



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE AGRONOMIA

RENNAN MARTINS DE ALCÂNTARA SOUSA

**DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA EM RESPOSTA AOS
ESTRESSES HÍDRICO E TÉRMICO NA FASE GERMINATIVA**

FORTALEZA

2021

RENNAN MARTINS DE ALCÂNTARA SOUSA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA EM RESPOSTA AOS
ESTRESSES HÍDRICO E TÉRMICO NA FASE GERMINATIVA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.

Coorientadora: Ms. Letícia Kenia Bessa de Oliveira.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S698d Sousa, Rennan Martins de Alcântara.
Desempenho fisiológico de sementes de soja em resposta aos estresses hídrico e térmico na fase germinativa / Rennan Martins de Alcântara Sousa. – 2021.
48 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
Coorientação: Profa. Ma. Letícia Kenia Bessa de Oliveira.
1. Estresses abióticos. 2. Germinação. 3. Fisiologia de sementes. 4. Vigor. 5. Glycine max L. Merrill. I.
Título.

CDD 630

RENNAN MARTINS DE ALCÂNTARA SOUSA

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA EM RESPOSTA AOS
ESTRESSES HÍDRICO E TÉRMICO NA FASE GERMINATIVA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 06/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Letícia Kenia Bessa de Oliveira (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Johny de Souza Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Rafael Santiago da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida que me foi concedida e por sempre me mostrar o caminho certo.

Sou incondicionalmente grato aos meus pais, Antônio Wilkson de Alcântara Sousa e Franciene de Lima Martins, pelo constante incentivo aos estudos, pelo apoio, e por todos os esforços que foram feitos por eles para que eu pudesse chegar aqui hoje.

Aos meus irmãos, Giselly Martins de Alcântara Sousa, Pedro Wilkians Martins de Alcântara Sousa e Murilo Martins de Alcântara Sousa, por todo o companheirismo.

Agradeço de forma especial à professora Rosilene Oliveira Mesquita, por toda sua orientação, por ter acreditado em mim e aceitado conduzir o meu trabalho, e por toda sua ajuda ao longo desse processo.

Agradeço imensamente à minha coorientadora e amiga, Letícia Kenia Bessa de Oliveira, por todo o apoio e suporte que me foi dado, assim como por todo tempo que ela dedicou a este trabalho.

Agradeço aos amigos, Letícia Kenia, Johny de Souza, Antônio Lucas, Charles Lobo, Rafael Santiago, Ana Beatriz Pereira, Késsia Vanessa Gomes e Jesimiel da Silva que me ajudaram e me apoiaram durante o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço à minha namorada, Vanessa Albuquerque da Costa, que sempre esteve ao meu lado me apoiando de todas as formas.

Agradeço a todos os amigos da graduação pelos inúmeros aprendizados compartilhados, por todos os momentos juntos e por todos os desafios superados.

Agradeço à professora Haynna Abud e a empresa Image Pesquisas por todo o apoio e suporte para a realização desse trabalho.

Agradeço à Universidade e a todos os docentes que contribuíram para a minha formação e realização desse trabalho.

RESUMO

A soja é uma das principais culturas anuais cultivada no Brasil, sendo que sua produtividade está diretamente relacionada com a qualidade fisiológica e bioquímica da semente e essa qualidade pode ser afetada por condições de estresses, tais como o hídrico e o térmico. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de soja submetidas ao déficit hídrico e ao estresse térmico durante a fase germinativa. O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Ecofisiologia da Produção e de Fisiologia Vegetal, pertencentes, respectivamente, ao Departamento de Fitotecnia e de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza-CE. Para esse estudo foram utilizadas sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, as quais foram submetidas a condições de estresse hídrico e térmico e avaliados seus aspectos fisiológicos e bioquímicos. O delineamento experimental usado foi inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas pelas três temperaturas (20, 25 e 35°C) e as subparcelas definidas pelos seis níveis de potenciais osmóticos (0, -0,05, -0,10, -0,15, -0,20 e -0,25MPa). As variáveis analisadas foram: porcentagem final de germinação (%G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), comprimentos da parte aérea (CPA) e da radícula (CR), massas secas da parte aérea (MSPA) e da radícula (MSR), teores de carboidratos solúveis e prolina. A baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente tanto a %G quanto o vigor das sementes de soja, principalmente no menor potencial osmótico (-0,25 MPa), no qual houve uma redução de 23,3% na germinação final das sementes. A temperatura de 35°C foi a que proporcionou redução de 13,3% na %G, assim como promoveu menor vigor das sementes de soja quando comparada às demais temperaturas analisadas. A temperatura de 20°C, quando combinada com ao déficit hídrico, promoveu maiores reduções na PCG, no qual houve um declínio de 63,7% dessa variável no menor potencial osmótico (-0,25MPa) quando comparado com o potencial osmótico 0MPa. A temperatura de 25°C proporcionou redução de 61,6% no IVG, já a temperatura de 20°C foi a que teve seu tempo médio de germinação TMG mais afetado, chegando a um retardo de 69,15%, quando se comparou os extremos dos seus potenciais osmóticos. A temperatura de 20°C possibilitou redução de 73,37% na variável CPA e de 48,33% na variável CR. Já na relação CR/CPA, foi a temperatura de 25°C que proporcionou o maior aumento, 160,19%. A temperatura de 35°C promoveu redução de 68,22% na MSPA, enquanto que a de 25°C que promoveu redução de 44,91% na MSR. Os diferentes potenciais osmóticos, juntamente com as diferentes temperaturas, afetaram diretamente os teores de solutos orgânicos tanto na parte aérea quanto

na raiz das plântulas de soja, no qual a temperatura de 20°C foi a que possibilitou os maiores aumentos nos teores de carboidratos solúveis tanto da parte aérea quanto da radícula, 103,5% e 70,1%, respectivamente. A temperatura de 20°C também foi a que possibilitou os maiores aumentos nos teores de prolina tanto da parte aérea quanto da radícula, 106,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS e 127,6 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, respectivamente. De forma geral, a temperatura de 25°C mostrou-se como a mais adequada uma vez que possibilitou, o melhor desempenho fisiológico para as variáveis germinativas, de vigor e para o acúmulo de carboidratos e prolina em resposta ao déficit hídrico.

Palavras-Chave: Estresses abióticos, Germinação, Fisiologia de sementes, Vigor, *Glycine max* L. Merrill.

ABSTRACT

Soybean is one of the main annual crops grown in Brazil, and its productivity is directly related to the physiological and biochemical quality of the seed and this quality can be affected by stress conditions, such as water and heat. In this sense, the objective of this study was to evaluate the physiological and biochemical performance of soybean seeds submitted to water deficit and thermal stress during the germination phase. The experiment was conducted in the Laboratories of Ecophysiology of Production and Plant Physiology, belonging, respectively, to the Department of Phytotechnics and Biochemistry and Molecular Biology of the Federal University of Ceará (UFC), located in Fortaleza-CE. For this study, soybean seeds of the hybrid Monsoy 8349 IPRO were used, which were submitted to water and thermal stress conditions and their physiological and biochemical aspects were evaluated. The experimental design used was completely randomized, in the split plot scheme, with four replications, with the plots by the three temperatures (20, 25 and 35°C) and the subplots defined by the six levels of osmotic potentials (0, -0.05, -0.10, -0.15, -0.20 and -0.25MPa). The variables analyzed were: final germination percentage (%G), first germination count (PCG), germination speed index (IVG), average germination time (TMG), shoot length (CPA) and radicle length (CR), dry shoots (MSPA) and radicle (MSR), soluble carbohydrate and proline content. The low water availability negatively affected both the % G and the vigor of the soybean seeds, mainly in the lower osmotic potential (-0.25 MPa), in which there was a reduction of 23.3% in the final germination of the seeds. The temperature of 35°C was the one that provided a reduction of 13.3% in %G, as well as promoting less vigor of the soybean seeds when compared to the other temperatures analyzed. The temperature of 20°C, when combined with the water deficit, promoted greater reductions in PCG, in which there was a decline of 63.7% of this variable in the lower osmotic potential (-0.25MPa) when compared with the osmotic potential 0MPa. The temperature of 25°C provided a reduction of 61.6% in the IVG, while the temperature of 20°C was the one that had its average germination time TMG most affected, reaching a delay of 69.15%, when comparing the extremes of its potentials osmotic. The temperature of 20°C allowed a reduction of 73.37% in the variable CPA and 48.33% in the variable CR. In the CR/CPA ratio, it was the temperature of 25°C that provided the greatest increase, 160.19%. The temperature of 35°C promoted a reduction of 68.22% in the MSPA, while the temperature of 25°C which promoted a reduction of 44.91% in the MSR. The different osmotic potentials, together with the different temperatures, directly affected the levels of organic solutes both in the aerial part and in the root of the soybean seedlings, in which the temperature of 20°C was the one that made possible the biggest increases in the levels of soluble carbohydrates of both

aerial part and radicle, 103.5% and 70.1%, respectively. The temperature of 20°C was also the one that made possible the greatest increases in the levels of proline in both the aerial part and the radicle, 106.3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS and 127.6 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, respectively. In general, the temperature of 25 ° C proved to be the most adequate since it made possible the best physiological performance for the germinative variables, vigor and for the accumulation of carbohydrates and proline in response to water deficit.

Keywords: Abiotic stresses. Germination. Seed physiology. Vigor. *Glycine max* L. Merril.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – [A] Sementes de soja tratadas com o fungicida Rancona® T; [B] Sementes de soja dispostas uniformemente no papel Germitest; [C] Folhas de papel Germitest enroladas, com seus respectivos tratamentos, em potes de polietileno; [D] Câmaras de germinação do tipo BOD utilizadas no trabalho. Fortaleza–CE, 2021..... 21
- Figura 2 – [A] Plântulas após sete dias de semeadura, pertencentes ao tratamento com temperatura de 25°C e potencial osmótico de 0 MPa; [B] Medição dos comprimentos da parte aérea e radícula de uma plântula com auxílio de uma régua graduada. Fortaleza–CE, 2021..... 22
- Figura 3 – [A] Partes seccionadas das plântulas sendo pesadas em balança de precisão; [B] Amostras seccionadas acondicionadas em sacos de papel identificados; [C] Estufa utilizada para a secagem das amostras. Fortaleza–CE, 2021..... 23
- Figura 4 – [A] Folhas de papel alumínio com material vegetal fresco armazenado; [B] Amostras liofilizadas sendo maceradas; [C] Pó fino resultante da maceração das amostras armazenados em tubos de eppendorf. Fortaleza–CE, 2021..... 24
- Figura 5 – [A] Etanol a 80% sendo adicionado nas amostras de parte aérea e das raízes; [B] Banho-seco sendo utilizado com as amostras; [C] Centrífuga utilizada no experimento; [D] Coleta do sobrenadante após as amostras serem retiradas da centrífuga. Fortaleza–CE, 2021..... 25
- Figura 6 – [A] Fenol 5% sendo adicionado nas amostras; [B] Ácido sulfúrico concentrado sendo adicionado nas amostras; [C] Agitamento dos tubos contendo as amostras; [D] Espectrofotômetro utilizado para realizar as leituras do trabalho. Fortaleza–CE, 2021..... 26
- Figura 7 – [A] Mistura de ninhidrina ácida e ácido acético sendo adicionadas nos tubos contendo as amostras; [B] Amostras no banho-maria; [C] Resfriamento das amostras no banho de gelo; [D] Tolueno sendo adicionado nos tubos contendo as amostras. Fortaleza–CE, 2021..... 27

