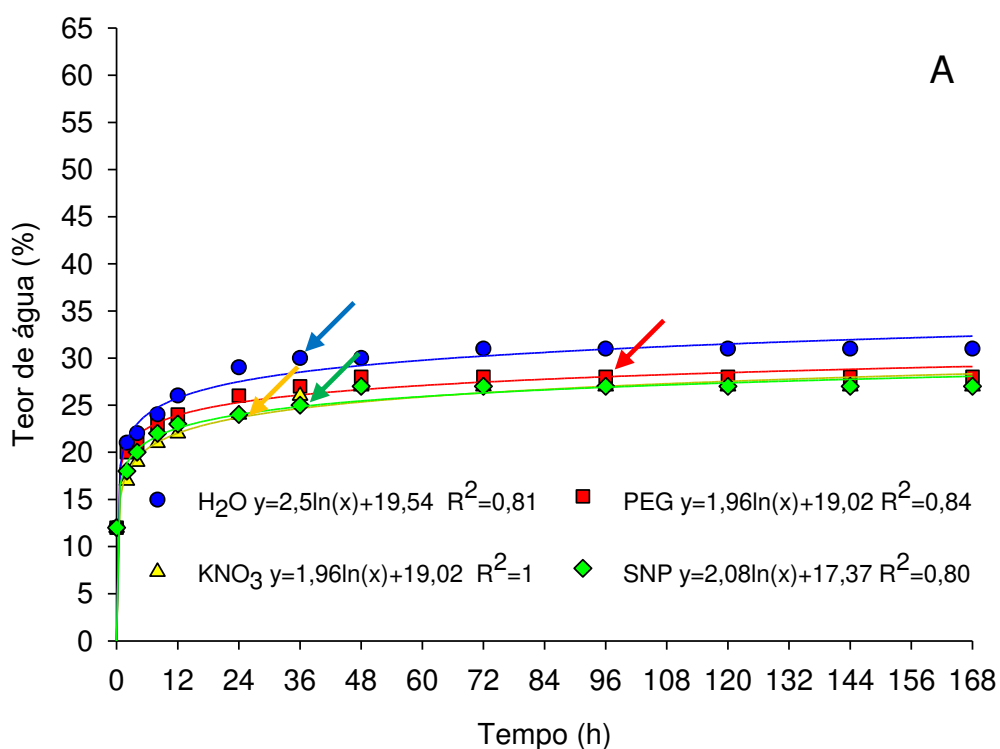
(H₂O), nitrato de potássio (KNO₃), polietileno glicol (PEG) e nitroprussiato de sódio (SNP). No lote 1, o teor de água das sementes variou de 27% (PEG) a 30,4% (H₂O), indicando que as sementes absorveram quantidades semelhantes de água, independentemente da solução utilizada. No lote 2, o teor de água variou de 35,7% (KNO₃) a 37,3% (H₂O), mostrando que, similar ao lote 1, as sementes tratadas com KNO₃, PEG e SNP apresentaram diminuição no teor de água em comparação com as sementes embebidas em água pura. Esses resultados sugerem que os diferentes agentes osmóticos influenciam de maneira controlada a absorção de água pelas sementes durante o condicionamento.

Tabela 1. Teor de água (%) das sementes após a curva de embebição.

Lotes	Teor de água (%)			
	H ₂ O	KNO ₃	PEG	SNP
1	30,4	28,3	27,0	27,3
2	37,3	35,7	36,3	35,9

A curva de embebição em H₂O, SNP, KNO₃ e PEG das sementes de *U. brizantha* é apresentada na Figura 3. No lote 1, observou-se uma absorção mais intensa entre 0 e 12 h de embebição provavelmente relacionada à fase I da germinação, conforme padrão trifásico estabelecido por Bewley e Black (1994). Segundo estes autores, esta fase de rápida embebição é consequência do reduzido potencial mátrico das sementes secas, que pode atingir valores de até -100 MPa, o que justifica a hidratação das sementes mesmo em soluções osmóticas. O teor de água inicial das sementes variou entre 12,28% (lote 1) e 9,58% (lote 2). Posteriormente, as sementes mantiveram uma embebição mais lenta até o início visível da germinação, fases II e III, respectivamente (BEWLEY e BLACK 1994; MARCOS-FILHO, 2015).

Figura 3. Teor de água durante a embebição de sementes de *U. brizantha*, lote 1 (A) e lote 2 (B). A seta indica o início visível da germinação (emissão da radícula).



Após 24 h de embebição em KNO_3 , as sementes iniciaram o processo visível da germinação (emissão da raiz primária) com 24,4% de umidade, representando um ganho de umidade médio de 0,51% por hora de embebição (Figura 3A). Em H_2O e

SNP, esse processo ocorreu após 36 horas de embebição, resultando em graus de umidade de 30,1% e 25,6%, respectivamente, equivalente a um aumento médio de umidade em torno de 0,49% e 0,37% por hora de embebição, respectivamente (Figura 3A).

Já a embebição na solução osmótica com PEG apresentou um comportamento distinto do observado nas demais soluções (Figura 3A). A partir de 12 h de embebição, observa-se uma estabilização da absorção de água que se mantém até 96 h de embebição, não ocorrendo a emissão da raiz primária, caracterizando nitidamente a ocorrência da fase II do processo de germinação. Nesta fase, segundo Bewley e Black (1994), ocorre uma estabilização da absorção de água, uma vez que as células se encontram túrgidas, estando mais atuante o potencial de parede, sendo uma fase com duração mais longa do que a Fase I. Somente após 96 h de embebição é que as sementes iniciaram a protrusão radicular, alcançando 28,0% de umidade. Isso representa um ganho de umidade médio de 0,1% por hora de embebição (Figura 3A). Metabolicamente, nesta fase, estão ocorrendo eventos pré-germinativos preparatórios para o crescimento da raiz primária (NAKAO, 2012; PEREIRA et al., 2012).

No lote 2, houve uma absorção mais intensa das soluções também entre 0 e 12 h de embebição. Após 36 h de embebição em H₂O, SNP e KNO₃, as sementes iniciaram o processo visível da germinação (emissão da raiz primária) e apresentavam grau de umidade de 39,4, 38,2 e 37,0%, o que corresponde a um ganho médio de umidade de 1,0% por hora de embebição para cada solução (Figura 3B).

Na solução osmótica com PEG, a embebição seguiu um padrão diferente do observado para as demais soluções, assim como no lote 1. Inicialmente, houve uma absorção mais acentuada, seguida por uma embebição mais constante. Somente após 96 h é que as sementes iniciaram a protrusão radicular, alcançando 40,6% de teor de água. Isso representa um ganho médio de umidade de 0,4% por hora de embebição (Figura 3B).

A emissão da raiz primária foi mais rápida em água do que em PEG, conforme esperado. Isto demonstra a dificuldade de se utilizar apenas água para o condicionamento, porque não há como obter uma hidratação controlada que mantenha as sementes por determinado período na fase II e evitar a protrusão radicular, ou seja, que atinjam a fase III. Já com o uso de soluções osmóticas mais concentradas há como se ter um controle do processo de embebição como ocorreu

com as soluções com PEG que retardaram este processo. A emissão da raiz primária no lote 1 ocorreu em 24 h em solução com KNO_3 e em 36 h em H_2O e SNP. No lote 2, a emissão ocorreu em 36 h. Com o uso de PEG, a emissão da raiz primária foi retardada para 96 h em ambos os lotes, resultando em uma hidratação mais controlada das sementes. Por esta razão o PEG 6000 é um dos agentes osmóticos mais utilizados no condicionamento de sementes de várias espécies (MARCOS-FILHO, 2015; MUSTAFA et al., 2017; MANJAVACHI et al., 2022).

4.2. *Ensaio II – Efeito do condicionamento osmótico no desempenho de sementes de U. brizantha.*

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram o teor de água (%) das sementes dos lotes 1 e 2 após o condicionamento osmótico (antes e após a secagem). Antes da secagem, as sementes tratadas com KNO_3 apresentaram teores de água de 36,4% (L1) e 34,7% (L2), enquanto as tratadas com SNP mostraram teores de 35,9% (L1) e 35,7% (L2). As sementes tratadas com PEG apresentaram teores mais baixos, de 29,9% (L1) e 30,8% (L2). Após a secagem, o teor de água das sementes reduziu significativamente em todos os tratamentos, com valores próximos de 10%. Para KNO_3 , os teores foram de 10,6% (L1) e 10,8% (L2); para SNP, 10,5% (L1) e 10,7% (L2); e para PEG, 10,4% (L1) e 10,6% (L2).

Esses resultados indicam que o processo de secagem foi eficaz em reduzir o teor de água das sementes para níveis semelhantes, independentemente do agente osmótico utilizado, demonstrando uma uniformidade no teor de água final após o condicionamento osmótico e a secagem. Observa-se que o teor de água, após a secagem, dos diferentes lotes de *U. brizantha* foi uniforme, variando de 10,4% a 10,8% (Tabela 2). Essa uniformidade é extremamente importante, pois a padronização da umidade é essencial para garantir avaliações consistentes e resultados confiáveis (MARCOS-FILHO et al., 2015).

Tabela 2. Teor de água das sementes de *U. brizantha* após o condicionamento osmótico, antes e após a secagem.

-	Teor de água (%) das sementes após o condicionamento osmótico						
	Antes da secagem			Após a secagem			
	Lote	KNO ₃	PEG	SNP	KNO ₃	PEG	SNP
	1	36,4	29,9	35,9	10,6	10,4	10,5
	2	34,7	30,8	35,7	10,8	10,6	10,7

