

Desempenho fisiológico e bioquímico de cultivares de cevada sob estresse por restrição hídrica em diferentes temperaturas

Physiological and biochemical performance of barley cultivars under water restriction stress at different temperatures

Desempeño fisiológico y bioquímico de cultivares de cebada bajo estrés por restricción hídrica a diferentes temperaturas

Recebido: 05/05/2023 | Revisado: 16/05/2023 | Aceitado: 17/07/2023 | Publicado: 21/07/2023

Jessica Mengue Rolim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-7599>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: eng.jessicarolim@gmail.com

Angelita Celente Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8164-3731>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: angel.celente10@gmail.com

Cariane Pedroso da Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-4123>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: cariane05@gmail.com

Benhur Schwartz Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-4598>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: benhur97sb@gmail.com

Emanuela Garbin Martinazzo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1663-6460>
Universidade Federal do Rio Grande, Brasil
E-mail: emartinazzo@gmail.com

Tiago Pedó

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4327-8021>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: tiago.pedo@gmail.com

Tiago Zanatta Aumonde

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4790-8270>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: tiago.aumonde@gmail.com

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da restrição hídrica e de diferentes temperaturas no desempenho fisiológico e bioquímico de plântulas de cevada. O trabalho foi dividido em dois estudos. Primeiramente, foram testados potenciais osmóticos para simular a restrição hídrica em sementes de cevada, submetidas a diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido em condições controladas nas temperaturas de 20 e 35 °C. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 11 (cultivares) x 5 (potenciais osmóticos), com quatro repetições. Avaliou-se a primeira contagem de germinação, germinação e massa seca de plântulas. A partir do estudo I, realizou-se a seleção de duas cultivares com melhor desempenho e de uma com pior desempenho. Após, iniciou-se os experimentos do segundo estudo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (cultivares) x 5 (potenciais osmóticos), com quatro repetições. Avaliou-se a atividade enzimática antioxidante, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, açúcares solúveis totais e aminoácidos. O estresse por restrição hídrica, associado ou não a alta temperatura, afetou a germinação, vigor e crescimento inicial das cultivares. Quando submetidas a restrição hídrica e a 35 °C as plântulas apresentaram teores elevados de enzimas, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais.

Palavras-chave: *Hordeum vulgare*; Déficit hídrico; Estresse térmico.

Abstract

This Work Aimed To Evaluate The Influence Of Water Restriction And Different Temperatures On The Physiological and biochemical performance of barley seedlings. The work was divided into two studies. First,

osmotic potentials were tested to simulate water restriction in barley seeds submitted to different temperatures. The experiment was conducted under controlled conditions at temperatures of 20 and 35 °C. The statistical design used was completely randomized, in a factorial scheme of 11 (cultivars) x 5 (osmotic potentials), with four replications. The first germination count, germination and dry mass of seedlings were evaluated. From study i, two cultivars with the best performance and one with the worst performance were selected. Afterwards, the experiments of the second study began. The experimental design used was completely randomized, in a factorial scheme 3 (cultivars) x 5 (osmotic potentials), with four replications. Antioxidant enzymatic activity, hydrogen peroxide, lipid peroxidation, total soluble sugars and amino acids were evaluated. Water restriction stress, associated or not with high temperature, affected germination, vigor and initial growth of cultivars. When subjected to water restriction and at 35 °C, the seedlings showed high levels of enzymes, hydrogen peroxide, lipid peroxidation, amino acids and total soluble sugars.