Figura 8 –	Germinação final (%G) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas [A] e a seis níveis de potencial osmótico[B]. Fortaleza–CE, 2021.....	30
Figura 9 –	[A] Primeira contagem de germinação (PCG), [B] índice de velocidade de germinação (IVG) e [C] tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	31
Figura 10 –	[A] Comprimento da parte aérea (CPA), [B] comprimento da radícula (CR) e [C] relação entre o comprimento da radícula e o comprimento da parte aérea (CR/CPA) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	35
Figura 11 –	[A] Massa seca da parte aérea (MSPA) e [B] massa seca da radícula (MSR) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	37
Figura 12 –	[A] Carboidratos solúveis da parte aérea e [B] da radícula de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	39
Figura 13 –	[A] Teores de prolina na parte aérea e [B] na radícula de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Concentração em g L ⁻¹ de polietilenoglicol (PEG 6000) estimada às temperaturas de 20, 25 e 35°C para a obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	20
Tabela 2 –	Resumo da análise de variância para porcentagem final de germinação (%G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	29
Tabela 3 –	Resumo da análise de variância para comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da radícula (CR), relação radícula/parte aérea (CR/CPA), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da radícula (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da radícula (MSR) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	34
Tabela 4 –	Resumo da análise de variância para carboidratos solúveis na parte aérea (CSPA) e na raiz (CSR) e prolina livre na parte aérea (PLPA) e raiz (PLR) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Geral.....	14
2.2	Específicos.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1	Aspectos gerais da cultura da soja.....	15
3.2	Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja sob déficit hídrico.....	16
3.3	Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja sob estresse térmico.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	Local do experimento e material vegetal utilizado.....	19
4.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	19
4.3	Germinação e Vigor.....	19
4.4	Solutos orgânicos.....	24
4.4.1	<i>Carboidratos solúveis</i>.....	24
4.4.2	<i>Prolina livre</i>.....	26
4.5	Análise estatística.....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1	Germinação e vigor.....	29
5.2	Solutos orgânicos.....	38
5.2.1	<i>Carboidratos solúveis</i>.....	38
5.2.2	<i>Prolina livre</i>.....	40
6	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill), dicotiledônea da família Fabaceae, está entre as plantas de cultivo mais importantes do mundo, em razão de sua grande relevância para a economia mundial e também de suas características nutricionais, tendo em vista que a caracterizam como uma excelente fonte de proteína vegetal (CASTRO et al., 2015). No Brasil, a soja é um dos produtos agrícolas mais importantes e versáteis, ocupando lugar de destaque na oferta de óleo, na fabricação de ração animal, como fonte proteica, bem como no mercado de exportação de grãos e farelo, sendo seu cultivo potencializado pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas a diversas condições edafoclimáticas e a utilização de sementes de alta qualidade (TEIXEIRA et al., 2008; TEJO et al., 2019).

A qualidade de sementes é um dos fatores mais importantes para o estabelecimento das culturas em campo e conseqüentemente para o sucesso produtivo, uma vez que é através dessa qualidade que o produtor conseguirá obter um estande uniforme, o que facilitará o manejo e os tratos culturais empregados (KRZYŻANOWSKI et al., 2018). Além disso, a utilização de sementes de alta qualidade e adaptadas através do melhoramento genético, mostra-se uma alternativa viável para o cultivo em regiões ambientais menos favoráveis à agricultura, tais como o Semiárido em que as taxas de evaporação são superiores à precipitação e a temperatura é elevada (COSTA et al., 2020).

Nesse sentido, a avaliação das sementes submetidas aos estresses hídrico e térmico, mostra-se como uma técnica recomendada, uma vez que se pode definir melhores condições de cultivo (GRZYBOWSKI et al., 2015). Essa avaliação é de suma importância para o sucesso produtivo, tendo em vista que as sementes estão sujeitas a diversos fatores bióticos e abióticos, como déficit hídrico, oscilações na temperatura e ataque de fitopatógenos, que podem reduzir a percentagem de emergência de plântulas, ocasionando um estande desuniforme, e conseqüentemente, diminuição na produção (SILVA et al., 2011).

No que diz respeito ao déficit hídrico, este é um dos fatores mais limitantes à agricultura e pode ser simulado através de soluções com diferentes potenciais osmóticos, como por exemplo, polietilenoglicol (PEG 6000) e manitol, para umedecer o substrato onde as sementes serão colocadas para germinar, afim de simular condições de baixa disponibilidade hídrica no solo (ÁVILA et al., 2007). Outro fator de grande importância para a germinação é a temperatura, uma vez que ao serem submetidas a temperaturas ótimas, as sementes apresentam maior porcentagem e velocidade de germinação (NASCIMENTO, 2013) e segundo Vaz-de-

Melo et al., (2012), temperaturas acima ou abaixo da adequada, causam redução significativa da germinação, e em alguns casos, podem ocasionar a morte do embrião em poucos dias.

Acredita-se que na fisiologia da soja devam ocorrer alterações tanto a nível metabólico quanto morfológico, de modo a promover um ajuste ao ambiente adverso. Uma das formas de verificar o efeito desses fatores ambientais estressantes em sementes de soja, é através das análises fisiológicas e bioquímicas, as quais podem fornecer resultados que demonstrem o nível dos danos ocasionados pela exposição a essas condições (VIEIRA et al., 2013). Nessa perspectiva, Silva et al. (2011), avaliando o efeito do estresse hídrico e térmico na germinação e no vigor de sementes de cenoura, verificaram que a germinação das sementes não foi afetada até potenciais de $-0,3$ MPa e temperaturas de 15 e 35°C influenciaram negativamente a germinação e o vigor das sementes.

Mesmo sabendo da importância econômica da cultura da soja e das condições adequadas, tanto de disponibilidade hídrica quanto de temperaturas, no quesito germinação das sementes ainda são necessários estudos que correlacionem esses dois fatores para se possa proporcionar um melhor desempenho da cultura em campo. Nesse sentido, o mapeamento das repostas da soja a diferentes combinações hídricas e térmicas na germinação torna-se uma estratégia para caracterização dos mecanismos de adaptabilidade à essas condições.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar o desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de soja submetidas ao déficit hídrico e ao estresse térmico durante a fase germinativa.

2.2 Específicos

- Avaliar o efeito da baixa disponibilidade hídrica e da temperatura na germinação e no vigor de sementes de soja;
- Determinar a melhor temperatura para germinação e desenvolvimento de plântulas e o nível de potencial hídrico que mais os afeta negativamente;
- Determinar os teores de solutos orgânicos (carboidratos e prolina) nos tecidos tanto da parte aérea quanto do sistema radicular das plântulas de soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie da família Fabaceae, oleaginosa anual, dicotiledônea e originária da costa da Ásia e China. Caracteriza-se por ser uma planta de ciclo anual, com caule do tipo herbáceo, crescimento ereto, altura variando de 0,60 a 1,50 m, possuindo pelos brancos, pardo-queimados ou tostados em suas estruturas. O seu sistema radicular é formado por uma raiz principal pivotante, com ramificações ricas em nódulos de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. As folhas são alternas, trifolioladas com folíolos grandes, geralmente ovais, medindo de 7 a 15 cm de comprimento (ALMEIDA et al., 2017; PASSOS et al., 1973).

As flores são axilares ou terminais, do tipo racemoso (semelhantes a cachos), hermafroditas ou andróginas, brancas, amarelas ou violáceas. Seus frutos são do tipo vagem, são curtos, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta, normalmente pendente, e em número de uma a cinco por pedúnculo, possuindo de duas a cinco sementes por fruto (LORENZI, 2016). Por ser uma commodity e apresentar grande importância no agronegócio mundial, seu cultivo está em contínua expansão (VIEIRA, 2019).

O Brasil é um dos grandes produtores de soja, se enquadrando em segundo lugar na produção mundial de grãos, além de ser um dos principais exportadores (DEJNEKA, 2015) e no ano de 2017/2018, devido ao expressivo crescimento, ocupou 49% do total da área destinada a produção de grãos no Brasil (CONAB, 2018). No cenário agrícola mundial a soja é o quarto produto entre os cereais e oleaginosas mais utilizadas no consumo humano e o mais importante em produção e comercialização (FAO, 2019). A produção e exportação são dominadas pelos Estados Unidos, Brasil e Argentina, além de tornar-se cada vez mais importante no Paraguai, Bolívia e Uruguai (MELGAR et al., 2011).

O avanço da produção de grãos no Brasil advém da adoção de tecnologias de mecanização em todas as etapas, bem como na utilização de sementes de qualidade e de sistemas de produção que auxiliam na recuperação da qualidade física do solo. Estes fatores contribuem para altas produtividades, obtidas quando as condições ambientais são favoráveis em todos os estádios de crescimento da cultura (VERNETTI JUNIOR, 2013).

3.2. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja sob déficit hídrico

A primeira etapa da germinação é a embebição, quando as sementes absorvem água. A limitação de água pode reduzir a velocidade da germinação ou até mesmo impedi-la (COSTA et al., 2004). Para a cultura da soja, o estresse hídrico provoca efeitos negativos na germinação e vigor das sementes e, em condições de estresses ainda mais severos, as sementes de menor vigor são as mais suscetíveis (BRACCINI et al., 1996).

Avaliando a influência da deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade fisiológica das sementes de soja, cultivar MONSOY 8008 RR, na geração F1, Tavares et al. (2013) concluíram que a utilização de sementes de alto vigor proporcionou um acréscimo superior a 15% no rendimento de sementes de soja, e o déficit hídrico do primeiro ao décimo dia após a emergência não interferiu no rendimento e na qualidade fisiológica das sementes de soja de alto e baixo vigor. Também avaliando a relação entre o vigor de sementes de soja sob déficit hídrico, Tavares et al. (2013) constataram que o déficit hídrico a partir de 20 DAE provocou redução da qualidade fisiológica das sementes de soja.

A soja necessita em torno de 450 a 800 mm de água durante todo o seu ciclo para que se obtenha máximo rendimento (EMBRAPA, 2011). A necessidade de água pela cultura é crescente em relação ao seu desenvolvimento, atingindo seu pico, nos estádios de floração/enchimento de grãos. Neste período a planta necessita de 7 a 8 mm dia⁻¹, reduzindo essa necessidade logo após essa etapa (FARIAS et al., 2007). No início do ciclo a deficiência hídrica causa forte redução da emissão de novos ramos diminuindo, com isso, o número potencial de nós que poderiam produzir legumes. A deficiência hídrica afeta o crescimento da planta por restringir a disponibilidade de fotoassimilados, refletindo-se em menor estatura e menor número de nós por planta (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

Como consequência do estresse hídrico, as trocas gasosas e o metabolismo da planta são afetados consideravelmente, havendo uma redução do potencial hídrico foliar, da condutância estomática, que por sua vez irá gerar uma redução na assimilação de CO₂ atmosférico e consequentemente na transpiração e fotossíntese (SHAO et al., 2008). Plantas submetidas ao déficit hídrico podem modificar a abertura e posição foliar, de forma a alterar a interceptação da luz solar e em casos de déficits severos, isso causa uma redução da eficiência fotossintética das plantas e em casos ainda mais extremos pode ocasionar murcha permanente da planta (CANFALONE; DUJMOVICH, 1999; GONÇALVES, 2013).

Silva et al. (2020) avaliaram as trocas gasosas foliares e o crescimento de cultivares de soja submetidas a déficit hídrico e constataram que os valores de condutância estomática,

transpiração, taxa de fotossíntese, concentração intercelular de CO₂ e eficiência de carboxilação instantânea foram reduzidos significativamente com o aumento da tensão da água no solo e as trocas gasosas nas plantas de soja também foram reduzidas com o aumento da tensão da água no solo, e as mais críticas foram observadas a partir de 25 kPa.

Soares et al. (2015), constataram que a germinação e o vigor das sementes de soja são reduzidos em condições estressantes, seja sob déficit hídrico e/ou salinidade e que sementes de soja de maior tamanho, resultaram em plântulas com maior massa seca. Já Costa et al. (2004), observaram que, com a redução do potencial hídrico, o desenvolvimento das plântulas é mais afetado que a germinação. Isso demonstra que os efeitos do tamanho das sementes na germinação e no vigor das plântulas, em condições de estresse hídrico e/ou salino, ainda são controversos, principalmente na cultura da soja (COSTA et al., 2004; KAYA et al., 2008).

3.3. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja sob estresse térmico

As condições térmicas estão entre os principais fatores abióticos que influenciam diretamente no crescimento, desenvolvimento, trocas gasosas e produtividade da soja (PITMAN; LAUCHLI, 2002). A temperatura tem efeito direto sobre o crescimento inicial da cultura, podendo comprometer ainda o crescimento ao longo do estágio vegetativo, resultando em stands menos uniformes, e em abortamento floral, prejudicando assim as etapas de floração, formação do grão e, conseqüentemente, a produtividade da soja (SEDIYAMA; BARROS, 2009).

Braccini et al. (1999), observaram que baixas temperaturas ou períodos prolongados de indisponibilidade de água causam redução significativa na porcentagem e na velocidade de germinação. Estudos feitos por Farias et al. (2009), indicam que temperaturas entre 20 a 30°C são os intervalos mais promissores para um melhor crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, tendo em vista que temperaturas muito baixas ou altas podem causar prejuízos no metabolismo vegetal, causando uma redução considerável na matéria seca das plantas.