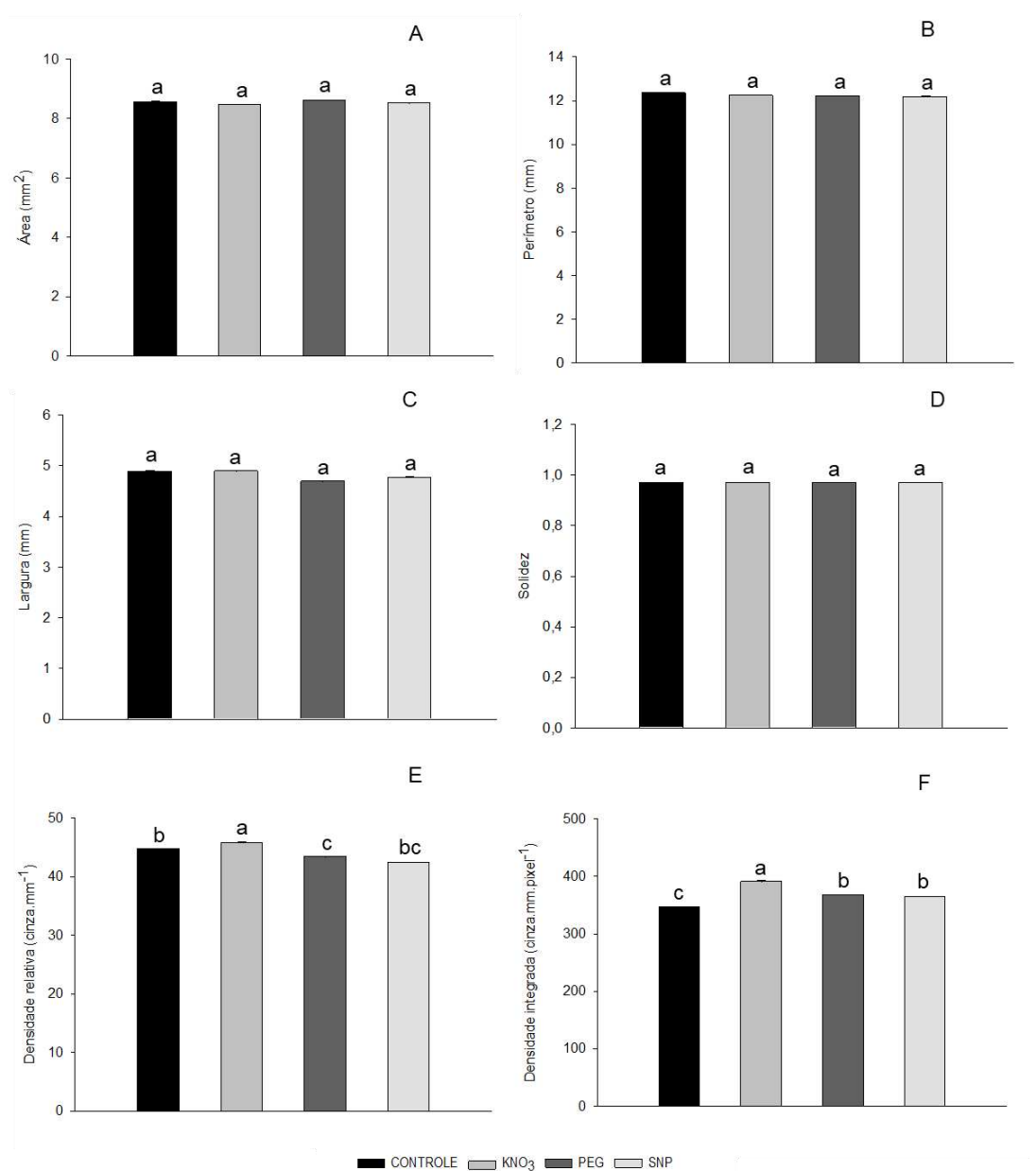
4.2.1. Qualidade física

4.2.1.1. Raios X

Ao analisar as variáveis de qualidade física das sementes, observa-se que o osmocondicionamento não alterou a média da área e do perímetro das sementes (Figura 4A e B). A largura e a solidez também não apresentaram alterações significativas (Figura 4C e D). Contudo, houve um destaque na densidade relativa e integrada para as sementes condicionadas em solução de KNO₃, apresentando um aumento médio de 0,7 (cinza.pixel⁻¹) e 43,5 (cinza.pixel⁻¹.mm⁻¹), respectivamente, em comparação ao controle (Figura 4E e F).

Em sementes de *U. decumbens*, também foi observada maior densidade relativa e integrada nas sementes osmocondicionadas com KNO₃ em comparação ao controle (PERIS et al., 2024). O osmocondicionamento facilita a hidratação dos tecidos das sementes por meio de um processo de embebição seguido de secagem, que envolve a expansão e retração dos tecidos de forma mecânica. Mesmo após a secagem, os tecidos das sementes mantêm uma expansão parcial e não retornam totalmente ao seu tamanho original, resultando em alterações estruturais que podem ser detectadas por meio de imagens radiográficas.

Figura 4. Atributos físicos de sementes de *U. brizantha* condicionadas e não condicionadas, lote 1.



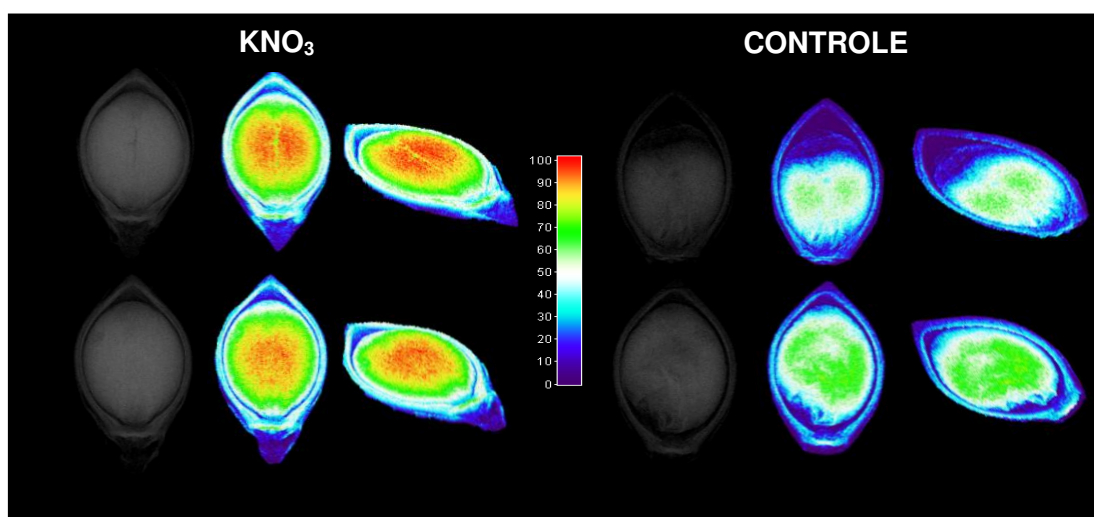
Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

Os raios X ao passarem através das sementes são capturados em um detector, resultando em uma imagem que permite visualizar áreas de diferentes densidades. As áreas mais densas, que absorvem mais raios X, aparecem em tons de amarelo e vermelho, enquanto as áreas menos densas, que absorvem menos raios X, podem ser visualizadas na Figura 5 em tons de azul. Essas informações estão diretamente relacionadas com aspectos da qualidade física das sementes, como a integridade do

embrião, a presença de danos físicos, a qualidade do tecido e o preenchimento do endosperma.

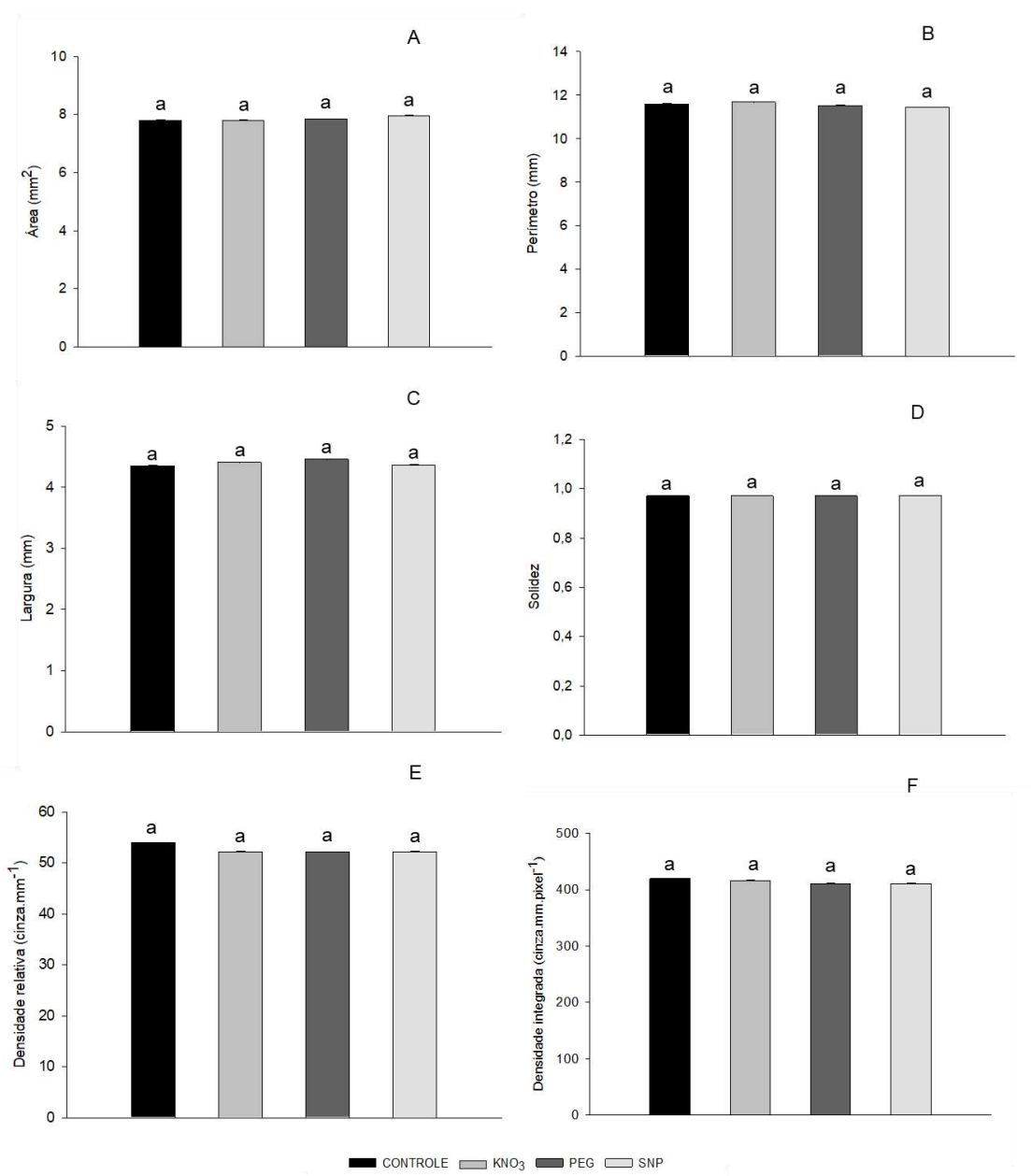
A técnica de raios X pode ser usada para avaliar a qualidade das sementes de gramíneas forrageiras (ISTA, 2004). Assim, é um método simples, rápido e não destrutivo para detectar sementes vazias, danificadas ou malformadas, auxiliando no controle da qualidade dos lotes de sementes. Jeromini et al. (2019) utilizaram raios X para avaliar a qualidade das sementes de *U. brizantha* durante o beneficiamento e constataram que o método permite identificar sementes cheias, com tecido deteriorado, malformadas, com danos mecânicos e espiguetas vazias.

Figura 5. Imagens radiográficas de sementes de *U. brizantha* condicionadas com KNO_3 e não condicionadas (controle), lote 1.



Para as sementes do lote 2, não houve alteração nos atributos físicos ao se comparar as sementes de todos os tratamentos (Figura 6).

Figura 6. Atributos físicos de sementes de *U. brizantha* condicionadas e não condicionadas, lote 2.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