Keywords: *Hordeum vulgare*; Water deficit; Thermal stress.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la restricción hídrica y las diferentes temperaturas en el desempeño fisiológico y bioquímico de las plántulas de cebada. El trabajo se dividió en dos estudios. Primero, se probaron los potenciales osmóticos para simular la restricción de agua en semillas de cebada sometidas a diferentes temperaturas. El experimento se realizó en condiciones controladas a temperaturas de 20 y 35 °C. El diseño estadístico utilizado fue completamente al azar, en un esquema factorial de 11 (cultivares) x 5 (potenciales osmóticos), con cuatro repeticiones. Se evaluó el primer conteo de germinación, germinación y masa seca de las plántulas. Del estudio I se seleccionaron dos cultivares con el mejor comportamiento y uno con el peor comportamiento. Posteriormente, comenzaron los experimentos del segundo estudio. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, en un esquema factorial 3 (cultivares) x 5 (potenciales osmóticos), con cuatro repeticiones. Se evaluó actividad enzimática antioxidante, peróxido de hidrógeno, peroxidación lipídica, azúcares solubles totales y aminoácidos. El estrés por restricción hídrica, asociado o no a las altas temperaturas, afectó la germinación, el vigor y el crecimiento inicial de los cultivares. Al someterlas a restricción hídrica ya 35 °C, las plántulas mostraron altos niveles de enzimas, peróxido de hidrógeno, peroxidación lipídica, aminoácidos y azúcares solubles totales.

Palabras clave: *Hordeum vulgare*; Déficit de agua; Estrés termal.

1. Introdução

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) está entre as espécies mais antigas do mundo, sendo cultivada em diferentes regiões, devido principalmente a sua alta adaptabilidade (Dawson et al., 2015; Zhou, 2010). Nesse contexto, a cultura posiciona-se como o quarto cereal mais semeado no planeta, representando 12% do total de cereais produzidos (Faostat, 2018; Ahmed et al., 2013; Schulte et al., 2009; Shewry, 2014). Seu uso está direcionado, principalmente à alimentação animal e humana, na composição de rações e produção de bebidas alcoólicas. No Brasil, cerca de 75% da produção total do cereal é destinada às indústrias cervejeiras para produção do malte utilizado na fabricação de cervejas (Demori & Minella, 2012; Encyclopedia Britannica, 2020; Embrapa, 2012; Antunes, 2021).

Apesar de ser considerada uma alternativa interessante, devido aos benefícios que a cultura pode proporcionar, cabe ressaltar que o Brasil abastece apenas 43% do mercado interno com cevada, sendo o restante adquirido via importação (Carpentieri-Pipolo & Minella, 2021), o que acarreta em uma dependência mercadológica do setor. Por outro lado, a contínua expansão da população reflete na maior necessidade de produção de alimentos, a fim de suprir a demanda de consumo, principalmente daqueles produtos que compõe a cesta básica alimentar, além daqueles com maior refinamento, alto valor agregado ou com elevada fluidez de mercado.

Dessa forma, há necessidade do uso de alternativas que contribuam para a obtenção da autossuficiência da produção, como o aumento na produtividade através do posicionamento estratégico de cultivares em microclimas favoráveis ao desenvolvimento da espécie, o uso de áreas que possuam potencial produtivo, assim como a melhor utilização de áreas subutilizadas ou menos propícias. (Aumonde et al., 2017; Pinheiro et al., 2017). Nesse contexto, o ambiente de cultivo, muitas vezes, pode proporcionar condições adversas para o desenvolvimento das plantas, havendo assim a ocorrência de

estresses abióticos, os quais podem decorrer devido ao desbalanço de temperatura, radiação solar, salinidade, excesso ou falta de água (Aumonde et al., 2017).

A restrição hídrica e a temperatura são consideradas as variáveis ambientais mais importantes para a agricultura, podendo interferir no crescimento e produtividade das plantas (Meng et al., 2016; Asgher et al., 2017; Hussain et al., 2018). Em cevada, assim como na maioria das culturas, as fases de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas são consideradas algumas das mais sensíveis a estresses abióticos, principalmente à restrição hídrica, uma vez que a disponibilidade de água é essencial no processo de retomada de crescimento do embrião nas sementes (Samarah & Alqudah, 2011; Yigit et al., 2016; Peske et al., 2019).

Em síntese, a restrição hídrica e alta temperatura podem promover diversas alterações nas plantas, alterando inúmeros processos fisiológicos e bioquímicos, os quais variam de acordo com intensidade e duração do estresse, dos genótipos e fase de desenvolvimento da cultura (Condé, 2010). Com isso, faz-se necessários estudos que avaliem o desempenho de sementes de cevada submetidas a condições de estresses.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da restrição hídrica e de diferentes temperaturas no desempenho fisiológico e bioquímico de plântulas de cevada.