Lima (2019) ao avaliar a germinação e o vigor de sementes de soja, *Glycine max* cv. 5T7971PRO, sob estresse térmico e salino, verificou que ambos não afetaram as variáveis de germinação avaliadas, no entanto, o aumento das concentrações salinas e da temperatura provocou resultados negativos para variáveis de vigor, indicando certa restrição de adaptação da cultivar à essas condições adversas.

Aumentos periódicos da temperatura em fases críticas de desenvolvimento da soja associados com menor precipitação têm sido relatados, principalmente na região Centro-Oeste do Brasil, uma das maiores produtoras de grãos de soja do país (CONAB, 2019). Os aumentos mais drásticos na temperatura têm acontecido através da ocorrência de ondas de calor, em que a temperatura do ar supera as temperaturas registradas no histórico da região (HATFIELD; PRUEGER, 2015), propiciando quedas bruscas na produtividade das culturas (AUFHAMMER; SCHLENKER, 2014; HATFIELD, 2016).

Estudos já descreveram as respostas fisiológicas e de crescimento da soja ao estresse térmico. Siebers et al. (2015) constataram que altas temperaturas promoveram decréscimos nas taxas fotossintéticas, concentração de carboidratos e na massa seca de folhas de plantas de soja, após três dias de exposição ao estresse. Vital (2019) estudando os mecanismos de tolerância aos efeitos combinados do estresse térmico e hídrico em cultivares de soja, verificou que sob condição combinada de alta temperatura e déficit hídrico, as cultivares Desafio e 7739 demonstraram que o ajustamento osmótico foi um fator importante na manutenção dos processos fotossintéticos. Tais trabalhos supracitados abordam respostas de plantas ao estresse combinado (déficit hídrico e temperatura), porém é importante que sejam realizadas pesquisas que investiguem esses comportamentos e essas alterações a nível de sementes e plântulas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e material vegetal utilizado

O experimento foi conduzido durante os meses de janeiro de 2021 a março de 2021, nos Laboratórios de Ecofisiologia da Produção e de Fisiologia Vegetal, pertencentes, respectivamente, ao Departamento de Fitotecnia e de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada em Fortaleza–CE. Para esse estudo foram utilizadas sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, fornecidas pela Fazenda Faedo, as quais foram submetidas a condições de estresse hídrico e térmico e avaliados seus aspectos fisiológicos e bioquímicos.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas definidas pelas três temperaturas (20, 25 e 35°C) e as subparcelas pelos seis níveis de potenciais osmóticos (0, -0,05, -0,10, -0,15, -0,20, -0,25MPa).

4.3 Germinação e Vigor

Inicialmente, foram selecionadas as sementes de soja mais uniformes e com tegumento intacto. Em seguida, elas foram tratadas com o fungicida Rancona® T, em uma proporção de 1,5 mL do produto para 4,5 mL de água. Para o teste de germinação, as sementes foram dispostas uniformemente entre três folhas de papel substrato mata borrão umedecidas com água destilada ou solução de PEG 6000 na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco (BRASIL, 2009), obedecendo os diferentes potenciais osmóticos estabelecidos (0, -0,05, -0,10, -1,5, -0,20, -0,25 MPa) e obtidos de acordo com a metodologia de Villela et al. (1991). O cálculo das concentrações também foi realizado utilizando a equação de Michel e Kaufmann (1973):

$$\Psi_{os} = -(1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,67 \times 10^{-4})CT + (8,39 \times 10^{-7})C^2T$$

em que:

Ψ_{os} = potencial osmótico (bar);

C = concentração (gramas de PEG 6000/litro de água);
 T = temperatura (°C).

As concentrações de PEG 6000 utilizadas para obter cada nível de potencial osmótico, encontram-se na Tabela 1.

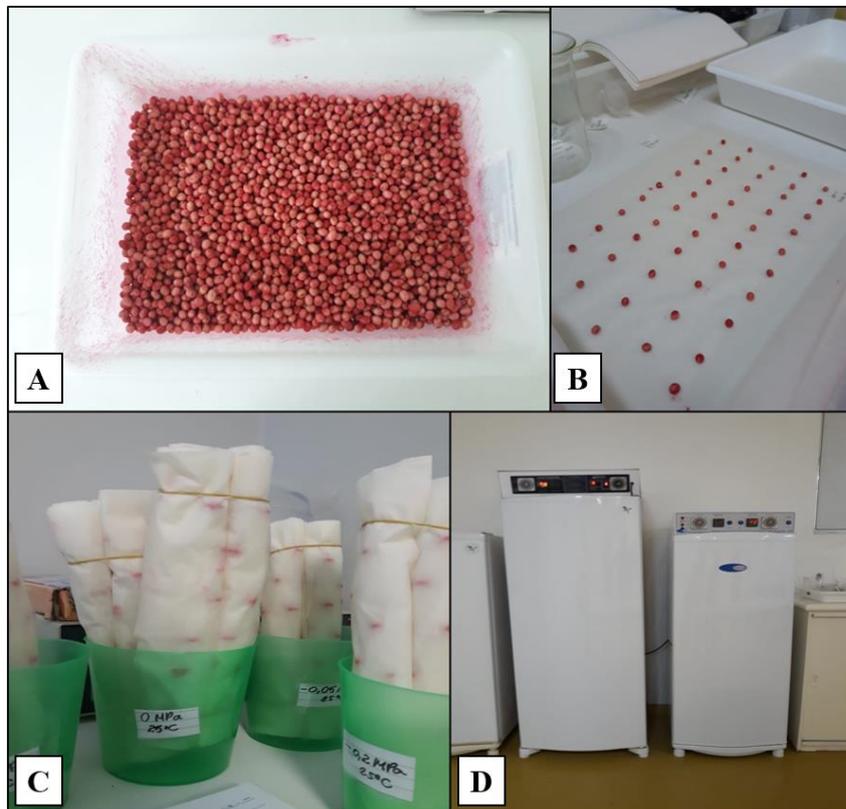
Tabela 1 – Concentração em g L⁻¹ de polietilenoglicol (PEG 6000) estimada às temperaturas de 20, 25 e 35°C para a obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.

Temperatura (°C)	Potencial Osmótico (MPa)					
	0	-0,05	-0,1	-0,15	-0,2	-0,25
20	0,000	8,150	13,047	16,909	20,202	23,122
25	0,000	9,014	14,128	18,126	21,523	24,528
35	0,000	11,254	16,788	21,056	24,661	27,840

Fonte: Autor.

Para cada tratamento, foram utilizadas 200 sementes divididas em quatro repetições de 50 sementes, sendo cada grupo distribuído entre três folhas de papel substrato mata borrão (Germitest), usando duas folhas como base e uma para cobrir. Em seguida, as três folhas foram enroladas e os rolos provenientes foram colocados dentro de potes de polietileno cobertos com plástico transparente, sendo estes, mantidos em câmaras de germinação do tipo BOD a temperaturas constantes de 20, 25 e 35°C (BRASIL, 2009), com variação ajustada para $\pm 2^\circ\text{C}$ e sob fotoperíodo de 12h de claro/12 h de escuro (Figura 1).

Figura 1 – [A] Sementes de soja tratadas com o fungicida Rancona® T; [B] Sementes de soja dispostas uniformemente no papel Germitest; [C] Folhas de papel Germitest enroladas, com seus respectivos tratamentos, em potes de polietileno; [D] Câmaras de germinação do tipo B.O.D. utilizadas no trabalho. Fortaleza–CE, 2021.

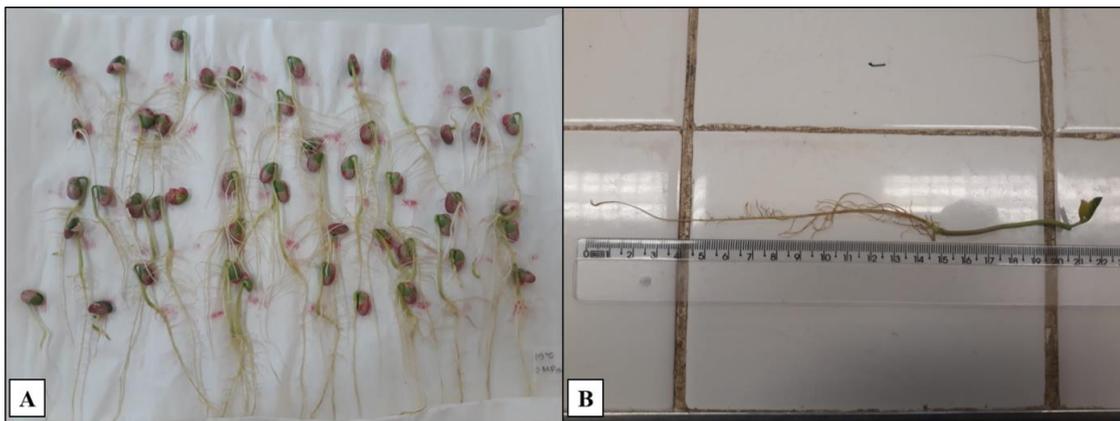


Fonte: Autor.

A avaliação da porcentagem final de sementes germinadas (%G) foi realizada no oitavo dia após a semeadura (BRASIL, 2009), de acordo com fórmula proposta por Labouriau (1983), sendo adotada a emissão da radícula com no mínimo 2,0 mm como critério de germinação. A primeira contagem de germinação (PCG) e o índice de velocidade de germinação (IVG) foram realizados juntamente com o teste de germinação. A PCG foi determinada pela porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a instalação do ensaio (BRASIL, 2009) e o IVG pelo somatório do número de sementes germinadas a cada dia, dividido pelo número de dias decorridos entre a semeadura e a germinação, de acordo com a fórmula definida por Maguire (1962). Também foi calculado o tempo médio de germinação (TMG), o qual foi obtido através de contagens diárias das sementes germinadas até o oitavo dia após a semeadura e calculado através de fórmula proposta por Labouriau (1983), sendo os resultados expressos em dias.

Para as demais avaliações dos aspectos relacionados ao vigor e às análises bioquímicas, foi conduzido um experimento nas mesmas condições do teste de germinação, no entanto, as quatro repetições de cada tratamento apresentaram vinte sementes cada, conforme metodologia proposta por Nakagawa (1999). Aos oito dias após a semeadura, foram selecionadas aleatoriamente dez plântulas normais de cada repetição e foram realizadas as medições dos comprimentos de parte aérea (CPA) e radícula (CR), com auxílio de uma régua graduada em centímetros (Figura 2). De posse dessas medições, foi calculada a relação entre essas variáveis pela fórmula CR/CPA .

Figura 2 – [A] Plântulas após sete dias de semeadura, pertencentes ao tratamento com temperatura de 25°C e potencial osmótico de 0 MPa; [B] Medição dos comprimentos da parte aérea e radícula de uma plântula com auxílio de uma régua graduada. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

Após a mensuração dos comprimentos, as plântulas de cada repetição tiveram parte aérea e radícula seccionadas e acondicionadas, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados e levadas à estufa com circulação de ar forçada a 65°C por 48 horas (Figura 3). Após este período, cada repetição teve sua massa pesada em balança de precisão 0,001g e assim foram obtidos os dados de massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da radícula (MSR) (NAKAGAWA, 1999). Os resultados médios foram expressos em gramas por plântula.