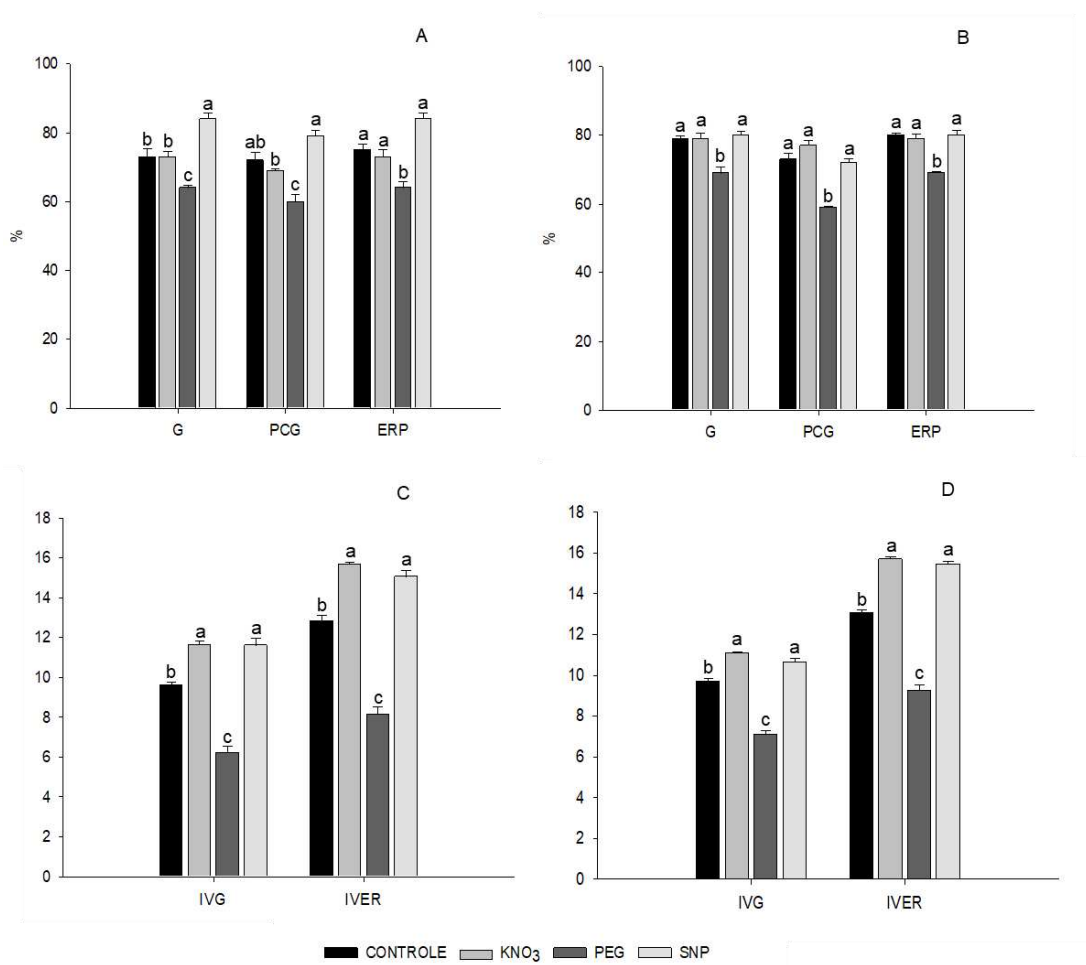
4.2.2. Qualidade fisiológica

4.2.2.1. Germinação

Verifica-se que houve aumento na germinação das sementes de *U. Brizantha* do lote 1 condicionadas quando se utilizou o SNP como agente osmótico em comparação com os demais tratamentos (Figura 7A). As sementes osmocondicionadas com KNO₃ não diferiram estatisticamente das do controle, o PEG

teve efeito negativo sobre a germinação das sementes, obtendo-se valores significativamente inferiores aos demais tratamentos.

Figura 7. Germinação (G), primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) de sementes de *U. brizantha* condicionadas e não condicionadas, lote 1 (A e C) e lote 2 (B e D).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

Pela primeira contagem de germinação, que indica a porcentagem de plântulas normais obtidas na data da primeira contagem do teste de germinação, sendo um indicativo da velocidade de germinação (KRZYŻANOWSKI et al., 2020), os tratamentos com KNO₃ e SNP não diferiram do controle o que também ocorreu ao se avaliar o EPR, em ambos os lotes (Figura 7A).

Para as sementes do lote 2 (Figura 7B), não houve efeito benéfico do condicionamento osmótico na germinação que foi semelhante para os tratamentos controle, KNO₃ e SNP, os quais foram superiores ao condicionamento com PEG, que foi prejudicial à germinação.

Por outro lado, o IVG e IVER indicam maior velocidade de germinação para sementes condicionadas com KNO₃ e SNP, quando comparadas com o controle e com o tratamento com PEG, em ambos os lotes avaliados. Assim, embora o condicionamento com KNO₃ não tenha afetado a germinação das sementes, observou-se efeito positivo na velocidade desse processo (Figura 7C e D).

Uma alta velocidade de germinação indica elevadas taxas de atividades metabólicas, resultando em crescimento rápido e conclusão antecipada da fase de germinação. Um dos principais objetivos do condicionamento osmótico é justamente promover essa aceleração no processo germinativo das sementes, havendo diversos relatos na literatura confirmando este efeito (ISERI et al., 2014; BATISTA et al., 2018; PEREIRA et al., 2018). Alguns autores evidenciam que o condicionamento osmótico nem sempre promove aumento na porcentagem de germinação das sementes, mas é vantajoso para se obter maior rapidez de germinação especialmente em lotes de médio vigor (NASCIMENTO, 2005; MOTA et al., 2013).

Trata-se de uma técnica interessante para sementes de gramíneas forrageiras que geralmente têm germinação lenta e desuniforme em decorrência da desuniformidade de maturação em campo e da ocorrência de dormência pós-colheita. O período de germinação das sementes de *Urochloa* é de 21 dias em condições ideais em laboratório. No campo, este período geralmente é maior, de modo que as sementes ficam mais tempo expostas às intempéries, aos patógenos de solo, dentre outros fatores. Deste modo, técnicas que permitam acelerar a germinação e a emergência das plântulas em campo são interessantes para a cultura.

Vale ressaltar que o umedecimento do substrato com solução de KNO₃ a 0,2% no teste de germinação, conforme recomendado pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), é uma prática eficaz para a superação da dormência em sementes do gênero *Urochloa*. Essa recomendação está correlacionada com os resultados que demonstram que o condicionamento de sementes com solução de KNO₃ pode aumentar a velocidade de germinação.

O nitrato atua como um agente redox, regula hormônios chave da germinação, como o ácido abscísico (ABA) e as giberelinas (GA), além de estimular a respiração celular e outras vias metabólicas essenciais para a germinação (HENDRICKS e TAYLORSON, 1974). Ao ativar o metabolismo das sementes, o KNO_3 favorece uma germinação mais rápida e eficiente, conforme recomendado pelas RAS para a superação da dormência em sementes de *Urochloa* (BRASIL, 2009). Assim, o uso de KNO_3 não apenas facilita a quebra da dormência, mas também acelera o processo de germinação, como observado neste estudo.

Conforme mencionado anteriormente, o nitroprussiato de sódio (SNP) é um composto que atua como doador de óxido nítrico (NO) e tem sido amplamente testado no condicionamento osmótico de sementes. Esse composto, classificado como um radical livre sintetizado a partir da L-arginina, desempenha um papel crucial na estimulação da germinação de sementes de diversas espécies sob diferentes condições ambientais (RATHER et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; PERIS et al., 2024). Em nosso experimento, observamos que o SNP também foi eficaz em promover a germinação de sementes de *U. brizantha*, confirmando sua utilidade como um agente promotor de germinação mesmo em espécies com dormência significativa.

De forma geral, o osmocondicionamento das sementes com PEG 6000 resultou em médias inferiores para todos os parâmetros avaliados em comparação com as sementes não condicionadas e aos demais tratamentos, em ambos os lotes avaliados (Figura 7).

Esses efeitos negativos do PEG na germinação podem estar relacionados à restrição de aeração e ao contato direto das sementes com a solução, conforme discutido por Marcos-Filho (2015). A alta concentração de PEG reduz a solubilidade do oxigênio, criando um ambiente de baixa disponibilidade de oxigênio que pode induzir a condições de anaerobiose. Essa situação pode resultar na produção de etanol e outros compostos tóxicos para as sementes, comprometendo a sua germinação. Assim, no presente experimento, a aeração fornecida pode não ter sido suficiente para mitigar os efeitos negativos associados à limitação de oxigênio durante o condicionamento osmótico com PEG.

Além disso, o desempenho inferior das sementes de *U. brizantha* sob o condicionamento osmótico com PEG pode também estar relacionado à reversão dos efeitos positivos inicialmente promovidos pelo tratamento, fenômeno conhecido como

overpriming. Esse efeito ocorre quando as sementes são expostas por um tempo excessivo ao agente de condicionamento osmótico, resultando em danos fisiológicos em vez de benefícios, conforme definido por Ely e Heydecker (1981). No presente estudo, o tempo de condicionamento foi de 48 h para PEG, enquanto para KNO_3 e SNP foi de 24 h. Esse período prolongado de exposição ao PEG pode ter resultado em efeitos negativos, aumentando a probabilidade de *overpriming*.

Assim, tanto a limitação de oxigênio, devido à baixa solubilidade em soluções de PEG, quanto o *overpriming* resultante do tempo de condicionamento mais longo, podem ter contribuído para os resultados negativos observados com o uso de PEG.

Embora no presente experimento o osmocondicionamento com PEG não tenha contribuído para o desempenho germinativo das sementes, é relevante destacar que essa resposta pode variar. Em sementes de arroz, sorgo e milho, a pré-embebição com PEG melhorou o desempenho das sementes e das plântulas (GOSWAMI et al., 2013; ZHANG et al., 2015; PALLAORO et al., 2016). Essa variação de resultados ressalta a importância de considerar diferentes contextos e condições experimentais ao avaliar os efeitos do osmocondicionamento, especialmente com PEG.

Os resultados da avaliação das sementes remanescentes do teste de germinação, utilizando a solução de tetrazólio, demonstraram variações significativas entre os tratamentos e os lotes (Tabela 3). No Lote 1, observou-se uma diferença significativa nas porcentagens de sementes viáveis, sementes não viáveis e sementes deterioradas entre os tratamentos controle, KNO_3 , PEG e SNP. O tratamento com SNP apresentou a maior média de SV e menores médias para SN e SD em comparação com o controle. Em contraste, o tratamento com PEG apresentou a menor média de SV e maiores porcentagens de SN e SD em relação ao controle. No Lote 2, as porcentagens de SV e SD não diferiram significativamente entre os tratamentos, exceto para SN, onde o PEG apresentou uma maior porcentagem em comparação com o controle, KNO_3 e SNP. Esses resultados estão de acordo com os de germinação, onde, no Lote 1, as sementes osmocondicionadas com SNP apresentaram uma maior média de germinação em comparação aos demais, enquanto o PEG teve menor desempenho em todos os parâmetros avaliados (Figura 7).

Tabela 3. Sementes remanescentes do teste de germinação de cada tratamento dos lotes 1 e 2, avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes viáveis (SV), não viáveis (SN) e deterioradas (SD).

Tratamentos	SV	SN	SD
----- (%)-----			
Lote 1			
Controle	4 b	10 a	5 b
KNO ₃	1 c	6 b	13 a
PEG	1 c	12 a	13 a
SNP	7 a	1 c	2 b
CV (%)	14,2	8,7	16,7
Lote 2			
Controle	3 a	9 b	5 a
KNO ₃	1 a	2 c	3 a
PEG	3 a	14 a	9 a
SNP	2 a	4 c	7 a
CV (%)	8,4	12,1	7,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.2.2.2. Emergência de plântulas

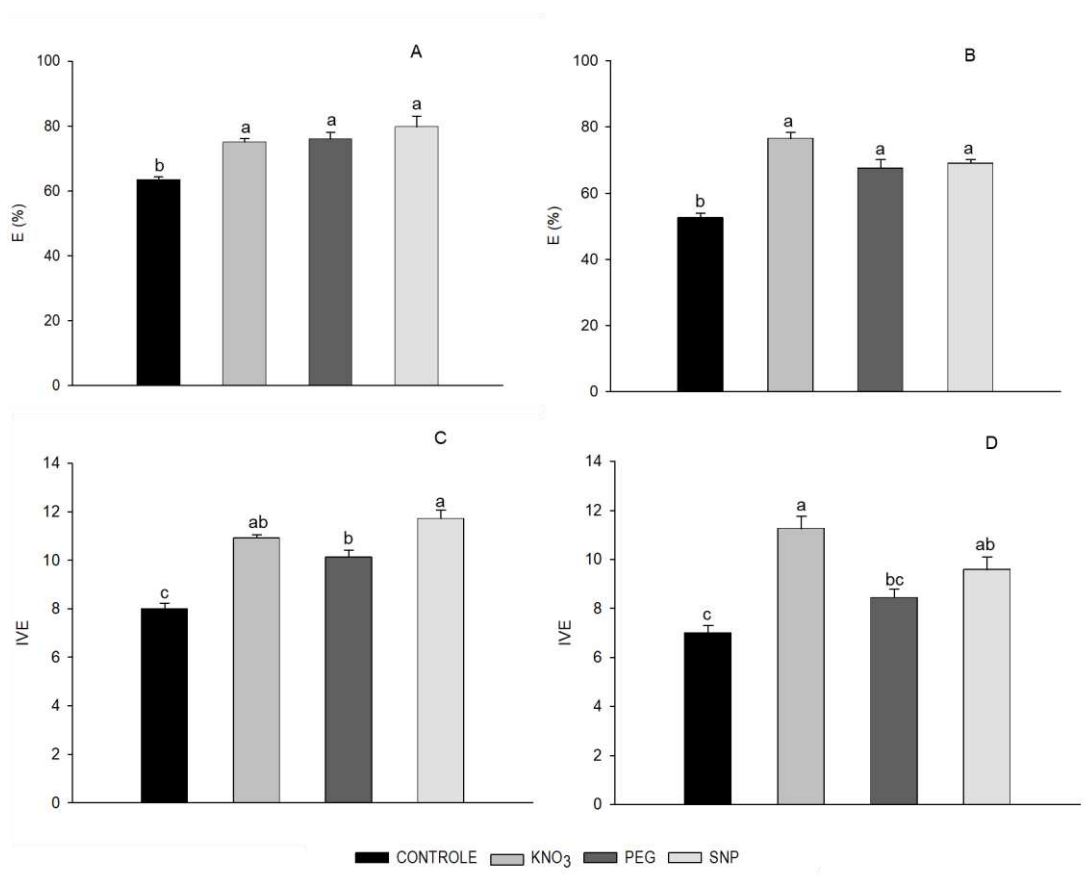
Os tratamentos de osmocondicionamento apresentaram efeito significativo na emergência das plântulas de *U. brizantha* nos dois lotes analisados (Figura 8).