2. Metodologia

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios Didáticos de Análise de Sementes e de Biosementes, do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas. O trabalho foi dividido em dois estudos, sendo:

2.1 Estudo I

Foram testados potenciais osmóticos a fim de simular a ocorrência da restrição hídrica em sementes de cevada, submetidas a diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido em condições controladas, em câmaras de incubação do tipo B.O.D nas temperaturas estabelecidas.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 11 x 5, sendo 11 cultivares x 5 potenciais osmóticos, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de onze cultivares de cevada (ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbél, BRS Quaranta, IRINA, ANA 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz, Daniele e BRS Brau) e cinco potenciais osmóticos (0, -0,15, -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa) em soluções compostas por água destilada e diferentes concentrações de polietilenoglicol (PEG-6000). Conjuntamente, foram submetidas a duas temperaturas, consideradas adequada e estressora, as quais foram mantidas até o final das avaliações, sendo de 20 °C (adequada) e 35 °C (estressora).

Para a avaliação do efeito do estresse restrição hídrica e temperatura sobre o desempenho de sementes de cultivares de cevada foram efetuadas as seguintes análises:

a) Germinação: avaliada por meio de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento. As sementes foram dispostas para germinar entre três folhas de papel germitest, umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram transferidos para câmara de germinação do tipo B.O.D com a temperatura correspondente a cada tratamento, ou seja, 20 °C ou 35 °C, com fotoperíodo de 12 horas. A contagem foi realizada aos sete dias após a sementeira e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pelas Regras de Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2009).

b) Primeira contagem de germinação: foi realizada conjuntamente com o teste de germinação, com avaliações aos 4 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pela RAS (Brasil, 2009).

c) Massa seca de plântulas: avaliada aos sete dias após a semeadura. Para determinação da massa seca, foram coletadas quatro subamostras de 10 plântulas por tratamento, sendo as plântulas, separadas em parte aérea e raiz. Cada fração foi alocada separadamente em envelopes de papel pardo e submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 70 ± 2 °C, até massa constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão e os resultados foram expressos em mg plântula⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos a análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

2.2 Estudo II

A partir da análise de dados do estudo I, realizou-se a seleção de duas cultivares com melhor desempenho (tolerantes ao estresse) e de uma cultivar com pior desempenho (sensível ao estresse). Utilizou-se como parâmetro de seleção, a massa seca total de plântulas das cultivares de cevada submetidas ao potencial de -0,15 Mpa, o qual foi estabelecido como estressor aceitável no desempenho fisiológico das sementes, conjuntamente à temperatura de 35 °C.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, sendo significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, foram submetidos a análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro (Tabela 1). A partir desta análise, selecionou-se as cultivares ABI Rubi e Imperatriz como àquelas que apresentaram desempenho superior, enquanto, BRS Korbel foi selecionada como sendo de desempenho inferior.

Tabela 1 - Massa seca total de cultivares de cevada submetidas ao potencial de -0,15 Mpa e temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

WT (mg/órgão)	
Cultivares	
BPR 31	5,94 c
BRS Cauê	5,77 c
BRS Korbel	3,40 d
BRS Quaranta	6,17 c
Irina	5,34 c
Ana 01	6,62 c
ABPR 01431	7,77 c
ABI Rubi	13,29 a
Imperatriz	10,33 b
Daniele	7,06 c
BRS Brau	10,84 b
CV (%)	12,59

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Após a seleção das cultivares iniciou-se os experimentos do segundo estudo. Para tanto, as sementes das cultivares escolhidas foram dispostas para germinar entre três folhas de papel germitest umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram incubados em câmara de germinação do tipo B.O.D nas temperaturas de 20 °C e 35 °C, com fotoperíodo de 12 horas. Aos sete dias após a semeadura,

realizou-se a coleta de plântulas que foram utilizadas para determinação da atividade enzimática e da composição química. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três cultivares e cinco potenciais osmóticos, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram na combinação de três cultivares (ABI Rubi, Imperatriz e BRS Korbel) e de cinco potenciais osmóticos (0; -0,15; -0,30; -0,45; -0,60 MPa).