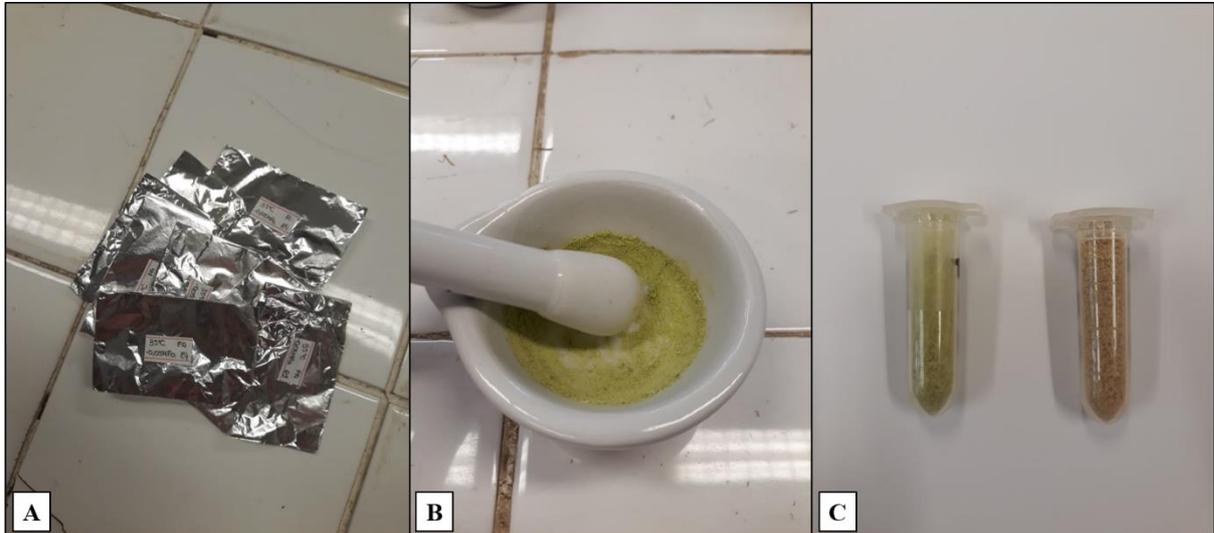
Figura 3 – [A] Partes seccionadas das plântulas sendo pesadas em balança de precisão; [B] Amostras seccionadas acondicionadas em sacos de papel identificados; [C] Estufa utilizada para a secagem das amostras. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

Além das características de crescimento, também foram determinados, tanto na parte aérea quanto na radícula, os teores de carboidratos solúveis e prolina, com a finalidade de verificar o efeito dos agentes estressantes (déficit hídrico e temperatura) sobre o acúmulo desses solutos orgânicos. Para tanto, amostras de material vegetal fresco da parte aérea e do sistema radicular das plântulas foram retiradas e armazenados em folhas de papel alumínio devidamente identificadas. Essas amostras foram congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e posteriormente liofilizadas. Depois, as amostras liofilizadas foram maceradas até formar um pó fino e este foi armazenado em tubos de eppendorf devidamente identificados para posterior utilização (Figura 4).

Figura 4 – [A] Folhas de papel alumínio com material vegetal fresco armazenado; [B] Amostras liofilizadas sendo maceradas; [C] Pó fino resultante da maceração das amostras armazenados em tubos de eppendorf. Fortaleza–CE, 2021.



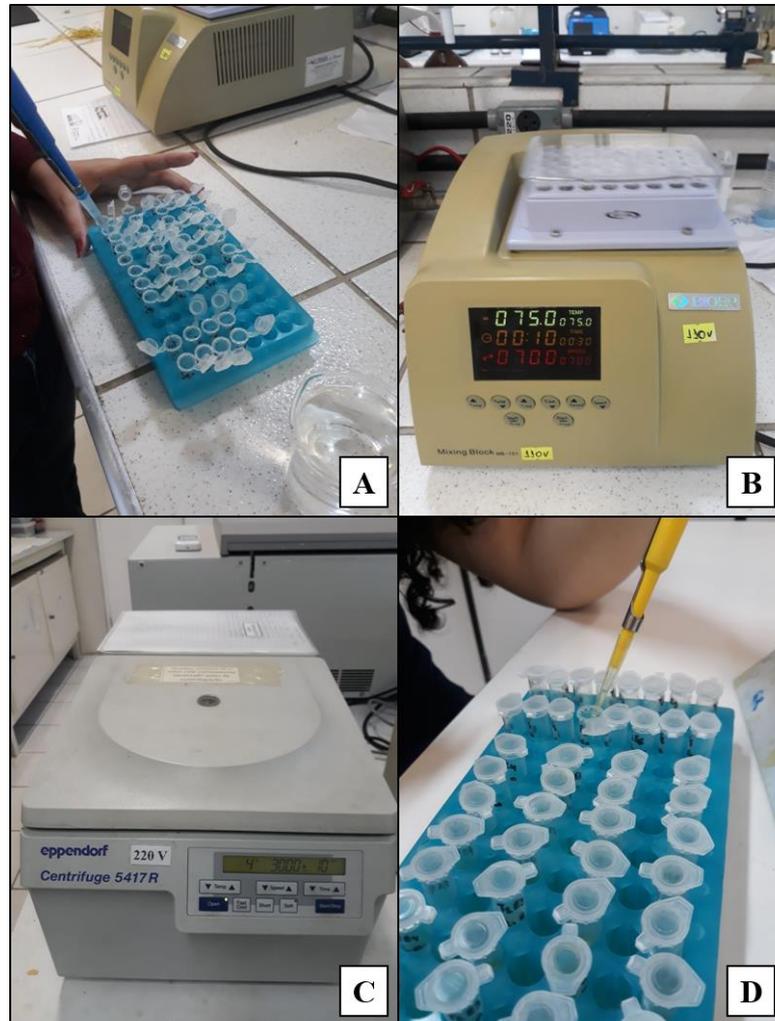
Fonte: Autor.

4.4 Solutos orgânicos

4.4.1 Carboidratos solúveis

Cada extrato foi preparado a partir do pó liofilizado dos órgãos da planta (parte aérea ou radícula). Foram adicionados 1,0 mL de etanol (C_2H_6O) a 80% em 10 mg de tecidos liofilizados da parte aérea ou do sistema radicular. Em seguida, o homogenato foi mantido durante 1 h em banho-seco a $75^{\circ}C$, sob agitações constantes. Transcorrido esse tempo, foi centrifugado a $3.000 \times g$ por 10 min a $4^{\circ}C$ e foi coletado o sobrenadante. O procedimento de extração foi repetido por mais duas vezes, partindo-se do precipitado restante, sob as condições já descritas, à exceção do tempo de extração (reduzido para 30 minutos), e a quantidade de etanol utilizada, a qual foi reduzida à adição de 0,5 mL. Ao fim do processo, todos os sobrenadantes coletados foram reunidos e tiveram seu volume completado para 2 mL com etanol a 80% (v/v), sendo, em seguida armazenados a $-25^{\circ}C$ até sua posterior utilização (Figura 5).

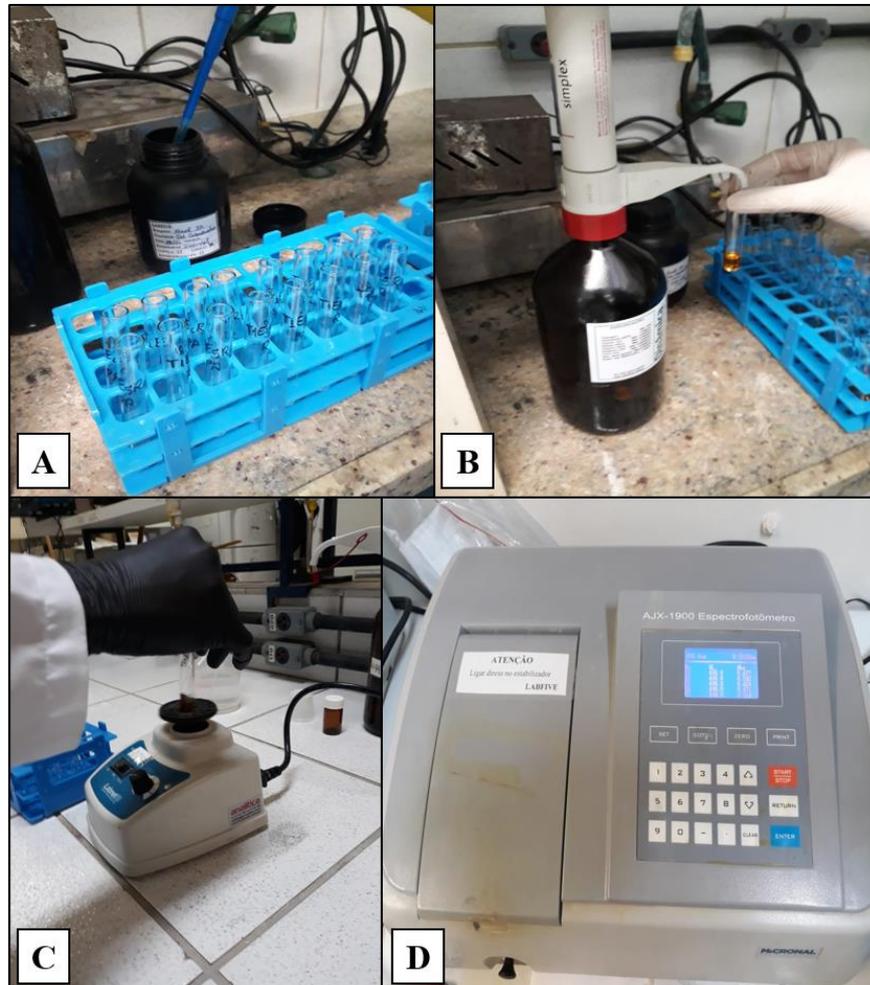
Figura 5 – [A] Etanol a 80% sendo adicionado nas amostras de parte aérea e das raízes; [B] Banho-seco sendo utilizado com as amostras; [C] Centrífuga utilizada no experimento; [D] Coleta do sobrenadante após as amostras serem retiradas da centrífuga. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

A determinação dos carboidratos solúveis foi realizada conforme metodologia de Dubois et al. (1956), com algumas modificações. Em uma alíquota de 0,2 mL do extrato, devidamente diluído, foram adicionados 0,2 mL de fenol a 5% e 1,0 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi agitada e deixada em repouso por 10 minutos para o seu resfriamento. Em seguida, as amostras foram submetidas à quantificação dos carboidratos solúveis por meio de leituras de absorvância em 490 nm (Figura 6). A curva padrão de carboidratos solúveis foi obtida utilizando-se soluções com concentrações crescentes de D(+) glicose anidra. Os resultados de carboidratos solúveis foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$, sendo cada extrato dosado em duplicata.

Figura 6 – [A] Fenol 5% sendo adicionado nas amostras; [B] Ácido sulfúrico concentrado sendo adicionado nas amostras; [C] Agitamento dos tubos contendo as amostras; [D] Espectrofotômetro utilizado para realizar as leituras do trabalho. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

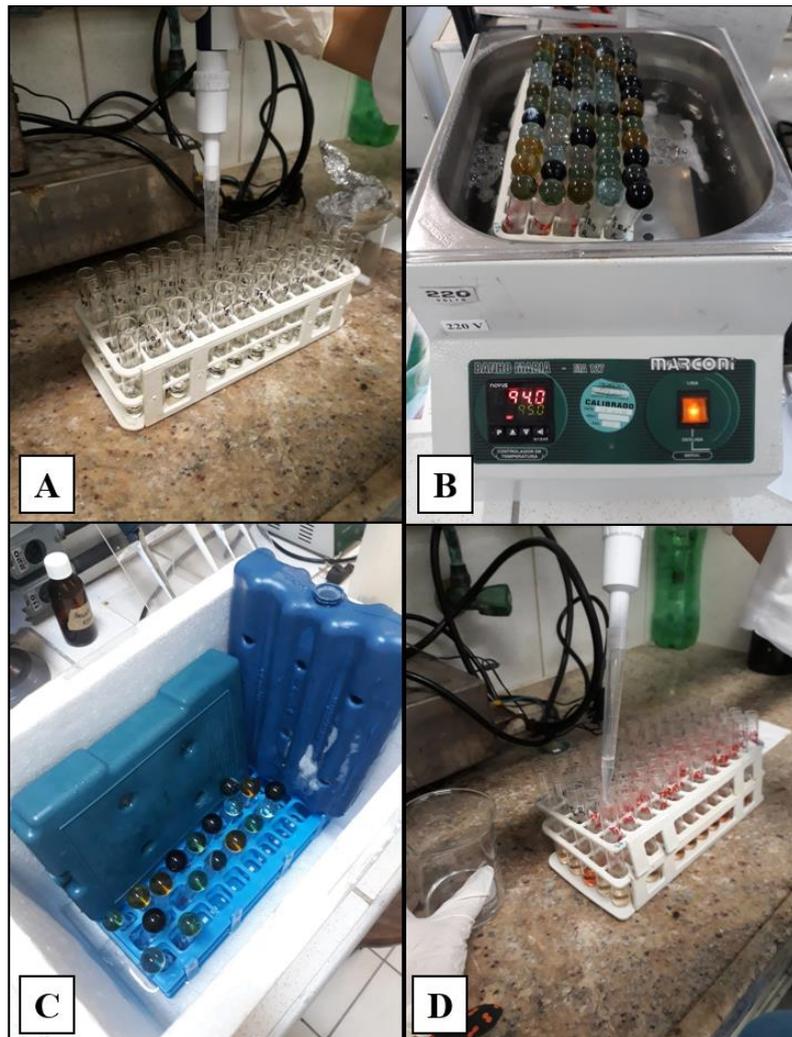
4.4.2 Prolina livre

O extrato para determinação de prolina livre foi preparado a partir da pesagem de 10 mg de pó liofilizado de tecidos da parte aérea e do sistema radicular em tubos de eppendorfs, no qual foi adicionado 2,0 mL de água deionizada. Os tubos de eppendorfs foram mantidos à temperatura ambiente, durante 1 h, com agitações constantes. Após esse tempo, os extratos foram centrifugados a $3.000 \times g$ por 15 min, à temperatura ambiente. Foi coletado o sobrenadante e armazenado a -25°C até sua utilização, sendo o precipitado descartado.