Para o lote 1, todos os tratamentos foram benéficos para a emergência das plântulas, com porcentagens médias superiores às das sementes não condicionadas (Figura 8A). Para o índice de velocidade de emergência (IVE), as plântulas obtidas de sementes condicionadas com KNO₃, PEG e SNP emergiram mais rapidamente do que as do controle, destacando-se o tratamento com SNP, que promoveu um aumento de 3,65 no IVE em relação ao controle (Figura 8C).

No lote 2, observou-se um padrão semelhante ao lote 1, em que sementes osmocondicionadas apresentaram maior porcentagem média de emergência e maior velocidade de emergência em comparação ao controle (Figura 8B). O tratamento com

KNO₃ destacou-se, resultando em um aumento médio de 4,23 no IVE em relação ao controle (Figura 8D).

Figura 8. Emergência (E) e índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas de *U. brizantha* dos lotes 1 (A e C) e 2 (B e D) após diferentes tratamentos de condicionamento osmótico.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% pelo teste de Tukey.

Esse resultado positivo indica que a emergência das plântulas ocorreu de forma mais rápida e uniforme, o que é relevante pois reduz o tempo de exposição das sementes a condições adversas do ambiente. É importante ressaltar que também pelas variáveis de IVG e IVER avaliadas no teste de germinação (Figura 7), os tratamentos com KNO₃ e SNP também foram benéficos para as sementes.

Um dos principais objetivos do condicionamento de sementes é promover o rápido estabelecimento de um estande uniforme. Esse tratamento visa sincronizar a germinação, ativando o metabolismo de sementes individuais que apresentam

diferentes potenciais fisiológicos dentro de um mesmo lote, de forma a uniformizar seu desempenho até o estágio mais próximo possível da protrusão da raiz primária (MARCOS-FILHO, 2015). Esse efeito foi observado no presente experimento e é especialmente relevante para sementes de forrageiras, que naturalmente apresentam germinação lenta, uma característica que é inadequada quando há investimentos significativos em tecnologias de produção, que demandam uma resposta imediata das sementes, com germinação rápida e uniforme dos lotes utilizados.

A eficácia do nitrato de potássio (KNO_3) em promover a germinação está relacionada à sua redução a nitrito, hidroxilamina ou óxido nítrico (NO), compostos que desempenham papéis essenciais na ativação de rotas bioquímicas favoráveis à germinação e à superação da dormência de sementes (HENDRICKS e TAYLORSON, 1974). Similarmente, o nitroprussiato de sódio (SNP) é uma fonte direta de NO e, assim como o KNO_3 , tem sido associado à promoção da germinação, tanto em condições normais quanto sob estresse (KOPYRA E GWÓŹDŹ, 2003; SOUZA, 2007; ZHENG et al., 2009).

No presente experimento, os resultados indicaram que o uso de KNO_3 e SNP no condicionamento de sementes de *U. brizantha* contribuiu para melhorar tanto a porcentagem de emergência quanto a velocidade de emergência das plântulas. Isso pode ser explicado pela capacidade do NO, derivado desses compostos, de ativar rotas bioquímicas que favorecem processos fisiológicos cruciais para a germinação, potencialmente reduzindo o impacto do estresse e acelerando a quebra da dormência. Dessa forma, os resultados observados corroboram a eficácia desses compostos como agentes promotores de germinação, confirmando suas funções relatadas na literatura.

Embora o uso de PEG tenha inicialmente demonstrado efeitos negativos na germinação das sementes de *U. brizantha* (como evidenciado na Figura 7), observou-se uma melhora significativa na emergência das plântulas e no índice de velocidade de emergência.

De forma geral, o tratamento com PEG tem sido reportado como benéfico na germinação das sementes e no estabelecimento de plântulas de diversas culturas, embora o efeito positivo seja variável e dependente de fatores como a espécie, a concentração de PEG utilizada e condições específicas de estresse aplicadas

(KUBALA et al., 2015; MOURADI et al., 2016; FAROOQ et al., 2017; TABASSUM et al., 2018a).

4.2.2.3. Crescimento/análise computadorizada de plântulas

Os resultados de germinação indicaram que o osmocondicionamento com SNP influenciou positivamente a porcentagem de germinação das sementes do lote 1, além de melhorar os índices de velocidade de germinação e a emissão da raiz primária em ambos os lotes (Figura 7A, C e D). No entanto, ao se avaliar o crescimento das plântulas, os efeitos benéficos do SNP foram observados apenas no lote 2, onde as plântulas apresentaram um incremento de 0,2 cm no comprimento da parte aérea e 1,0 cm no comprimento total em comparação aos demais tratamentos (Tabela 4).

Estudos como o de Peris et al. (2024) também observaram que o osmocondicionamento com SNP resultou em melhor desempenho no comprimento das plântulas de *U. decumbens*. Da mesma forma, Oliveira et al. (2021) relataram resultados positivos na germinação de *U. brizantha* tratada com SNP, reforçando o efeito benéfico desse composto no aumento do vigor e desenvolvimento de plântulas. Em um estudo com sementes de *Brassica napus*, Zhu et al. (2021) observaram uma melhora significativa em diversos parâmetros de germinação bem como em variáveis relacionadas ao peso e comprimento das plântulas, como peso fresco do caule, peso seco do caule, comprimento da raiz, comprimento do caule e índice de vigor das sementes.

Da mesma forma que observado no presente experimento, esses autores relataram que as sementes osmocondicionadas com SNP apresentaram um desempenho superior nos parâmetros de desenvolvimento inicial de plântulas. Essas evidências sugerem que o SNP pode ser uma ferramenta eficaz para melhorar o desempenho das sementes e plântulas em diversas condições.

Tabela 4. Atributos de vigor obtidos pelo teste de crescimento de plântulas realizado em sementes de *U. brizantha* submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.

Tratamentos	CPA	CR	CT	RRA	IU	IC	IV
-----cm.plantula ⁻¹ -----							
Lote 1							
Controle	3,6 a	5,9 a	9,5 a	1,9 a	732,4 a	569,6 a	618,5 a
KNO ₃	3,1 a	6,5 a	9,6 a	2,1 a	765,9 a	612,6 a	658,6 a
PEG	2,7 a	5,9 a	8,6 a	2,1 a	799,6 a	557,0 a	629,8 a
SNP	3,2 a	6,5 a	9,7 a	2,0 a	789,3 a	618,8 a	669,9 a
CV (%)	15,8	15,0	14,0	12,3	9,05	14,8	11,3
Lote 2							
Controle	3,0 b	6,0 ab	9,0 b	2,0 a	762,2 a	578,0 ab	633,3 ab
KNO ₃	3,1 b	6,4 ab	9,5 ab	2,1 a	780,2 a	605,7 ab	658,0 ab
PEG	2,9 b	5,7 b	8,6 b	2,0 a	792,4 a	541,6 b	616,8 b
SNP	3,2 a	6,8 a	10,0 a	1,7 a	802,2 a	650,7 a	696,2 a
CV (%)	18,2	12,0	11,5	20,2	8,9	11,7	9,2

Comprimento da parte aérea (CPA); comprimento da raiz primária (CP); comprimento total (CT); razão comprimento da raiz/comprimento da parte aérea (RRA); índice de uniformidade (IU); índice de crescimento (IC) e índice de vigor corrigido (IV). CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 9. Plântulas de *U. brizantha* obtidas no teste de crescimento realizado com sementes do lote 2 não condicionadas (controle) e osmocondicionadas com SNP.



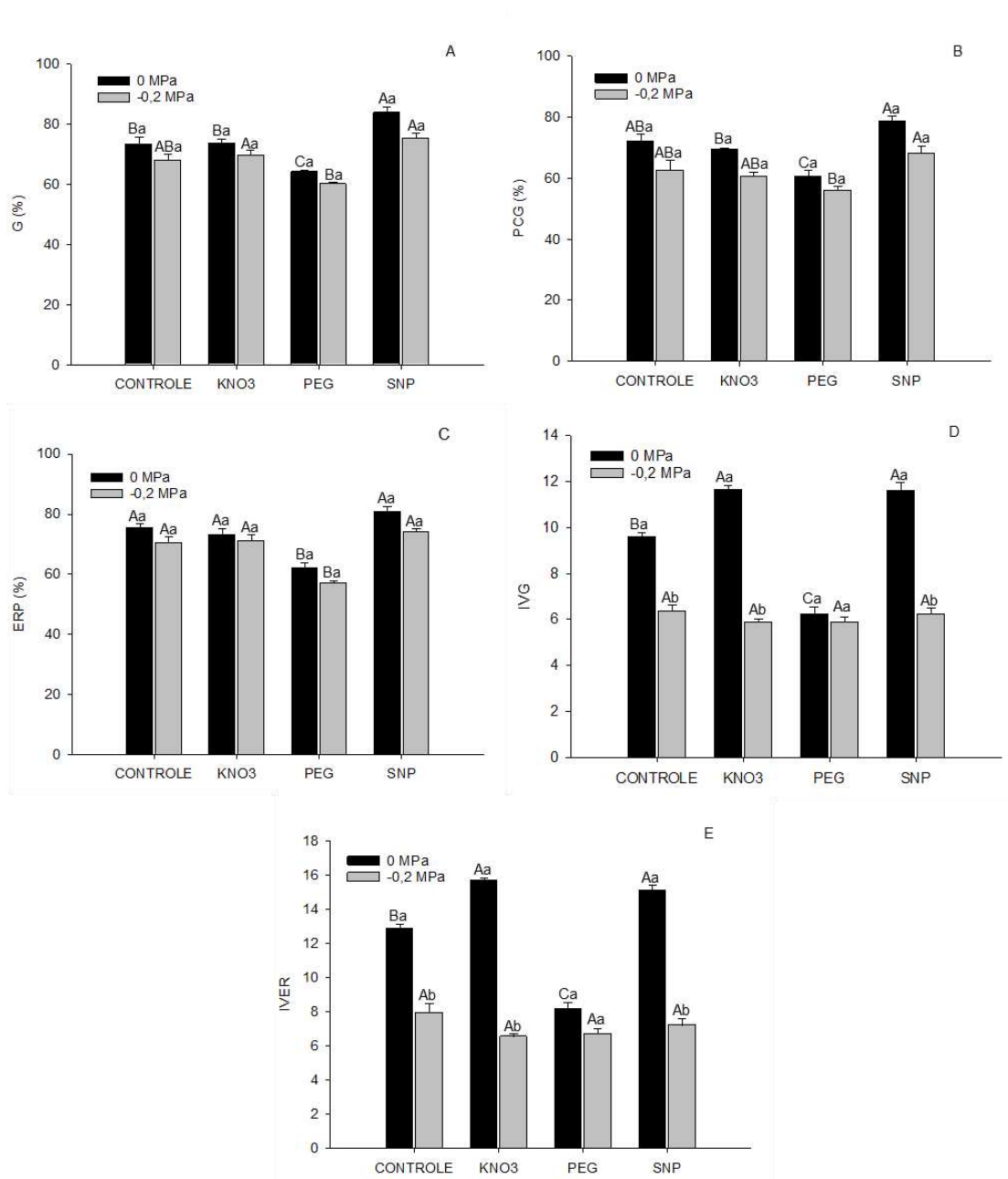
4.3. *Ensaio III – Efeito do osmocondicionamento em sementes de U. brizantha sob déficit hídrico.*