Para a avaliação do efeito do estresse por restrição hídrica sobre o desempenho enzimático e bioquímico de plântulas das cultivares de cevada submetidas as diferentes temperaturas, foram efetuadas as seguintes análises:

Atividade enzimática antioxidante: o sistema enzimático antioxidante foi avaliado quantitativamente através da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Para tanto, amostras de aproximadamente 250 mg de plântulas foram maceradas com nitrogênio líquido e polivinilpolipirrolidona 10%, sendo homogeneizadas em 1,5 mL do tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 x g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas pelo método de Bradford (1976).

A SOD (EC 1.15.1.1) foi avaliada através da capacidade que a enzima possui de inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Giannopolis & Ries, 1977), em um meio de reação composto por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM e riboflavina 2 µM. A placa contendo o meio de reação e a amostra foi iluminada por 10 minutos, utilizando uma lâmpada fluorescente de 20 W. Um controle, contendo o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado e um branco, contendo o meio de reação sem amostra e o meio de reação, permaneceu no escuro. As leituras foram executadas a 560 nm e o cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % de inibição = $(A_{560} \text{ amostra com extrato enzimático} - A_{560} \text{ controle sem enzima}) / (A_{560} \text{ controle sem enzima})$, considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50 % a fotorredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em Umg^{-1} de proteína.

A APX (EC 1.11.1.11) foi determinada de acordo com Nakano e Asada (1981), através do monitoramento da taxa de oxidação do ascorbato (ASA), a 290 nm. O meio de reação composto de tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,0, ácido ascórbico 0,5 mM e H_2O_2 0,1 mM, foi incubado a 28 °C. O decréscimo na absorbância foi monitorado por dois minutos a partir do início da reação. A atividade da enzima foi calculada empregando o coeficiente de extinção molar de $2,8 \text{ mol}^{-1}\text{L cm}^{-1}$. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol ASA min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A CAT foi determinada conforme Azevedo et al. (1998), baseando-se no consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção $39,4 \text{ mM cm}^{-1}$). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 12,5 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada através do decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos com incubação a 28 °C. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e peroxidação lipídica: a peroxidação lipídica e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foram determinados utilizando 250 mg de matéria fresca, a qual foi macerada em solução de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1 %. O macerado foi centrifugado a 12.000 x g por 20 min, em seguida o sobrenadante foi transferido para tubos do tipo *ependorf*. O H_2O_2 foi determinado de acordo com Velikova et al. (2000). Para isso, 0,5 mL do sobrenadante foram adicionados a 0,5 mL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 1 mL de iodeto de potássio 1 M. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm e o teor de H_2O_2 foi calculado por meio da comparação das leituras com curva padrão obtida a partir de concentrações conhecidas de H_2O_2 . Os resultados foram expressos em $\mu\text{M.g}^{-1} \text{ MF}$.

A peroxidação lipídica foi determinada através da medição da concentração de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme Cakmak e Horst (1991). Para isso, foram utilizados 250 µL do sobrenadante obtido acima,

adicionado a 1 mL da solução composta de 0,5% (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10% (p/v) de TCA. O TBA forma complexos de cor avermelhada, com aldeídos de baixo peso molecular, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. O meio de reação foi incubado a 95 °C por 30 minutos, na sequência a reação foi paralisada pelo resfriamento rápido em banho de gelo. A absorbância das TBARS formadas foi determinada em espectrofotômetro a 535 nm e 600 nm e a concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600})/(\xi \cdot b)$ onde: ξ : (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$) e b: (comprimento ótico = 1). Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol de MDA/g}^{-1} \text{ MF}$.