O teor de prolina livre nas amostras foi determinado segundo metodologia proposta por Bates et al. (1973). Foram adicionados a tubos de ensaio com tampa 0,5 mL do extrato,

devidamente diluído, 1,0 mL da mistura ninhidrina ácida : ácido acético glacial (proporção 1:1, preparada no momento do uso), fechados hermeticamente e agitados vigorosamente em agitador. Esses tubos de ensaio foram colocados em banho-maria durante 1 h, a 100°C. Após esse período, a reação foi interrompida resfriando os tubos em banho de gelo. Após esse procedimento, foi adicionado 1,0 mL de tolueno e os tubos agitados vigorosamente em agitador (Figura 7). Foi aspirado com uma pipeta de Pasteur a fase menos densa (cromóforo) e foi feita a leitura em espectrofotômetro à 520 nm, tendo como “branco” um tubo de ensaio contendo tolueno. De posse das leituras espectrofotométricas da amostra, procedeu-se com os cálculos da concentração de prolina, tendo como referência a equação obtida para a curva padrão. Por fim, foi expressa a concentração em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Figura 7 – [A] Mistura de ninhidrina ácida e ácido acético sendo adicionadas nos tubos contendo as amostras; [B] Amostras no banho-maria; [C] Resfriamento das amostras no banho de gelo; [D] Tolueno sendo adicionado nos tubos contendo as amostras. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

4.5 Análise estatística

Os dados qualitativos das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância e posteriormente, quando significativos a 1% pelo teste F, foram submetidos ao teste de médias de Tukey com $P < 0,05$. Para os dados de natureza quantitativa, quando também significativos pelo teste F, foi realizada uma análise de regressão. As equações que melhor se ajustam aos dados foram selecionadas com base no maior coeficiente de determinação, ou seja, maior R^2 . Para as análises estatísticas e confecção dos gráficos foram utilizados os programas computacionais “ASSISTAT 7.6 Beta” e “SigmaPlot 11.0” (Copyright © 2014 Systat Software Inc.), respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Germinação e vigor

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 2, pode-se observar que todas as variáveis sofreram influências significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, com exceção da variável porcentagem final de germinação (%G), a qual não se apresentou significativa para a interação entre os fatores temperatura e potencial osmótico.

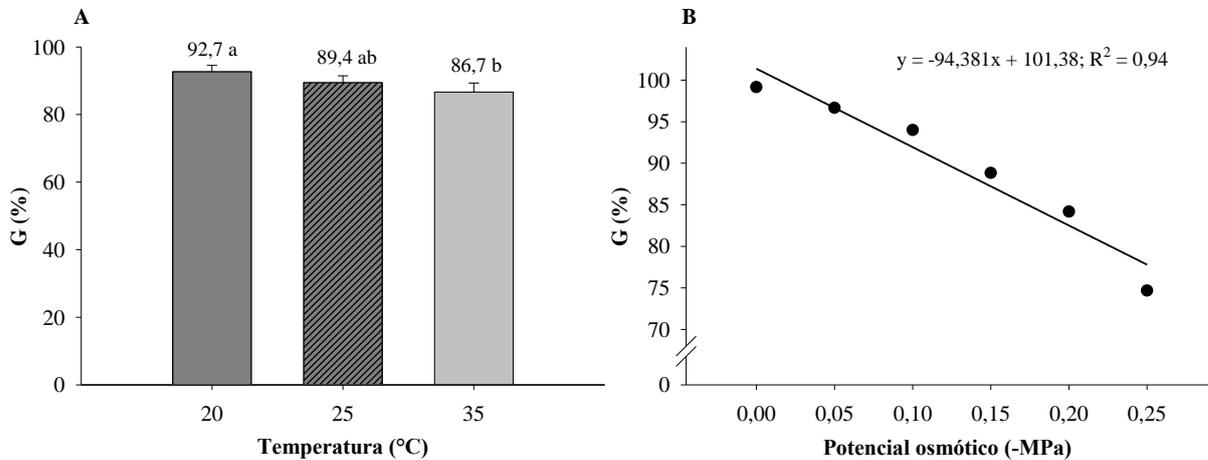
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para porcentagem final de germinação (%G), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		%G	PCG	IVG	TMG
Temperatura (T)	2	216,50**	1321,06**	127,74**	13,66**
Resíduo	9	39,31	19,52	2,57	0,10
Potencial osmótico (Po)	5	993,43**	3271,56**	235,33**	7,75**
Int. T x Po	10	49,23 ns	155,06**	5,58**	0,14**
Resíduo	45	30,60	33,03	0,99	0,05
Total	71	-	-	-	-
CV % (T)	-	7,00	5,68	11,78	8,21
CV % (Po)	-	6,18	7,39	7,31	6,04

GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; ** Significativo pelo teste F a 0,01; * Significativo pelo teste F a 0,05; ns = não significativo. Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 8A, pode-se perceber que a temperatura de 20°C foi a que possibilitou maior porcentagem final de germinação nas sementes de soja, alcançando uma média de 92,7% e superando as respostas obtidas nas temperaturas de 25 e 35°C em 3,3 e 6,0%, respectivamente. Apesar de possuir percentual de germinação (%G) superior, as sementes submetidas à temperatura de 20°C não diferiram estatisticamente das que foram mantidas sob temperatura de 25°C. Da mesma forma, pode-se notar que as sementes sob temperatura de 25°C não apresentaram diferença significativa quando comparadas às que estavam sob temperatura de 35°C.

Figura 8 – Germinação final (%G) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas [A] e a seis níveis de potencial osmótico[B]. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

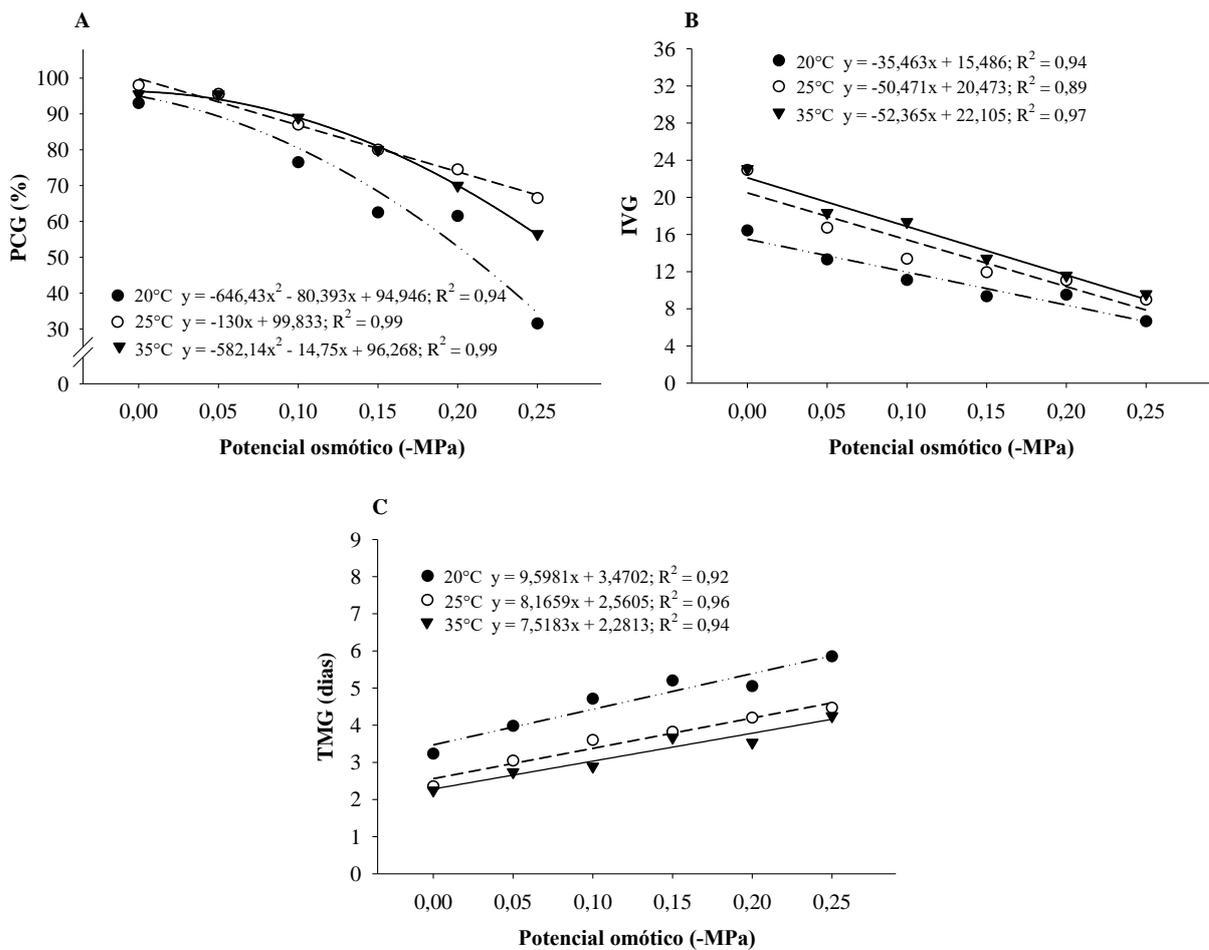
Teixeira et al. (2018), estudando o efeito da temperatura sobre a germinação e crescimento inicial de sementes de pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.), constataram que a temperatura de 25 °C foi a que promoveu a maior porcentagem de germinação, sendo assim superior às temperaturas de 15 e 35°C onde a germinação foi quase que inibida completamente. As condições térmicas estão entre os principais fatores abióticos que influenciam diretamente na germinação, no crescimento e no desenvolvimento da soja (LAPERÁ et al., 2018). No caso da germinação, a temperatura afeta tanto a porcentagem final como também a velocidade e o sincronismo, devido ao fato de estar estritamente relacionada com as reações bioquímicas necessárias para o início do processo germinativo. É importante destacar que existe uma faixa de temperatura na qual o processo ocorre com a máxima eficiência, por isso é importante que certos limites sejam determinados (MARCOS FILHO, 2015).

No que se refere à Figura 8B, pode-se notar que à medida que ocorre a diminuição do potencial osmótico, também ocorre a redução do percentual final de germinação. Logo, a diminuição do potencial osmótico afetou negativamente a germinação das sementes de soja que, ao se comparar o tratamento de 0 MPa com o de menor potencial osmótico (-0,25 MPa), pode-se verificar uma redução de 23,3% no percentual de germinação. Respostas semelhantes foram obtidas por Soares et al. (2015) e Costa et al. (2004) que, ao trabalharem com sementes de soja, também constataram reduções na variável %G ao passo que se reduziu a energia livre da água no substrato. A redução da germinação das sementes que estão em condições de estresse

hídrico ocorre devido a diminuição na disponibilidade da água, que é um recurso indispensável, tendo em vista que é responsável pela manutenção e ativação do metabolismo das sementes (BEWLEY et al. 2013).

A Figura 9A mostra a primeira contagem de germinação (PCG) das sementes de soja nas três temperaturas do estudo e nos diferentes níveis de potencial osmótico. Pode-se perceber que conforme ocorre uma diminuição nos potenciais osmóticos, ocorre também uma redução da variável PCG em todas as três temperaturas, com destaque para a temperatura de 20°C, que é a temperatura que ocorreu a queda mais acentuada da sua germinação.