4.3.1. *Qualidade fisiológica*

4.3.1.1. *Germinação*

Embora os tratamentos osmóticos tenham modificado a resposta das sementes em condições de hidratação adequada, afetando positivamente os parâmetros como a taxa de germinação no lote 1 e os índices de velocidade de germinação e de emissão da raiz primária em ambos os lotes, o osmocondicionamento de *U. brizantha* não exerceu influência significativamente positiva na germinação e no crescimento inicial das plântulas do lote 1 sob condições de déficit hídrico (Figura 10).

Figura 10. Germinação (G); primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) sob déficit hídrico de sementes de *U. brizantha* do lote 1 submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.



Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os tratamentos de osmocondicionamento dentro de cada condição de potencial hídrico (0 MPa ou -0,2 MPa), enquanto as letras minúsculas comparam o efeito do déficit hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

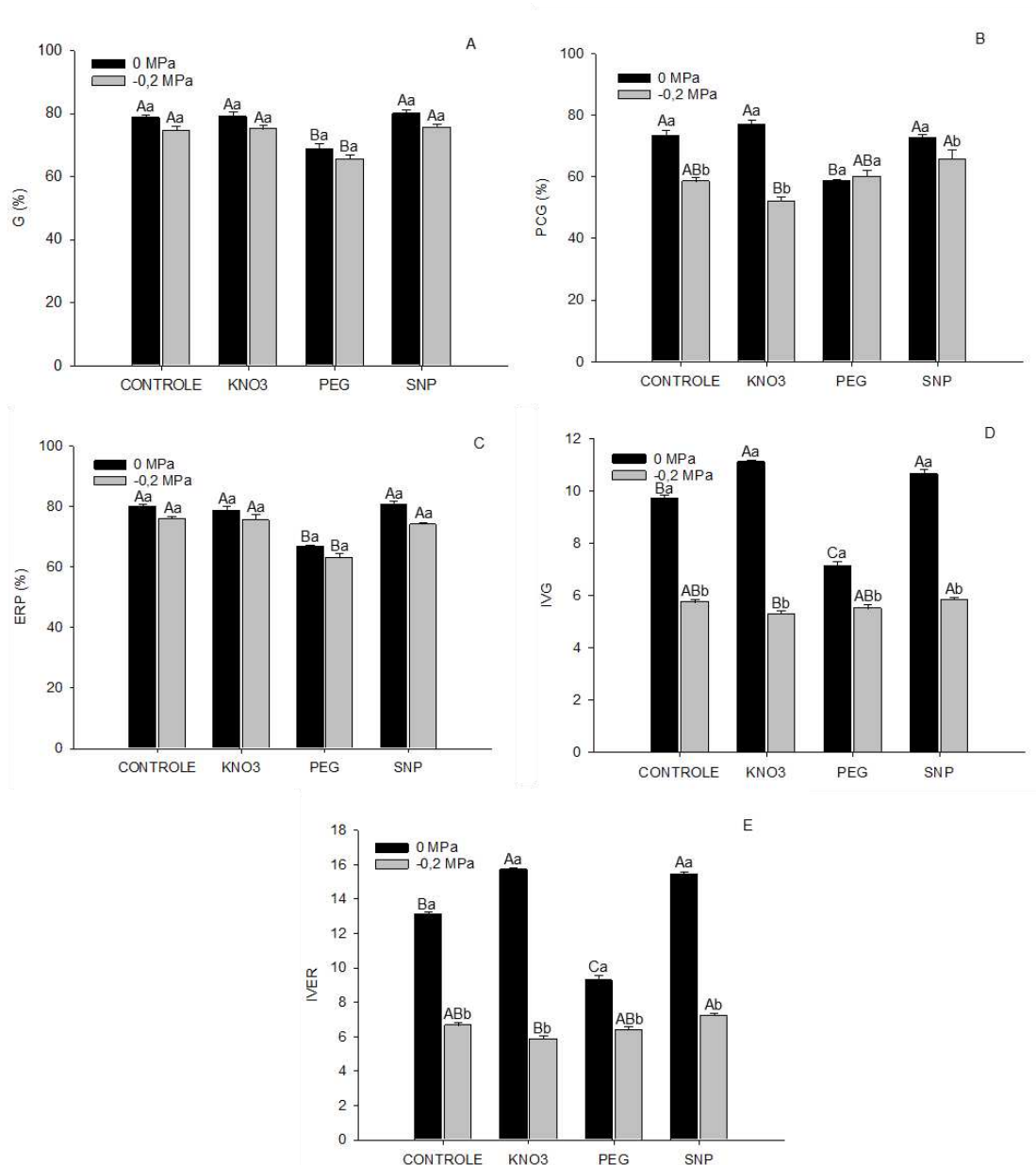
De modo geral, o tratamento com SNP apresentou a melhor taxa de germinação sob 0 MPa, alcançando cerca de 84%, significativamente superior ao controle (73%). Sob restrição hídrica (-0,2 MPa), o SNP também manteve uma alta taxa de germinação (75%), embora sem diferença significativa em relação às sementes não condicionadas (68%) (Figura 10A). Esses resultados indicam que o SNP não apenas melhora a germinação em condições de água adequada, mas também é capaz de manter um bom desempenho sob déficit hídrico. Considerando o estabelecimento de pastagens, especialmente de braquiária, que possui germinação naturalmente desuniforme, um aumento de 7% na germinação pode ser crucial para uma melhor cobertura de área no campo, resultando em maior uniformidade.

Na primeira contagem de germinação e na emissão da raiz primária, não houve diferenças significativas entre o desempenho das sementes não condicionadas e condicionadas sob condições de -0,2 MPa, exceto para o PEG em que a média de ERP foi inferior às demais (Figura 10B e C).

A qualidade fisiológica das sementes de *U. brizantha* foi significativamente reduzida com a redução do potencial hídrico para -0,2 MPa, afetando especialmente a velocidade de germinação e de emissão da raiz primária (Figura 10D e E). Esses resultados ressaltam a sensibilidade da espécie ao déficit hídrico, demonstrando que a restrição de água impacta negativamente tanto a germinação quanto o desenvolvimento inicial das plântulas, comprometendo seu estabelecimento em condições adversas. Assim, embora os tratamentos com SNP e KNO₃ tenham sido eficazes na aceleração da germinação sob condições ideais, o osmocondicionamento não promoveu melhor desempenho sob déficit hídrico.

Assim como observado no lote 1, o osmocondicionamento das sementes do lote 2 de *U. brizantha* não apresentou benefícios significativos para os parâmetros de qualidade fisiológica, incluindo germinação, primeira contagem de germinação, emissão de raiz primária e os índices de velocidade de germinação e emissão de raiz primária sob condições de déficit hídrico (Figura 11).

Figura 11. Germinação (G); primeira contagem da germinação (PCG); emissão da raiz primária (ERP); índice de velocidade de germinação (IVG); índice de velocidade de emissão da raiz primária (IVER) sob déficit hídrico de sementes de *U. brizantha* do lote 2 submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.



Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os tratamentos de osmocondicionamento dentro de cada condição de potencial hídrico (0 MPa ou -0,2 MPa), enquanto as letras minúsculas comparam o efeito do déficit hídrico, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à porcentagem média de germinação e emissão de raiz primária, as sementes do tratamento controle, KNO₃ e SNP não diferiram significativamente entre si, enquanto o PEG apresentou o pior desempenho em comparação aos demais tratamentos (Figura 11A e C). Na primeira contagem de germinação (PCG), não houve diferenças significativas entre os tratamentos sob déficit hídrico (Figura 11B).

Assim como no lote 1, os índices de velocidade indicaram que o SNP e o KNO_3 proporcionaram os melhores resultados, favorecendo uma germinação mais rápida e eficiente sob condições de 0 MPa. No entanto, sob condições de déficit hídrico, todos os tratamentos apresentaram uma redução no desempenho, resultando em um tempo mais prolongado para a conclusão do processo de germinação (Figura 11D e E).

A ausência de influência significativa do osmocondicionamento observada neste estudo pode ser atribuída a diversos fatores, como a intensidade do déficit hídrico imposto e a duração e o tipo de tratamento osmótico aplicados que podem não ter sido suficientes para promover resultados eficazes nas sementes nessas condições. A qualidade intrínseca das sementes, características fisiológicas específicas da espécie, e variações nas condições experimentais, como temperatura e luminosidade, também podem ter contribuído para os resultados divergentes em relação a outros estudos. Esses fatores combinados podem influenciar a resposta ao osmocondicionamento, que nem sempre apresenta consistência nos resultados (MARCOS-FILHO, 2015; RAJ e RAJ, 2019).

Portanto, embora o osmocondicionamento não tenha melhorado o desempenho germinativo dos lotes de sementes de *U. brizantha* sob déficit hídrico, em outras espécies e condições, mostrou-se eficaz.

Por exemplo, em sementes de *U. decumbens*, o condicionamento osmótico com SNP ($0,10 \text{ mmol L}^{-1}$) e PEG ($-0,8 \text{ MPa}$) por 24 horas contribuiu para um melhor desempenho fisiológico sob déficit hídrico (PERIS et al., 2024). Além disso, em sementes de pepino, o condicionamento melhorou todos os parâmetros avaliados, incluindo germinação, características morfológicas e físico-bioquímicas em condições de restrição hídrica (ALAM et al., 2023). Da mesma forma, para sementes de tomate osmocondicionadas com KNO_3 , observou-se um melhor desempenho sob déficit hídrico na emergência, no tempo médio de emergência e nos atributos fisiológicos (MUHAMMAD et al., 2020).

Os resultados do teste de tetrazólio das sementes remanescentes do teste de germinação sob déficit hídrico indicam que, no lote 1, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a porcentagem média de sementes viáveis (SV) e sementes deterioradas (SD). No entanto, para sementes não viáveis (SN), o tratamento com SNP apresentou a menor média, indicando um desempenho superior em comparação ao controle e aos demais tratamentos. No lote 2, não foram

observadas diferenças significativas nas médias de SV, SN e SD entre os tratamentos. Esses resultados estão alinhados com os resultados do teste de germinação (Figura 10 e 11), onde os parâmetros germinativos avaliados também não mostraram diferenças entre os tratamentos de osmocondicionamento.

Tabela 5. Sementes remanescentes do teste de germinação de cada tratamento dos lotes 1 e 2, avaliadas pelo teste de tetrazólio em sementes viáveis (SV), não viáveis (SN) e deterioradas (SD).