Teores de açúcares solúveis totais e aminoácidos: A etapa de extração foi realizada conforme metodologia adaptada de Bielecki e Turner (1966). Para tanto, as amostras de 200 mg de material vegetal, foram maceradas em gral e homogeneizadas com 10 mL de solução extratora “MCW” (metanol: clorofórmio: água, na proporção de 12:5:3). Após o período de 24 horas, realizou-se a centrifugação dos extratos a 2500 rpm por 30 minutos, sendo recuperada a fração sobrenadante. Para cada 4 mL do sobrenadante, foi acrescentado 1,0 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água, realizando novamente a centrifugação a fim de fracionar a amostra em fases. O sobrenadante contendo os metabólitos foi coletado e transferido para banho-maria a temperatura de 38 °C, permanecendo pelo período de 24 h com o objetivo de eliminar o resíduo de clorofórmio e promover a concentração das amostras para as quantificações dos teores de açúcar solúveis totais e aminoácidos.

A quantificação do teor de aminoácidos foi executada de acordo com Yemm e Cocking (1955). Para tanto, foram transferidos para tubos de ensaio 50 μL de cada amostra e de um branco composto por água destilada, na sequência foram acrescentados 0,5 mL de tampão citrato (0,2 M pH 5,0); 0,2 mL do reativo de ninhidrina (5% em metilcelusolve) e 1 mL de KCN (2% v/v em metilcelusolve). Os tubos foram agitados e tapados com esferas de vidro, sendo transferidos para o banho-maria a 100 °C por 20 minutos. Em seguida, os tubos foram transferidos para um ambiente escuro até atingirem temperatura ambiente, quando então foram acrescentados aos recipientes 1,3 mL de etanol (60%) sendo estes novamente agitados. A densidade óptica (D.O) dos padrões foi mensurado por meio de espectrofotômetro a 570 nm. O teor total de aminoácidos solúveis foi expresso em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$.

As dosagens dos teores de açúcares solúveis totais (AST) foram realizadas conforme Grahmam e Smydzuk (1965). Para tanto, alíquotas de 0,02 mL de cada amostra, devidamente diluídas, de um branco e padrões (15-200 μg de glicose/mL), foram transferidas para tubos de ensaio previamente resfriados em banho de gelo. Em seguida, adicionou-se em cada tubo 3 mL de solução de antrona resfriada (0,15% em H_2SO_4 70%). Os frascos foram imediatamente tapados com esferas de vidro e, após 15 min de incubação, agitados e levados a banho-maria à temperatura de 90 °C por 20 min. Na sequência, os recipientes foram transferidos para um ambiente escuro até atingirem a temperatura ambiente, quando então, foram agitados e procedeu-se as leituras das densidades ópticas a 620 nm. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em $\text{mg. g}^{-1} \text{ MF}$.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos a análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

3. Resultados e Discussão

Contatou-se a ocorrência de interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos para todas as variáveis analisadas, ou seja, primeira contagem de germinação, germinação, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total, quando utilizadas tanto a temperatura de 20 °C quanto de 35 °C (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios da primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GER), massa seca de parte aérea (Wpa), massa seca de raiz (Wr) e massa seca total (Wt), nas temperaturas de 20 °C e 35 °C, Capão do Leão, 2022.

20 °C						
F.V.	G. L.	Quadrados Médio				
		PCG	GER	Wpa	Wr	Wt
Cultivares (C)	10	2124.3600*	2041.970909*	14.026769*	14.752871*	44.133052*
Potenciais Osmóticos (P)	4	41142.336364*	19057.290909*	58.714303*	39.482840*	187.950212*
C X P	40	549.596364*	261.670909*	1.634785*	2.064077*	5.437790*
Resíduo	165	66.230303	80.436364	0.989393	0.825306	2.490664
CV (%)		15,77	13,14	13,87	13,52	11,36
35 °C						
F.V.	G. L.	Quadrados Médio				
		PCG	GER	Wpa	Wr	Wt
Cultivares (C)	10	3093.632727*	5221.392727*	39.623739*	57.216922	188.055191*
Potenciais Osmóticos (P)	4	11792.200000*	14688.118182*	42.125544*	28.715165*	135.106164*
C X P	40	876.810000*	797.188182*	4.432372*	6.395914*	19.782548*
Resíduo	165	86.327273	98.363636	0.581504	0.693470	1.954576
CV (%)		32,93	24,20	23,40	25,89	21,59

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; PCG – primeira contagem de germinação em porcentagem; GER – germinação em porcentagem; Wpa – massa seca da parte aérea em miligramas por órgão; Wr – massa seca da raiz em miligramas por órgão; Wt - massa seca total em miligramas por órgão; CV – coeficiente de variação. Fonte: Autores (2023).