Figura 9 – [A] Primeira contagem de germinação (PCG), [B] índice de velocidade de germinação (IVG) e [C] tempo médio de germinação (TMG) de sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

Na temperatura de 20°C, ao comparar o tratamento de 0 MPa com o último nível de potencial osmótico (-0,25 MPa), percebe-se que houve uma redução de 63,7% na variável PCG. Analisando essa mesma variável, foi constatado que nas temperaturas de 25°C e 35°C houveram reduções de 32,6% e 41,6%, respectivamente. A temperatura de 25°C se mostrou superior às demais temperaturas, tanto no maior nível de potencial osmótico como no menor nível, tendo dessa forma, apresentado os melhores resultados. A PCG sendo afetada negativamente pela redução do potencial osmótico também foi evidenciada por Soares et al. (2015) trabalhando com sementes de soja sob déficit hídrico e salino.

No que se refere ao índice de velocidade de germinação (IVG), pode-se notar que este também foi afetado negativamente pela diminuição do potencial osmótico nas três temperaturas estudadas. As sementes de soja na temperatura de 25°C foram as que apresentaram a maior redução da sua velocidade de germinação conforme ia-se diminuindo o potencial osmótico, chegando a uma redução de 61,6% quando se compara o IVG do nível 0MPa e -0,25MPa. As sementes nas temperaturas de 20°C e 35°C, sofreram uma redução na sua velocidade de germinação de 57,3% e 59,2%, respectivamente (Figura 9B).

No entanto, vale-se ressaltar que a temperatura de 20°C apresentou os menores valores absolutos de IVG quando comparado com as demais temperaturas do estudo, em todos os potenciais osmóticos avaliados (Figura 9B). Isso ocorre devido ao fato de a baixa temperatura afetar a velocidade de germinação mesmo no potencial osmótico inicial (0 MPa), refletindo assim, nos demais potenciais (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Resultado semelhante foi obtido por Oliveira e Pereira (2014) e Teixeira et al. (2018) em sementes de jatobá-mirim (*Guibourtia hymenaefolia* (Moric.) J. Léonard) e pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.), respectivamente, no qual a menor temperatura (20°C) afetou de maneira negativa o índice de IVG das sementes testadas.

O tempo médio de germinação (TMG) das sementes (Figura 9C) também foi afetado negativamente pela redução do potencial osmótico, fazendo com que houvesse um aumento dessa variável. Observa-se que quanto menor a temperatura, maior será o tempo médio de germinação, visto que temperaturas mais baixas diminuem a velocidade das reações metabólicas e afetam processos essenciais para o início da germinação (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Desse modo, a temperatura de 20°C foi a que apresentou maior TMG em todos os níveis de potencial osmótico, chegando a um retardo de 69,15% quando se compara o potencial osmótico inicial (0 MPa) e o menor potencial osmótico (-0,25 MPa).

A germinação das sementes é influenciada por diversos fatores e dentre eles está a disponibilidade hídrica e a temperatura. Tais agentes estão intimamente relacionados com a

fase de embebição, que é a primeira etapa do processo germinativo. Nesse sentido, o desempenho negativo apresentado pelas sementes (em todas as variáveis germinativas) em relação à redução do potencial osmótico e consequente imposição de déficit hídrico, pode ter se dado, possivelmente, pela diminuição na absorção da água necessária para a ativação do metabolismo da semente, o que acaba dificultando a digestão das reservas e a translocação dos produtos metabolizados, resultando em uma germinação mais lenta (TAIZ et al., 2017).

Ao analisar as variáveis PCG, IVG e TMG (Figura 9A, 9B e 9C), pode-se perceber que foi nas temperaturas de 25 e 35°C que as sementes de soja apresentaram os melhores desempenhos, com destaque para a maior temperatura de 35°C. Essa melhor reposta se dá pelo fato de temperaturas mais altas ocasionarem uma embebição (primeira etapa do processo germinativo) mais rápida pela semente e isso acontece porque a elevação da temperatura provoca redução da viscosidade e aumento da energia cinética da água, beneficiando além do processo de embebição, a velocidade das atividades metabólicas que ocorrem dentro da semente (GORDIN et al., 2012; MARCOS FILHO, 2015).

Apesar de temperaturas altas aumentarem a velocidade de absorção de água pela semente, cada uma das reações envolvidas no processo de germinação apresenta exigências próprias quanto à temperatura, principalmente, porque dependem da atividade de sistemas enzimáticos específicos. Deste modo, temperaturas acima da ótima podem até acelerar a velocidade do processo, porém o desorganiza, de modo que o número de sementes que consegue completa-lo pode não mais refletir em desenvolvimento de plântulas, como está apresentado na Figura 1A (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 3, pode-se observar que todas as variáveis de vigor sofreram influências significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, tanto para os fatores isolados (Temperaturas e Potenciais osmóticos) quanto para a interação entre eles.

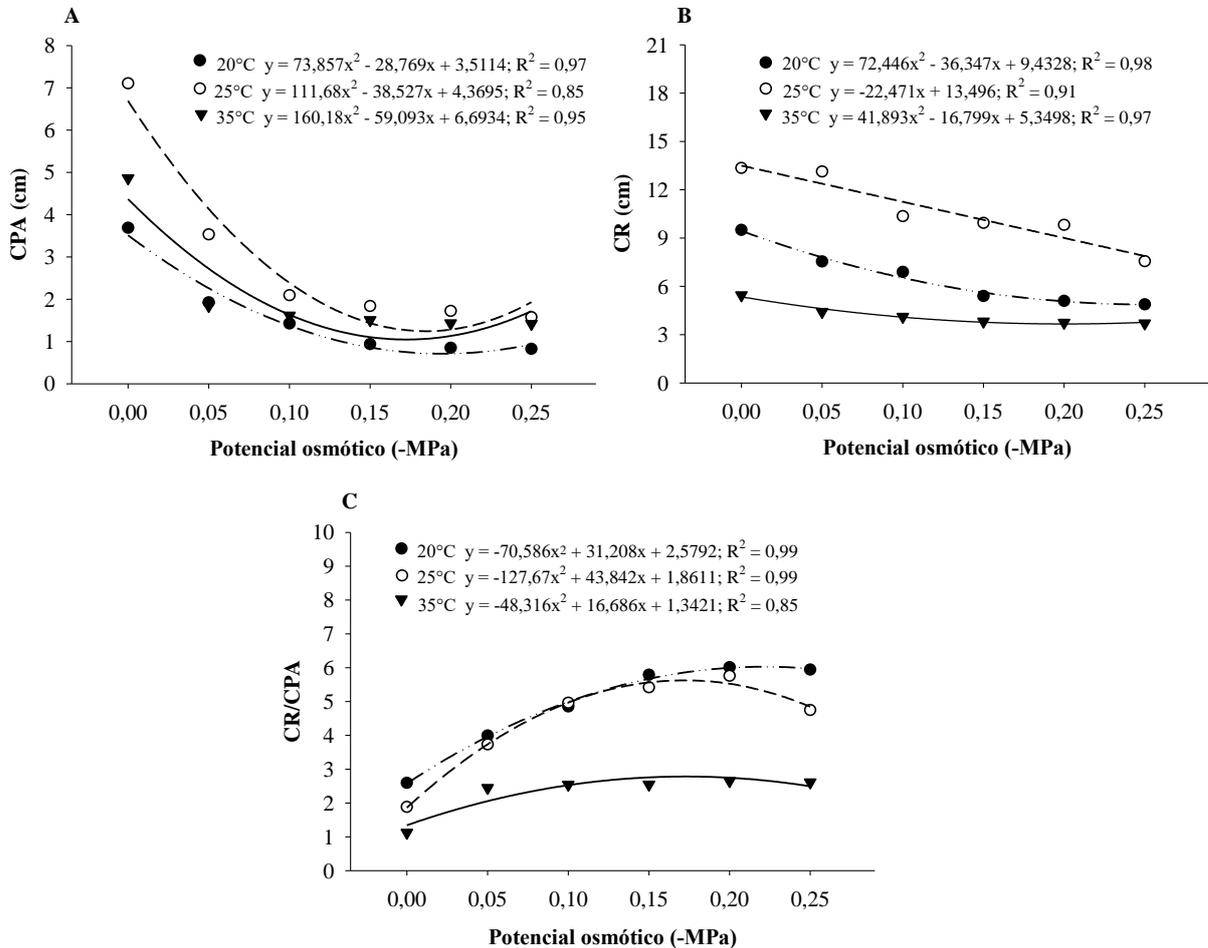
Tabela 3 – Resumo da análise de variância para comprimento da parte aérea (CPA), comprimento da radícula (CR), relação radícula/parte aérea (CR/CPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da radícula (MSR) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
		CPA	CR	CR/CPA	MSPA	MSR
Temperaturas (T)	2	11,51**	258,15**	44,21**	0,002**	0,07**
Resíduo (T)	9	0,07	0,69	0,26	0,00008	0,0003
Potenciais osmóticos (Po)	5	27,85**	27,05**	14,43**	0,02**	0,007**
Int. T x Po	10	1,38**	3,49**	1,22**	0,0009**	0,001**
Resíduo (Po)	45	0,07	1,01	0,30	0,0001	0,0001
Total	71	-	-	-	-	-
CV % (T)	-	11,54	11,62	13,12	9,29	13,58
CV % (Po)	-	11,55	14,08	14,16	10,70	9,4

GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; ** Significativo pelo teste F a 0,01; * Significativo pelo teste F a 0,05; ns = não significativo. Fonte: Autor.

Na variável CPA (Figura 10A), observa-se que a diminuição do potencial osmótico afetou negativamente o comprimento da parte aérea (CPA) em todas as temperaturas, ou seja, a medida que o potencial osmótico reduziu, houve um decréscimo no comprimento da parte aérea das plântulas, comprovando que o déficit hídrico compromete o seu desenvolvimento. Ao comparar o potencial osmótico 0 MPa com o menor nível (-0,25 MPa), constatou-se que a temperatura de 20°C foi a que proporcionou a maior redução do comprimento da parte aérea, cerca de 73,37%. Em contrapartida, é importante destacar que essa redução foi superior à das demais temperaturas pelo fato de a temperatura de 25°C ter proporcionado os maiores valores de comprimento da parte aérea das plântulas no nível de potencial osmótico 0MPa, tendo essa superioridade, inclusive, se estendido em todos os outros potenciais osmóticos, enquanto que a temperatura de 20 e 35°C expressaram valores inferiores.

Figura 10 – [A] Comprimento da parte aérea (CPA), [B] comprimento da radícula (CR) e [C] relação entre o comprimento da radícula e o comprimento da parte aérea (CR/CPA) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

No que se refere a variável CR (Figura 10B), percebeu-se que a diminuição do potencial osmótico também afetou de maneira negativa o comprimento da radícula, porém em menores proporções quando comparado com a redução que ocorreu na parte aérea. Ao comparar o potencial osmótico 0 MPa com o potencial osmótico -0,25 MPa, observa-se que a temperatura de 20°C foi a que apresentou a maior redução do comprimento da radícula (48,33%), seguida pelas temperaturas de 25°C e 35°C, com reduções de 41,63% e 29,56%, respectivamente. Porém mesmo nessa condição, a temperatura de 25°C possibilitou os maiores valores de comprimento da radícula, tornando-os estatisticamente superiores aos valores apresentados pelas plântulas submetidas às temperaturas de 20 e 35°C.

Segundo Ferrari et al. (2015), uma das causas da redução no crescimento das plântulas, provocado pelo déficit hídrico, é devido a redução da expansão celular. Ao reduzir a pressão de turgescência por conta da menor absorção de água, o estresse hídrico suprime a expansão e o crescimento celular, afetando o metabolismo, o crescimento e o estabelecimento das plântulas (JALEEL et al. 2009; MARCOS FILHO, 2015). Essa redução também foi observada por Soares et al. (2015), trabalhando com sementes de soja, onde constataram decréscimos nas variáveis CPA e CR em função da diminuição da disponibilidade hídrica.

A temperatura também é crucial para o pleno desenvolvimento das estruturas iniciais das plântulas, como por exemplo a raiz primária, a qual, durante o processo germinativo, geralmente, é a primeira estrutura a emergir, tendo papel fundamental no estabelecimento da plântula no ambiente (OLIVEIRA; PEREIRA, 2014). Temperaturas inadequadas afetam diretamente esta estrutura, que está em rápido processo de divisão celular e qualquer fator ambiental adverso pode levar a uma diminuição da sua capacidade de desenvolvimento (MARCOS FILHO, 2015). A temperatura de 35°C, neste experimento, não se apresentou adequada e promoveu decréscimos nas estruturas iniciais das plântulas.