Tratamentos	SV	SN	SD
	----- (%)-----		
Lote 1			
Controle	8 a	10 a	6 ab
KNO ₃	6 a	9 a	6 b
PEG	8 a	10 a	10 a
SNP	8 a	4 b	7 ab
CV (%)	5,1	5,6	6,3
Lote 2			
Controle	4 ab	10 a	4 a
KNO ₃	3 b	6 a	6 a
PEG	9 a	8 a	7 a
SNP	5 ab	7 a	6 a
CV (%)	3,8	5,6	3,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.3.1.2. Crescimento/análise computadorizada de plântulas

Na avaliação do crescimento das plântulas provenientes das sementes condicionadas, os tratamentos demonstraram efeitos benéficos significativos, diferente dos resultados observados na germinação. Esses tratamentos contribuíram para um melhor desenvolvimento inicial das plântulas, conforme evidenciado na Tabela 6. O KNO₃ mostrou-se especialmente eficaz no lote 1, promovendo um crescimento vigoroso, enquanto o SNP destacou-se no lote 2, indicando uma resposta

positiva ao osmocondicionamento. Esses resultados sugerem que, apesar de não impactarem de forma significativa a germinação, os tratamentos osmóticos podem melhorar o desenvolvimento das plântulas em fases posteriores, auxiliando no estabelecimento das plantas em condições adversas.

No lote 1, o uso do sal inorgânico KNO_3 como agente osmótico demonstrou vantagens em praticamente todos os atributos avaliados em comparação com o controle, destacando-se em relação aos outros agentes de osmocondicionamento (Tabela 6).

Plântulas de arroz provenientes de sementes osmocondicionadas com KNO_3 apresentaram melhoria significativa na taxa de crescimento das plântulas, vigor das plântulas, biomassa fresca e seca das plântulas e menor tempo de emergência em comparação com as não condicionadas (ALI et al., 2021). Essa descoberta evidencia como os tratamentos de osmocondicionamento, como o uso de KNO_3 , podem otimizar os processos fisiológicos das sementes, resultando em melhorias na sua capacidade de germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas.

Por outro lado, no lote 2, os efeitos variaram para cada parâmetro. O CPA, RRA e IU não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e o controle. No entanto, houve diferenças para CR, CT e IC (Tabela 6). Os tratamentos com PEG e SNP mostraram-se mais eficazes no aumento do comprimento das raízes das plântulas, uma característica crucial em condições de estresse hídrico, pois raízes maiores facilitam a absorção de água em profundidades maiores do solo. Em relação ao CT, todos os tratamentos de osmocondicionamento proporcionaram aumentos. Da mesma forma, no IC, todos os tratamentos resultaram em incrementos, com destaque significativo para PEG e SNP, que apresentaram médias maiores que o controle. Por fim, no IV, todos os tratamentos de osmocondicionamento resultaram em acréscimos, sendo o SNP o mais significativo, com médias superiores ao controle.

O condicionamento fisiológico de sementes é uma técnica direcionada à redução do tempo de germinação e emergência das plântulas, além de favorecer a uniformidade dos estandes mesmo em condições ambientais adversas. Esse procedimento implica na hidratação e subsequente dessecação das sementes, visando ativar os processos metabólicos pré-germinativos. Essa ativação resulta em um incremento na porcentagem de germinação e no crescimento inicial das plântulas, permitindo-lhes responder de maneira ágil e eficiente a diversos estresses bióticos e

abióticos (RHAMAN et al., 2021). É de suma importância considerar que as condições subótimas de germinação representam um desafio crescente na agricultura, muitas vezes decorrente de fatores ambientais adversos. Assim, para otimizar a produção agrícola, é essencial garantir o estabelecimento adequado das plantas desde o início.

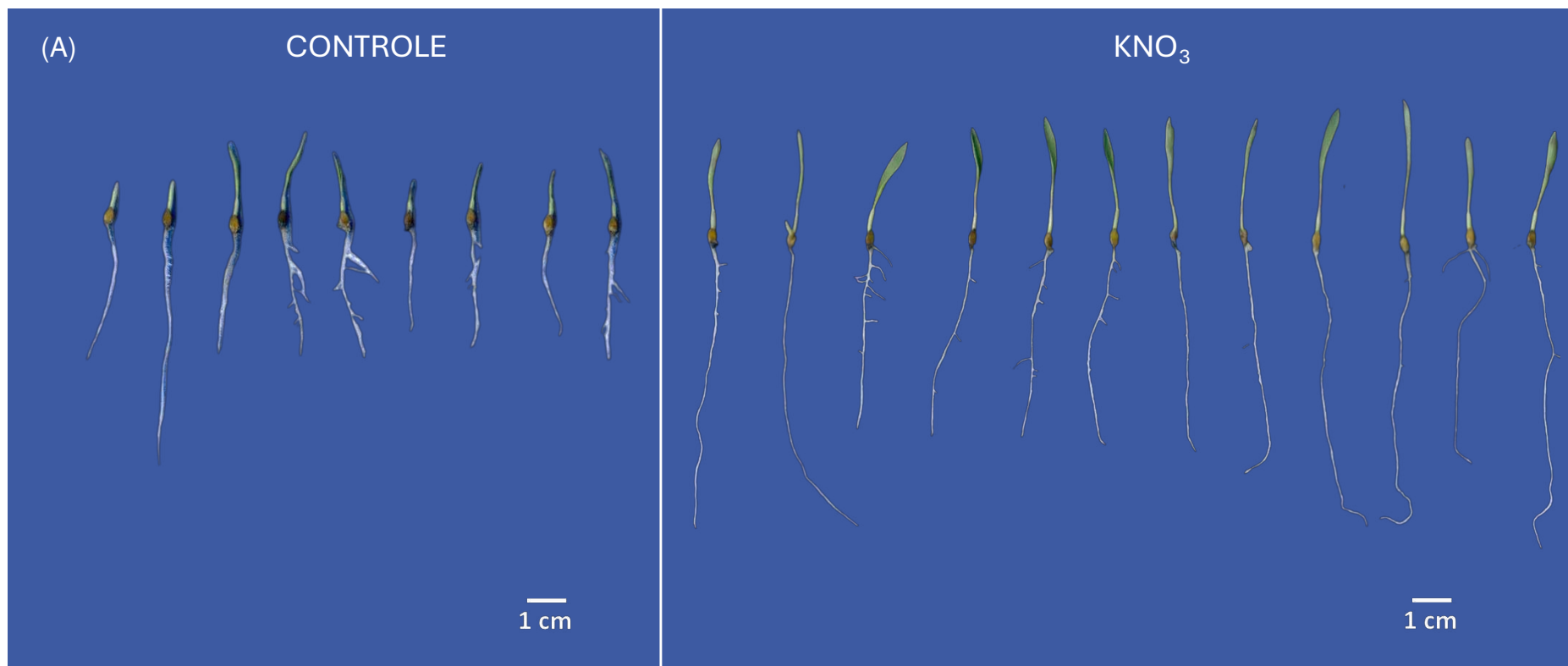
O osmocondicionamento tem sido eficaz na promoção da germinação e no estabelecimento uniforme de plântulas, especialmente em condições de estresse, como evidenciado em sementes de *U. brizantha* com diferentes soluções, como nitrato de potássio (KNO_3) e nitroprussiato de sódio (SNP), resultou em efeitos positivos na germinação, superação da dormência e crescimento das plântulas, especialmente em condições de restrição hídrica e estresse salino (OLIVEIRA et al., 2021). Existem vários relatos sobre a pré-embebição de sementes para aprimorar a germinação, emergência de plântulas, estabelecimento e crescimento em diversas espécies de culturas. Por exemplo, estudos realizados com arroz (KAVITHA et al., 2018) e trigo (TABASSUM et al., 2018b) destacaram os benefícios desse processo.

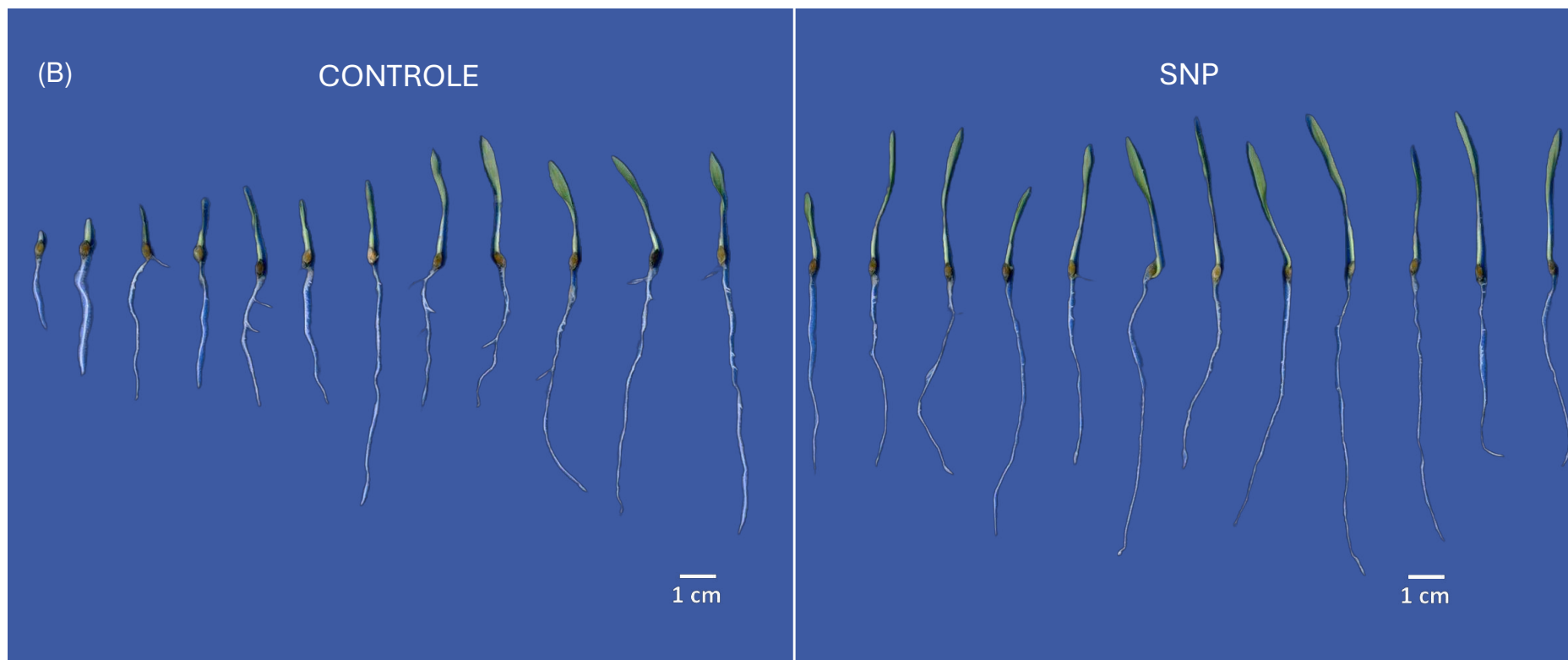
Tabela 6. Atributos de vigor obtidos pelo teste de crescimento de plântulas sob déficit hídrico realizado em sementes de *U. brizantha* submetidas a diferentes tratamentos de osmocondicionamento.