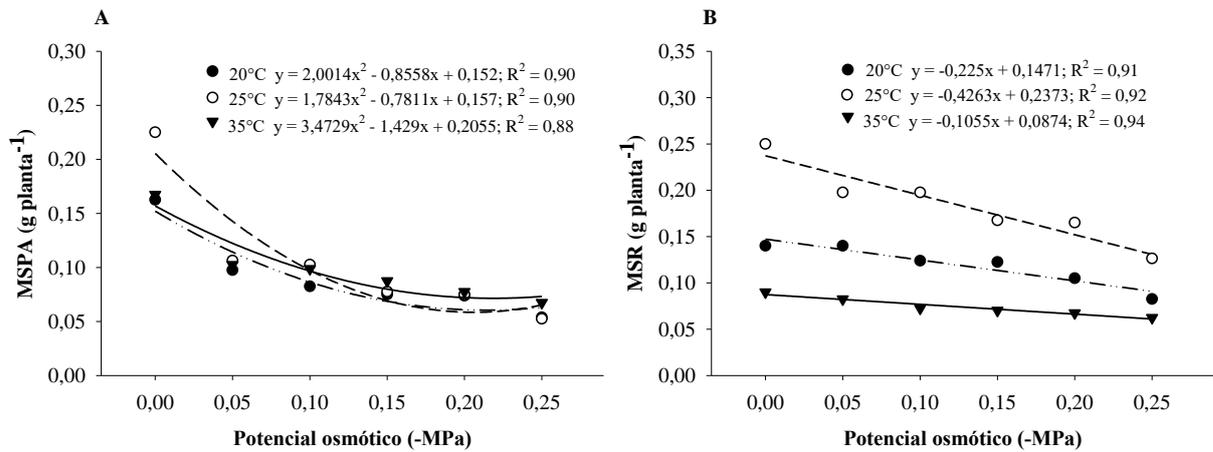
À medida que ocorre a redução do potencial osmótico identifica-se um aumento na relação CR/CPA, representada na Figura 10C. Esse resultado pode ser explicado pelo fato da redução nos comprimentos da parte aérea ser superior ao que aconteceu na raiz, fazendo assim com que haja um aumento dessa relação. Quanto menor for o potencial osmótico, a tendência será um maior o investimento da plântula no desenvolvimento da raiz em relação à parte aérea para obter água e nutrientes necessários para superar o estresse e assim continuar seu desenvolvimento (TAIZ et al., 2017). Os nutrientes que seriam utilizados no crescimento da parte aérea são destinados para a raiz, fazendo com que haja esse aumento da relação CR/CPA.

Ainda na Figura 10C, observa-se que as temperaturas de 20 e 25°C possibilitaram os maiores valores da relação CR/CPA, tornando-os estatisticamente superiores aos valores apresentados pelas plântulas submetidas à temperatura de 35°C. Ao comparar o potencial osmótico 0 MPa com o potencial osmótico -0,25 MPa, observa-se que as temperaturas de 20 e 35°C proporcionaram aumentos de 131,45% e 85,82%, respectivamente, porém foi a temperatura de 25°C que possibilitou o maior aumento percentual dessa variável, cerca de 160,19%. Comportamento semelhante foi observado também por Vieira et al. (2013), enquanto trabalhava com diferentes cultivares de soja com estresse hídrico, no qual também houve esse comportamento no crescimento da parte aérea e da raiz.

Na Figura 11A, constata-se que conforme o potencial osmótico vai sendo reduzido, ocorre a redução da massa seca da parte aérea (MSPA) das plântulas em todas as temperaturas

analisadas. A temperatura de 35°C demonstrou a maior redução de 68,22% em matéria seca, quando comparado o maior potencial osmótico (0 MPa) com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa).

Figura 11 – [A] Massa seca da parte aérea (MSPA) e [B] massa seca da radícula (MSR) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

A Figura 11B mostra um comportamento semelhante, no qual há a redução da massa seca da radícula (MSR) conforme o potencial osmótico vai diminuindo. Essa redução da massa seca das plântulas em função da restrição hídrica pode ser consequência de uma menor velocidade dos processos fisiológicos e bioquímicos ou da dificuldade de hidrólise e mobilização das reservas da semente (BEWLEY et al., 2013).

A temperatura de 25°C demonstrou ser a mais sensível nessa variável, ocorrendo a maior redução da sua massa seca da raiz, 44,91%, quando comparado o maior potencial osmótico (0 MPa) com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa), porém mesmo nessa condição, mostrou-se superior às demais temperaturas analisadas. É importante destacar que a temperatura de 35°C pode ter potencializado esses efeitos negativos sobre os processos fisiológicos e bioquímicos relacionados à mobilização, causando prejuízos tanto para o crescimento da radícula como também para a produção de matéria seca.

5.2 Solutos orgânicos

De acordo com a análise de variância apresentada na Tabela 4, pode-se observar que todas as variáveis sofreram influências significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, tanto para os fatores isolados (Temperaturas e Potenciais osmóticos) quanto para a interação entre eles, com exceção da variável carboidratos solúveis na parte aérea (CS_{PA}), a qual apresentou-se não significativa para o fator temperatura.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para carboidratos solúveis na parte aérea (CS_{PA}) e na raiz (CS_R) e prolina livre na parte aérea (PL_{PA}) e raiz (PL_R) de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		CS_{PA}	CS_R	PL_{PA}	PL_R
Temperatura (T)	2	1196,28 ns	12500,68**	7629,62**	13991,74**
Resíduo	9	611,50	966,27	149,02	192,23
Potencial osmótico (Po)	5	2484,64 **	7966,71**	11622,64**	10179,30**
Int. T x Po	10	7361,25**	4015,34**	1435,00**	1720,87**
Resíduo	45	489,53	499,99	90,65	75,11
Total	71	-	-	-	-
CV % (T)	-	13,89	16,36	24,07	23,05
CV % (Po)	-	12,43	11,77	18,77	14,41

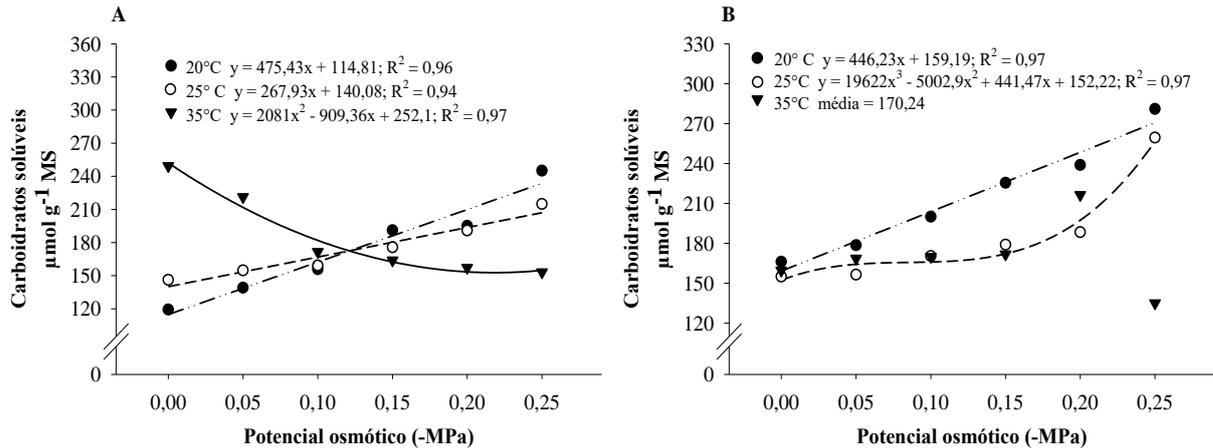
GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; ** Significativo pelo teste F a 0,01; * Significativo pelo teste F a 0,05; ns = não significativo. Fonte: Autor.

5.2.1 Carboidratos solúveis

A Figura 12A apresenta os teores de carboidratos solúveis da parte aérea, evidenciando que as menores temperaturas, 20°C e 25°C, proporcionaram acréscimos nos teores à medida que o potencial osmótico vai sendo diminuído. Quando se compara o maior potencial osmótico (0 MPa) com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa), nota-se que há um aumento na variável em análise de 103,5% e 47,8% nas temperaturas de 20°C e 25°C, respectivamente. A temperatura de 35°C comportou-se de maneira oposta, pois à medida que se diminuía o

potencial osmótico, seus teores de carboidratos solúveis diminuíram também, registrando uma queda de cerca de 38,6% com relação os teores iniciais (0MPa).

Figura 12 – [A] Carboidratos solúveis da parte aérea e [B] da radícula de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

Já o comportamento dos carboidratos solúveis do sistema radicular, que é evidenciado na Figura 12B, nos mostra que a medida que o potencial osmótico vai sendo reduzido, ocorre o aumento dos teores de carboidratos solúveis nos tecidos radiculares. Os aumentos foram de 70,1% na temperatura de 20°C e 68,5% na temperatura de 25°C, quando comparado o maior potencial osmótico (0 MPa) com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa). Destaca-se que a temperatura de 35°C propiciou um comportamento diferentes das demais, onde os teores de carboidratos solúveis apresentaram aumentos bastante sensíveis até o nível -0,15MPa, seguido de um pico de 20,6% no nível -0,20MPa e voltando a reduzir cerca de 37,6% no nível -0,25MPa, não se ajustando, desta forma, a nenhuma equação de primeiro, segundo ou terceiro grau.

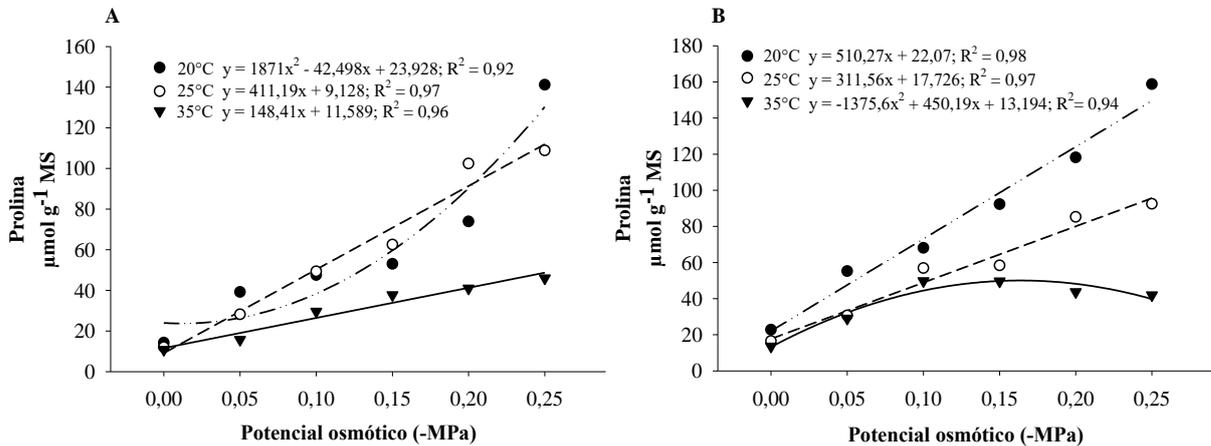
De acordo com Vieira et al. (2013), quantidades elevadas de carboidratos indicam que existem maiores reservas metabólicas para o desenvolvimento vegetal, porém principalmente, existe uma maior possibilidade de um melhor ajuste osmótico devido à presença de osmossolutos nos tecidos. Esse ajustamento osmótico tem a função de manter a célula em condições de baixo potencial hídrico para que possa absorver água mesmo quando a planta estiver em meio com baixa disponibilidade de água (PEREIRA et al., 2012). Nesse sentido, ao observar o comportamento apresentado pelas plântulas de soja sob temperatura de

35°C, pode-se inferir que, nessa temperatura e em ambientes com deficiência de água, as plântulas teriam menores chances de sobrevivência.

5.2.2 Prolina livre

Na Figura 13A fica evidenciado que conforme ocorre a diminuição do potencial osmótico, acontece um aumento das concentrações de prolina na parte aérea das plântulas. Quando se compara o maior potencial osmótico (0 MPa) com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa), podemos evidenciar aumentos de 106,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, 102,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS e 37,1 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nas temperaturas de 20°C, 25°C e 35°C, respectivamente. Em condições de déficit hídrico, o aminoácido prolina é acumulado no interior (citossol e vacúolo) das células e age atuando como um regulador osmótico, protegendo a integridade celular e podendo ainda ser utilizado como estoque de nitrogênio e carbono, os quais podem ser utilizados após o período de estresse hídrico (FERRARI et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

Figura 13 – [A] Teores de prolina na parte aérea e [B] na radícula de plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, submetidas a três temperaturas e a seis níveis de potencial osmótico. Fortaleza–CE, 2021.



Fonte: Autor.

Na Figura 13B, que mostra as concentrações da prolina na raiz, apresenta um comportamento igual ao ocorrido na parte aérea, no qual a redução do potencial osmótico faz com que haja um aumento das concentrações de prolina na raiz das plântulas. Ocorreram aumentos de 127,6 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, 77,9 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS e 26,6 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, nas temperaturas de 20°C, 25°C e 35°C, respectivamente, quando se compara o maior potencial osmótico (0 MPa)

com o menor potencial osmótico (-0,25 MPa). Enquanto trabalhava com a espécie *Ailanthus altissima*, Filippou et al. (2014), relatou que o acúmulo de prolina é uma tentativa de sobrevivência adotada pela planta, visto que a prolina atua como um indutor de tolerância a estresses osmóticos.

Segundo Ferrari et al (2015) e Taiz et al. (2017), a escassez hídrica impede o “continuum” de água que passa através da parede celular e do interior das células da planta, suprimindo a água necessária que contribui para a turgescência celular. Para manter a água em seu interior, a célula cria um potencial hídrico e esse potencial hídrico somado às características de elasticidade da parede celular conferem a turgescência celular. Isso é possível também por meio do acúmulo desses solutos orgânicos.

Observando as Figuras 13A e 13B, percebe-se que as temperaturas de 20 e 25°C propiciaram maiores acúmulos prolina tanto na parte aérea quanto na radícula, enquanto que na de 35°C esse acúmulo foi bastante inferior. Essa pode ter sido uma das razões pelas quais houve um menor desenvolvimento das plântulas que estava sob essa temperatura, as quais não conseguiram reduzir ainda mais o potencial hídrico celular para absorver água do substrato.

Diante do baixo acúmulo de carboidratos solúveis e de prolina nos diferentes tecidos de plântulas de soja sob a temperatura de 35°C, pode-se hipotetizar que possivelmente essa temperatura esteja causando desequilíbrios na homeostase celular de forma a contribuir para a desintegração de proteínas e desestruturação de membranas através da ação das espécies reativas de oxigênio (EROs) (BEWLEY et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

6 CONCLUSÕES

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente tanto a germinação quanto o vigor das sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO, principalmente no menor potencial osmótico estudado (-0,25MPa).

A temperatura de 35°C proporciona reduções na porcentagem de germinação, assim como promove menor vigor das sementes de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO. Quando combinada com ao déficit hídrico promove reduções nos teores carboidratos.

A temperatura de 25°C se apresenta como a mais adequada uma vez que possibilita, de forma geral, os melhores resultados para as variáveis germinativas, de vigor e para o acúmulo de carboidratos e prolina em resposta ao déficit hídrico.

Os diferentes potenciais osmóticos, juntamente com as diferentes temperaturas, afetam diretamente os teores de solutos orgânicos tanto na parte aérea, quanto na raiz nas plântulas de soja do híbrido Monsoy 8349 IPRO.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. P. N.; LESSA, B. F. T.; PINHEIRO, C. L.; GOMES, F. M.; MEDEIROS FILHO, S.; SILVA, C. C. Germination and development of *Amburana cearensis* seedlings as influenced by seed weight, light and temperature. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 525-533, 2017.
- AUFFHAMMER, M.; SCHLENKER, W. Empirical studies on agricultural impacts and adaptation. **Energy Economics**, v. 46, p. 555-561, 2014.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. D. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. D. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. **Nordic Journal of Botany**, 20: 598-598, 2001.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H. Seeds: physiology of development, germination and dormancy. 392 pp. Springer, New York–Heidelberg–Dordrecht–London 2013978-1-4614-4692-7. **Seed Science Research**, v. 23, n. 4, p. 289-289, 2013.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H. Seeds: physiology of development, germination and dormancy. 392 pp. Springer, New York–Heidelberg–Dordrecht–London 2013978-1-4614-4692-7. **Seed Science Research**, v. 23, n. 4, p. 289-289, 2013.
- BRACCINI, A. D. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, M. D. C. L. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja, após o processo de hidratação-desidratação e envelhecimento acelerado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 6, p. 1053-1066, 1999.
- BRACCINI, A. D. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. D. C.; REIS, M. S. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietilenoglicol. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 18, n. 1, p. 10-16, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária/Mapa/ACS, 2009.
- CANFALONE, A.; DUJMOVICH, M. N. Influência do "Déficit" Hídrico Sobre a Eficiência da Radiação Solar em Soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 5, n. 3, p. 195-198, 1999.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p.

- CASTRO, L. S.; MIRANDA, M. H.; LIMA, J. E. Indicadores sociais de desenvolvimento e a produção de soja: uma análise multivariada nos 150 maiores municípios produtores brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 1, p. 69-87, 2015.
- CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra brasileira. Grãos - Safra 2018/19**, v. 6, n. 6, p. 1-69, 2019.
- CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos. Safra 2018/2019**. v. 6, n. 11, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>. Acesso em 21/08/2020>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.
- COSTA, P. R.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; MARUBAYASHI, O. M. Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 105-113, 2004.
- COSTA, P. R.; CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO NETO, N. B.; MARUBAYASHI, O. M. Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 105-113, 2004.
- COSTA, R. S.; SILVA, J. S.; FONTELES, A. K. F.; SILVA, A. K. F.; MESQUITA, R. O. Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. **Revista Agro@ mbiente On-line**, v. 14, 2020.
- DEJNEKA, P. **Brasil pode voltar a ser o maior exportador mundial de soja na safra 2015/2016**. Agronegócios, 2016. Disponível em: <<https://www.informemt.com.br/noticia/16/8486/Brasil-pode-voltar-a-ser-o-maior-exportador-mundial-de-soja-na-safra-20152016/>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2021.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 262p.
- FAO - FOOD EN AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <<http://www.fao.org/countryprofiles/index/en/?lang=es&iso3=PRY>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9p. (Circular Técnica, No 48).

- FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Soja**. Agrometeorologia dos cultivos. Brasília DF, p. 263-277, 2009.
- FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.
- FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- FILIPPOU, P.; BOUCHAGIER, P.; SKOTTI, E.; FOTOPOULOS, V. Proline and reactive oxygen/nitrogen species metabolism is involved in the tolerant response of the invasive plant species *Ailanthus altissima* to drought and salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 97, p. 1-10, 2014.
- GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 2013. 82f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.
- GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q. Germinação, biometria de sementes e morfologia de plântulas de *Guizotia abyssinica* Cass. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 619-627, 2012.
- GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015.
- HATFIELD, J. L. Increased temperatures have dramatic effects on growth and grain yield of three maize hybrids. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2016.
- HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and climate extremes**, v. 10, p. 4-10, 2015.
- JALEEL, C. A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INES, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; HANG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, n. 3, p. 427-436, 2009.
- KAYA, M.; KAYA, G.; KAYA, M. D.; ATAK, M.; SAGLAM, S., KHAWAR, K. M.; CIFTCI, C. Y. Interaction between seed size and NaCl on germination and early seedling growth of some Turkish cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 5, p. 371, 2008.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**. EMBRAPA – Circular Técnica 136, Londrina-PR, 24p, 2018.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: OEA, 1983.

- LAPERERA, C. A. I.; LIMA, M. W. P.; VILARINHO, M. S. Ecofisiologia da soja. In: DIAS, J. P. T. D. **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. 1 ed. Belo Horizonte: EdUEMG, 2018. p. 120-132.
- LIMA, R. K. O. de. **Germinação e vigor de sementes de soja em condições de estresses térmico e salino**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2016.
- MACHADO, A. V. **Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* Mart. (*Chloranthaceae*)**. 2004. 65f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- 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.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659p.
- MELGAR, R.; VITTI, G.; BENITES, V. M. Fertilizando para altos rendimientos: Soja en latinoamérica. Buenos Aires: **Agroeditorial**, 2011. 179 p.
- MICHEL, B. E.; KAUFMANN, M. R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. **Plant Physiology**, v. 51, n. 6, p. 914-916, 1973.
- MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. **Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2005.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 20-31.
- NASCIMENTO, I. L. Determinação de metodologias para teste de germinação e vigor de sementes de quixabeira (*Bumelia obtusifolia* Roem et Schult. var. *excelsa* (DC) Mig.). **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 701-706, 2013.
- NASCIMENTO, W. F.; COSTA, J. S.; PEIXOTO, P. P. P.; DUARTE, N. D. L.; Efeitos da temperatura sobre a soja e milho no Estado de Mato Grosso do Sul. **Investigación Agraria**, v. 20, n. 1, p. 30-37, 2018.
- OLIVEIRA, A. K. M. D.; PEREIRA, K. C. L. Efeito de diferentes temperaturas na germinação e crescimento radicular de sementes de jatobá-mirim (*Guibourtia hymenaefolia* (Moric.) J. Léonard). **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 111-116, 2014.

- PASSOS, S. M. G., CANECHIO FILHO, V., SOUSA, A. J. **Principais culturas**. Campinas: Campineiro, v. 2, 2 ed., 1973. 409 p.
- PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.
- PITMAN, M. G.; LAUCHLI, A. **Global impact of salinity and agricultural ecosystems**. In: A. Lauchli, U. Luttge, eds. *Salinity: environment – plants – molecules*. Kluwer Academic Publishers, p. 3-20. 2002.
- SEDIYAMA, T.; BARROS, H. B. Luz, Umidade e Temperatura. In: SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção e usos de soja**. Londrina: Mecenias, 2009, p. 1-5.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. D.; BARROS, H. B. **Origem, evolução e importância econômica**. In: SEDIYAMA, T. (Ed). *Tecnologias de produção e usos da soja*. Londrina: Mecenias, 2009.
- SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.
- SIEBERS, M.H.; YENDREK, C.R.; DRAG, D.; LOCKE, A.M.; ACOSTA, L.R.; LEAKEY, A.D.B.; AINSWORTH, E.A.; BERNACCHI, C.J.; ORT, D.R. Heat waves imposed during early pod development in soybean (*Glycine max*) cause significant yield loss despite a rapid recovery from oxidative stress. **Global Change Biology**, v. 21, p. 3114-3125, 2015.
- SILVA, J. A. D.; SANTOS, P. A. B. D.; CARVALHO, L. G. D.; MOURA, E. G.; ANDRADE, F. R. Gas exchanges and growth of soybean cultivars submitted to water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1-9, 2020.
- SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, A. F.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M.; COELHO, F. S.; BRAUN, H. Efeito do estresse hídrico e térmico na germinação e no vigor de sementes de cenoura. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 3, p. 39-44, 2011.
- SOARES, M. M.; SANTOS JUNIOR, H. C. SIMÕES, M. G.; PAZZIN, D.; SILVA, L. J. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 370-378, 2015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAVARES, L. C.; RUFINO, C. D. A.; BRUNES, A. P.; TUNES, L. M. D.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, v. 43, n. 8, p. 1357-1363, 2013.

TEIXEIRA, L. R.; BRACCINE, A. L.; SPERANDIO, D.; SCAPIM, C. A.; SCHUSTER, I.; VIGANÓ, J.; JAREMTCHUK, C. C. Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico. **Ceres**, v. 55, n. 3, p. 194-202, 2008.

TEIXEIRA, S. B.; COCCO, K. L. T.; CELENTE, A. M.; DELIAS, D. S.; REOLON, F.; MORAES, D. M. Efeito da temperatura sobre a germinação e crescimento inicial de sementes de *Capsicum frutescens* (L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 1, p. 58-65, 2018.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n.1, p. 1-9, 2019.

VAZ-DE-MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 687-695, 2012.

VERNETTI JUNIOR, F. J. **Considerações sobre implantação de lavouras de soja: A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre o genótipo da planta e o ambiente de produção**. Embrapa Clima Temperado, Portal do agronegócio. 2013.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JÚNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 543-552, 2013.

VIEIRA, L. T. Plantabilidade na cultura da soja [*Glycine max* (L.) merrill] em sistema de integração lavoura pecuária. 2019. 87p. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia)** - Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano. 2019.

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

VITAL, R. G. **Mecanismos da tolerância ao déficit hídrico e à alta temperatura em cultivares de soja**. 2019. 90 p. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias - Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.