Tratamentos	CPA	CR	CT	RRA	IU	IC	IV
-----cm.plântula ⁻¹ -----							
Lote 1							
Controle	1,9 b	4,7 b	6,6 b	2,4 a	729,9 b	446,2 b	531,3 b
KNO ₃	3,1 a	6,5 a	9,6 a	2,1 a	822,1 a	619,9 a	680,6 a
PEG	2,0 b	4,9 b	6,9 b	2,5 a	771,4 ab	466,8 b	558,2 b
SNP	2,4 b	5,1 b	7,5 b	2,0 a	755,5 ab	483,7 b	565,2 b
CV (%)	18,8	14,5	14,5	14,4	7,4	14,4	9,5
Lote 2							
Controle	0,6 a	4,8 b	5,4 b	2,1 a	770,4 a	460,3 b	553,3 b
KNO ₃	0,6 a	5,7 ab	6,3 a	2,0 a	792,7 a	539,4 ab	615,3 ab
PEG	0,4 a	5,7 a	6,1 ab	2,2 a	797,9 a	541,2 a	618,2 ab
SNP	0,5 a	5,9 a	6,4 a	2,3 a	786,7 a	559,3 a	627,5 a
CV (%)	51,2	12,6	12,1	13,0	7,3	12,4	8,9

Comprimento da parte aérea (CPA); comprimento da raiz primária (CP); comprimento total (CT); razão comprimento da raiz/comprimento da parte aérea (RRA); índice de uniformidade (IU); índice de crescimento (IC) e índice de vigor corrigido (IV). CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Figura 12. Plântulas de *U. brizantha* obtidas no teste de crescimento sob déficit hídrico realizado com as sementes dos lotes 1 (A) e 2 (B), dos tratamentos controle e osmocondicionamento com KNO_3 e SNP.





5. CONCLUSÕES

O condicionamento osmótico não alterou as características físicas das sementes de *U. brizantha* avaliadas pelo teste de raios X.

O condicionamento osmótico com KNO₃ 0,2% e SNP 0,10 mmol.L⁻¹, por 24 h, contribui para aumentar velocidade de germinação, emissão da raiz primária, emergência, velocidade de emergência e crescimento das plântulas sob condições ideais. Sob déficit hídrico, esses tratamentos promoveram maior crescimento de plântulas.

O condicionamento com PEG 6000 -0,8 MPa por 48 h não foi benéfico para as sementes de *U. brizantha*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULRAHMANI, K.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; VALIZADEH, M.; ASL, V. F. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 5, 179-184, 2007.
- AFZAL, IRFAN. Seed priming: what's next? **Seed Science and Technology**, v. 51, n. 3, p. 379-405, 2023.
- AGOSTINI, R.T.; ABRANTES, F.L.; MACHADO-NETO, N.B.; CUSTÓDIO, C. C. Ethanol and hormones in physiological conditioning on germination and seed dormancy of *Urochloa humidicola* cv. Llanero. **Journal of Seed Science**, v. 44, e202244022, 2022.
- AHMAD, I.; SALEEM, A. M.; MUSTAFA, G.; ZIAF, K.; AFZAL I.; QASIM, M. Seed halopriming enhances germination performance and seedling vigor of *Gerbera jamesonii* and *Zinnia elegans*. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 33, n. 2, p.199-205, 2017. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017/33.2.199.205>.
- ALAM, A.U.; ULLAH, H.; HIMANSHU, S.K.; TISARUM, R.; CHA-UM, S.; DATTA, A. Seed Priming Enhances Germination and Morphological, Physio-Biochemical, and Yield Traits of Cucumber under Water-Deficit Stress. **Journal of Soil Science and plant nutrition**, v. 23, p. 3961–3978, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01314-3>.

- ALI, L. G.; NULIT, R.; IBRAHIM, M. H.; YIEN, C. Y. S. Efficacy of KNO₃, SiO₂ and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. **Scientific Reports**, v. 11, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83434-3>.
- ALVARADO, A. D.; BRADFORD, K. J.; HEWITT, J. D.; Osmotic priming of tomato seeds: effects on germination, field emergence, seedling growth, and fruit yield. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, 1987.
- ALVES, R. C.; NICOLAU, M. C. M.; CHECCHIO, M. V.; DA SILVEIRA SOUSA, G.; DE ASSIS DE OLIVEIRA, F.; PRADO, R. M.; GRATÃO, P. L. Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. **Bragantia**, v. 79, n. 1, p. 19-29, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190360>.
- AMORIM, M. M.; VIEIR, H. D.; AMORIM, I. M.; DOBBSS, L. B.; DEMINICI, B. B.; XAVIER, P. B. Effects of the humic acid extracted from vermin compost on the germination and initial growth of *Brachiaria brizantha* cv. MG5. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 18, p. 1576-1583, 2015. <https://doi.org/10.5897/AJB201514443>
- ASGHARIPOUR, M. R.; PASANDI, R.; POORESMAIL, H. Effect of osmopriming on the germination of tomato seeds. **International Journal of Biosciences**, v. 5 n. 1, p. 359-364, 2014.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Pre-sowing seed treatment- a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 223-271, 2005.
- ASHRAF, M.R.; FOOLAD. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.
- 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**, v. 38, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.19084/rca.16949>.
- BASU, R. An appraisal of research on wet and dry physiological seed treatments and their applicability with special reference to tropical and sub-tropical countries. **Seed Science and Technology**, v. 22, p. 107-126, 1994.

- BATISTA, T. B.; CARDOSO, E. D.; BINOTTI, F. F. S.; COSTA, E.; SÁ, M. Priming and stress under high humidity and temperature on the physiological quality of *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 seeds. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i1.26021>.
- BATISTA, T.B.; BINOTTI, E.D.C.; BINOTTI, F.F.S.; SÁ, M.E., SILVA, T.A. Priming of brachiaria seeds with different sugar sources and concentrations. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 843–849, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n406rc>.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, p. 445, 1994.
- BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3 ed. New York: Springer, 392 p., 2013. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4.
- BONOME, L. T. S.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; ANDRADE, V. C.; CABRAL, P. S. Efeito do condicionamento osmótico em sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 422- 428, 2006.
- CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. S.; COSTA, E. Qualidade fisiológica e composição química de sementes de *Brachiaria brizantha* em função do condicionamento osmótico. **Revista de Agricultura Neotropical**, , v. 2, n. 2, p. 42 - 48, 2015.
- CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; HAGA, K. I.; BINOTTI, F. F. S.; NOGUEIRA, D. N.; 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.
- CASTANARES, L.; BOUZO, C. Effect of different priming treatments and priming durations on melon germination behaviour under suboptimal conditions. **Open Agriculture**, v. 3, p. 386-392, 2018.
- COPELAND, L.O.; MCDONALD, M.F. Principles of Seed Science and Technology. **Springer Science & Business Media: New York**, NY, USA, 2012.
- CUSTÓDIO, C. C.; AGUIAR, R. P. Teste de tetrazólio em sementes de gramíneas forrageiras tropicais. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.139-181, 2020.

- DEZFULI, P. M.; SHARIF-ZADEH, F.; JANMOHAMMADI, M. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 3, n. 3, p. 22-25, 2008.
- DIAS, M.C.L.L.; ALVES, S.J. **Teste de tetrazólio em sementes de *Panicum maximum* e *Brachiaria brizantha***. Londrina: IAPAR, 11p., 2000.
- ELY, P. R.; HEYDECKER, W. Fast germination of parsley seeds. **Scientia Horticulturae**, v. 15, n. 2, p. 127-136, 1981.
- ABDULRAHMANI, K.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; VALIZADEH, M.; ASL, V. F. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 5, 179-184, 2007.
- ESHKAB, I. A.; HARRIS, P. J. C. Seed Priming: Factors Affecting Efficacy. **International Review of Basic and Applied Sciences**, v. 8, n.4, 2020.
- FAIJUNNAHAR, M.; ABDULLAHIL BAQUE, M.; HABIB, M. A.; HOSSAIN, H. M. Polyethylene glycol (PEG) induced changes in germination, seedling growth and water relation behavior of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Universal Journal of Plant Science**, v. 5, n. 4, p. 49-57, 2017. [https://doi: 10.13189/ujps.2017.050402](https://doi.org/10.13189/ujps.2017.050402)
- FARAJI, J.; SEPEHRI, A.; SALCEDO-REYES, J.C. Titanium dioxide nanoparticles and sodium nitroprusside alleviate the adverse effects of cadmium stress on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Universitas Scientiarum**, v. 23, n. 1, p. 61-87, 2018. <http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.sc23-1.tdna>.
- FAROOQ, M.; BARSA, S. M. A.; SALEEM, B. A.; NAFEEES, M.; CHISHTI, S. A. Enhancement of tomato seed germination and seedling vigour osmopriming. **Pakistan Journal of Agricultural Science**, v. 42, 2005.
- FAROOQ, M.A.; WAHID, D. J. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 937-945, 2009. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
- FAROOQ, S.; HUSSAIN, M.; JABRAN, K.; HASSAN, W.; RIZWAN, M.S.; YASIR, T.A. Osmopriming with CaCl₂ improves wheat (*Triticum aestivum* L.) production under water-limited environments. **Environ. Sci. Pol. Res.** v. 24, p. 13638–13649, 2017.

- FELIX, F. C.; KRATZ, D.; RIBEIRO, R.; NOGUEIRA, A. C. Machine learning in the identification of native species from seed image analysis. **Journal of Seed Science**, v.46, e202446002, 2024.ABDULRAHMANI, K.; GHASSEMI-GOLEZANI, K.; VALIZADEH, M.; ASL, V. F. Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 5, 179-184, 2007.
- GEETHA, C. K.; VALSALAKUMARI, P. K.; RAJEEVAN, P. K. Effect of seed priming on germination and seedling vigour in *cassia* spp. **Journal of Applied Horticulture**, v. 3, p. 89-92, 1997.
- GHODRAT, V.; ROUSTA, M. J. Effect of priming with gibberellic acid (GA₃) on germination and growth of corn (*Zea mays* L.) under saline conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 4, n. 13, p. 882-885, 2012.
- GIROLAMO, G.; BARBANTI, L. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. **Italian Journal of Agronomy**, v. 7, n. 2, p. 25, 2012. <https://doi.org/10.4081/ija.2012.e25>.
- GOMES, DP; SILVA, AF; DIAS, DCFS; ALVARENGA, EM; SILVA, LJ; PANOZZO, LE. Priming and drying on the physiological quality of eggplant seeds. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 484-488, 2012.
- GOMES-JUNIOR; F. G. Análise computadorizada de imagens de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.139-181, capítulo 3, 2020.
- GOSWAMI, A.; BANERJEE, R.; RAHA, S. Drought resistance in rice seedlings conferred by seed priming. **Protoplasma**, v. 250, p. 1115–1129, 2013.
- GOVINDEN-SOULANGE, J. e LEVANTARD, M. Comparative studies of seed priming and pelleting on percentage and meantime to germination of seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 10, p. 725-731, 2008. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000117>.
- HAIGH, A. M.; BARLOW, E. W. R. Germination and priming of tomato, carrot, onion and sorghum seeds in a range of osmotica. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 112, p. 202-208, 1987.

- HENDRICKS, S. B.; TAYLORSON, R. B. Promotion of seed germination by nitrate, nitrite, hydroxylamine, and ammonium salts. **Plant Physiol.**, v. 54, n. 3, p. 304-9, 1974. doi: 10.1104/pp.54.3.304.
- HEYDECKER, W.; GIBBINS, BERYL M. THE 'PRIMING' OF SEEDS. **Acta Horticulturae**, v. 83, p. 213-224, 1978. DOI: 10.17660/ActaHortic.1978.83.29.
- HUNGRIA, M.; RONDINA, A.B.L.; NUNES, A.L.P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, v. 463, p. 171–186, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04908-x>.
- HUSSAIN, M.; FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; AHMAD, N. Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 8, p. 14-18, 2006.
- HUSSAIN, M.M.; FAROOQ, D.J. Evaluating the role of seed priming in improving drought tolerance of pigmented and non-pigmented rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, p. 269-276, 2017.
- HUSSAIN, S.; KHAN, F.; HUSSAIN, H.A.; NIE, L. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-Induced chilling tolerance in rice cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **International rules for seed testing**. Zurich: Seed Science and Technology, 333 p, 2004.
- ISERI, O.D.; SAHIN, F.; HBERAL, M. Sodium chloride priming improves salinity responses of tomato at seedling stage. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, p. 374-392, 2014.
- JEROMINI, T. S.; MARTINS, C. C.; PEREIRA, F. E. C. B.; GOMES, F. G. The use of X-ray to evaluate *Brachiaria brizantha* seeds quality during seed processing. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 3, p. 439-446, 2019. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190052>.
- KAISER, I. S.; MACHADO, L. C.; LOPES, J. C.; MENGARDA, L. H. G. Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201663010006>.

- KAVITHA MARY, J.P.; MARIMUTHU, K.; SIVAKUMAR, U. Seed priming effect of arbuscular mycorrhizal fungi against induced drought in rice. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, p. 1742–1746, 2018.
- KHAING, M.; ULTRA, V. U. JR.; CHUL LEE, S. Seed priming influence on growth, yield, and grain biochemical composition of two wheat cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, n. 3, p. 875-888, 2020.
- KHALAKI, A.; MASOOMEHMOAMERI; LAJAYER, M.; BEHNAMASTATKIE; TESS. Influence of nano-priming on seed germination and plant growth of forage and medicinal plants. **Plant growth regulation**, v. 93, p. 13-28, 2021.
- KIKUTI, A. L. P.; MARCOS-FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 240-245, 2009.
- KOLBERT, Z.; LINDERMAYR, C.; LOAKE, G. J. The role of nitric oxide in plant biology: current insights and future perspectives. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 3, p. 777-780, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erab013>.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; GOMES-JUNIOR, F. G.; NAKAGAWA, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. Capítulo 2. Londrina: ABRATES, 2020.
- KUBALA, S.; WOJTYLA, Ł.; QUINET, M.; LECHOWSKA, K.; LUTTS, S.; GARNCZARSKA, M. Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. **J. Plant. Physiol**, v. 183, p. 1–12, 2015,
- KUSHWAHA, V. SEED PRIMING USING SNP (SODIUM NITROPRUSSIDE) IN COMBINATION WITH OTHER PGRS TO IMPROVE DROUGHT TRAITS IN WHEAT (*Triticum aestivum* L.). **Dissertação** (mestrado Biotecnologia Agrícola) - Sardar Vallabh Bhai Patel University of Agriculture and Technology, Meerut, 2021. <https://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810204653>.
- LIU, L; XIA, W.; LI, H.; ZENG, H.; WEI, B.; HAN, S.; YIN, C . Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 275, 2018.
- LOPES, C. A.; DE CARVALHO, M. L. M.; DE SOUZA, A. C.; OLIVEIRA, J. A.; DE ANDRADE, D. B. Cryopreservation of primed tobacco seeds. **Journal of Seed Science**, vol. 40, no. 4, p. 415-421, 2018. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n4207216>.

- MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- MANJAVACHI, M. K. P.; SILVA, T. A.; GUIMARÃES, C. C.; SARTORI, M. M. P.; SILVA, E. A. A. Physiological and biochemical responses of osmo-primed parsley seeds subjected to saline stress. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, e54364, 2022. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54364>.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 659 p., 2015.
- MARCOS-FILHO, J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; MARCOS-FILHO, J.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). Capítulo 4. Londrina: ABRATES, 2020.
- MARTHANDAN, V.; GEETHA, R.; KUMUTHA, K.; RENGANATHAN, V.G.; KARTHIKEYAN, A.; RAMALINGAM, J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>.
- MEDEIROS, A. D.; SILVA, L. J.; SILVA, J. M.; DIAS, D. C. F. S.; PEREIRA, M. D. IJCropSeed: An open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, 2020.
- MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M. Efeito do condicionamento osmótico e sombreamento na germinação e no crescimento inicial das mudas de angico (*Anadenanthera falcata* Benth. Speg.). **Revista Brasileira De Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 4, p. 655–663, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000500005>.
- MOURADI, M.; BOUIZGAREN, A.; FARISSI, M.; LATRACH, L.; QADDOURY, A.; GHOUAM, C. Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.)—Rhizobia symbiosis under drought stress. **Sci. Hortic**, v. 213, p. 232–242, 2015.
- MUHAMMAD, M. A.; JAVED, T.; MAURO, R. P.; SHABBIR, R.; AFZAL, I.; YOUSEF, A .F. Effect of Seed Priming with Potassium Nitrate on the Performance of Tomato. **Agriculture**, v. 10, n. 11, 2020.

- MUSTAFA, H. S.; MAHMOOD, T.; ULLAH, A.; SHAH, A.; BHATTI, A. N.; NAEEM, M.A.; ALI, R. A. ROLE OF SEED PRIMING TO ENHANCE GROWTH AND DEVELOPMENT OF CROP PLANTS AGAINST BIOTIC AND ABIOTIC STRESSES. **Bulletin of Biological and Allied Sciences Research**, v. 2, p. 1-11, 2017.
- NAKAO, E. A. TEMPERATURA E OSMOCONDICIONAMENTO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Urochloa brizantha* (STAPF) Webster CV. BASILISK. **Dissertação** (mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2012.
- NASCIMENTO, W. M. Condicionamento osmótico de sementes de hortaliças. Brasília: Embrapa. 12 p. **Circular Técnica** 33, 2004.
- NASCIMENTO, W. M. Condicionamento osmótico de sementes de hortaliças visando a germinação em condições de temperaturas baixas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 211-214, 2005.
- NASCIMENTO, W. M. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. **Scientia Agrícola**, v. 60, p. 71-75, 2003. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162003000100011>
- NASCIMENTO, W.M.; COSTA, C.J. **Condicionamento Osmótico de Sementes**. In: NASCIMENTO, W.M. Tecnologia de Sementes de Hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, Brasília, 2009, p. 345-396.
- OKELLO, D.; KOMAKECH, R.; GANG, R.; RAHMAT, E.; CHUNG, Y.; OMUJAL, F.; KANG, Y. Influence of various temperatures, seed priming treatments and durations on germination and growth of the medicinal plant *Aspilia africana*. **Scientific Reports**, v. 12, n. 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18236-2>.
- OLIVEIRA, T. F.; SANTOS, H. O. D.; VAZ-TOSTES, D. P.; CAVASIN, P.Y.; ROCHA, D. K.; TIRELLI, G. V. Protective action of priming agents on *Urochloa brizantha* seeds under water restriction and salinity conditions. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021.
- OLIVEIRA, T. F.; SANTOS, H. O.; RIBEIRO, J. B.; PEREIRA, W. V. S.; PEREIRA, A. A. S.; CUNHA NETO, A. R. Priming *Urochloa ruziziensis* (R. Germ. & Evrard) seeds with signalling molecules improves germination. **Journal of Seed Science**, v. 44, 2022. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44262484>.

- PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S.S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell**, v. 34, p 1281–1293, 2015.
- PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; SOUZA, G. S. F.; MARTINS, D. Influência do estresse hídrico e salino na germinação de *Urochloa decumbens* e *Urochloa ruziziensis*. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 537-545, 2012.
- PEREIRA, S.R.; SILVA LIMA, A.E.; CONTREIRAS-RODRIGUES, A.; OLIVEIRA, D.R.; LAURA, V.A. Priming of *Urochloa brizantha* cv. Xaraés seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13, p. 2804–2807, 2018. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13414>.
- PERIS, G. C. O.; PINHEIRO, D. T.; LIMÃO, M. A. R.; SOUZA, L. R.; RAMOS, R. M. A.; DIAS, D. C. F. S. OSMOPRIMING AND ITS RELATIONSHIP WITH THE QUALITY OF *Urochloa decumbens* SEEDS UNDER WATER DEFICIT. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 11, n. 1, p. e8288, 2024.
- PUTHIYOTTIL, P. Priming of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (okra) seeds with liquid phosphobacterium: An approach to mitigate drought stress. **Tropical Plant Research**, v. 2, p. 276-281, 2015.
- RAJ, A. B.; RAJ, S, K. Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. **Journal of Applied and Natural Science**, v.11, n. 1, p. 227-234, 2019. <https://doi.org/10.31018/jans.v11i1.2010>.
- RATHER, B. A.; MIR, I. R.; MASOOD, A.; ANJUM, N. A.; KHAN, N. A. Nitric oxide pre-treatment advances seed germination and alleviates copper-induced photosynthetic inhibition in Indian mustard. **Plants**, v. 9, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060776>.
- RHAMAN M. S.; IMRAN S.; RAUF F.; KHATUN M.; BASKIN C. C.; MURATA Y.; Hasanuzzaman M. Seed Priming with Phytohormones: An Effective Approach for the Mitigation of Abiotic Stress. **Plants**, v. 10, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>.
- RHAMAN, M. S.; RAUF, F.; TANIA, S. S.; KHATUN, M. 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. 10.9734/ajrcs/2020/v5i230091.
- RIBEIRO, E.C.G.; REIS, R.D.G.E.; VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. **Pesquisa**

- Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955341>.
- SABERALI, S.F.; MORADI, M. Effect of salinity on germination and seedling growth of *Trigonella foenum-graecum*, *Dracocephalum moldavica*, *Satureja hortensis* and *Anethum graveolens*. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 3, p. 316-323, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.09.004>.
- SILVA, A. L. D.; DIAS, D. C. F. S.; BORGES, E. E. L.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, L. J. Effect of sodium nitroprusside (SNP) on the germination of *Senna macranthera* seeds (DC. ex Collad.) HS Irwin & Baneby under salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 4, p. 236-243, 2015.
- SILVA, C. D.; DAVID, A. M. S. S.; ALVES, D. D.; CONCEIÇÃO, E. R. S.; PARAIZO, E. A.; SOARES, L. M.; NOBRE, D. A. C.; FIGUEIREDO, J. C. The physiological potential of marandu grass seeds under water stress conditioned with ascorbic acid. **Acta Biológica Colombiana**, v. 28, n.1, p. 29-38, 2023. <https://doi.org/10.15446/abc.v28n1.96946>.
- SILVA, L. J.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, A. M. S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, 2019.
- SILVEIRA, A. S.; PINHEIRO, D. T.; OLIVEIRA, R. M.; DIAS, D. C. F. D. S.; SILVA, L. J. Osmopriming with selenium: physical and physiological quality of tomato seeds in response to water deficit. **Journal of Seed Science**, vol. 45, 2023. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v45267349>.
- TABASSUM, T.; AHMAD, R.; FAROOQ, M.; BASRA, S.M.A. Improving salt tolerance in barley by osmopriming and biopriming. **Int. J. Agric. Biol.**, v. 20, p. 2455–2464, 2018a.
- TABASSUM, T.; FAROOQ, M.; AHMAD, R.; ZOHAIB, A.; WAHID, A.; SHAHID, M. Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 24, p. 845-856, 2018b.
- USDA. Livestock and poultry: world markets and trade. 2020. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.
- VARIER, A.; VARI, A. K.; DADLANI, M. The subcellular basis of seed priming. **Current Science**, v. 99, p. 450-456, 2010.

- 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. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/106202>.
- WAQAS, M; KORRES, N. E.; KHAN, M. D.; NIZAMI, A. S.; DEEBA, F.; ALI, I.; HUSSAIN, H. **Advances in the concept and methods of seed priming**. In Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings. Springer, Singapore, p. 11-41, 2019.
- WORMA, M.; SEGATTO, C.; STEFEN, C.; BUBA, G. P.; LEOLATO, L. S. Qualidade fisiológica de sementes de milho produzidas com adubação biológica e bioestimulante em diferentes preparos de solo. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, v. 27, n. 3, p. 187- 194, 2019.
- YAN, M. Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 99, p. 88-92, 2015.
- YARI, L.; AGHAALIKANI, M.; KHAZAEI, F. Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2010.