Quando utilizada a temperatura de 20 °C, observou-se diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos avaliados, de acordo com a variável analisada. Assim, avaliando a primeira contagem de germinação, foi possível constatar que as cultivares diferiram entre si, exceto no tratamento controle. Quando empregado o potencial de -0,15 Mpa as cultivares ABPR 31, Irina, Ana 01, ABI Rubi e Daniele apresentaram desempenho superior frente as demais, enquanto BRS Korbel e BRS Brau expressaram resultados significativamente inferiores. No potencial de -0,30 Mpa Ana 01 e ABI Rubi apresentam valores superiores, ao passo que BRS Cauê, BRS Korbel, Imperatriz e BRS Brau expressaram menores percentuais de plântulas normais, frente as demais cultivares. Quando imposto o potencial de -0,45 Mpa apenas Ana 01 apresentou resultado superior, enquanto BRS Korbel, Imperatriz e BRS Brau permaneceram expressando resultados inferiores. Já quando empregado -0,60 Mpa ABI Rubi se destacou frente as outras cultivares por apresentar resultados mais elevados, em contrapartida, ABPR 31, BRS Korbel, Irina, Imperatriz, Daniele e BRS Brau demonstraram desempenho inferior (Tabela 3).

Quanto aos potenciais osmóticos utilizados, foi possível constatar que as cultivares apresentaram resultados superiores no tratamento controle, ou seja, a 0 Mpa, enquanto o menor desempenho foi observado quando utilizado o potencial de -0,60 Mpa. De maneira geral, também foi possível observar uma queda sequencial do desempenho das cultivares

de acordo com o potencial osmótico, assim, à medida que o potencial osmótico utilizado foi reduzido, o percentual de plântulas normais das diferentes cultivares na primeira contagem também foi reduzido (Tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a primeira contagem de germinação, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	PCG (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	91 Aa	85 Aa	54 Bb	29 Ce	7 Dc
BRS Cauê	84 Aa	70 Bb	35 Cd	20 De	14 Db
BRS Korbel	83 Aa	62 Bc	32 Cd	10 Df	8 Dc
BRS Quaranta	81 Aa	72 Ab	47 Bc	55 Bc	17 Cb
Irina	87 Aa	82 Aa	59 Bb	20 Ce	4 Dc
Ana 01	95 Aa	82 Ba	78 Ba	74 Ba	19 Cb
ABPR 01431	75 Aa	73 Ab	64 Bb	62 Bb	18 Cb
ABI Rubi	90 Aa	79 Ba	77 Ba	41 Cd	36 Ca
Imperatriz	87 Aa	88 Aa	36 Bd	6 Cf	2 Cc
Daniele	92 Aa	79 Ba	56 Cb	24 De	3 Ec
BRS Brau	88 Aa	53 Bc	27 Cd	12 Df	0 Ec
CV (%)	15,77				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Ao analisar o percentual de germinação, foi possível constatar que as cultivares apresentaram diferenças entre si, as quais variaram de acordo com o potencial a qual foram submetidas. Nesse sentido, observou-se que no tratamento controle ABRPR 31, Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz, Daniele e BRS Brau apresentaram desempenho superior, quando comparadas às demais cultivares. Já no potencial de -0,15 Mpa as cultivares BRS Cauê, BRS Korbel e BRS Quaranta destacaram-se por apresentarem os menores resultados frente as demais. A -0,30 Mpa Ana 01 e ABI Rubi apresentam resultados superiores, enquanto BRS Cauê e BRS Korbel obtiveram menor desempenho. Similarmente, quando empregado o potencial de -0,45 Mpa Ana 01 foi a cultivar que se destacou pelo maior percentual de plântulas normais, enquanto BRS Cauê e BRS Korbel expressaram resultados significativamente inferiores, frente as demais cultivares. Já quando testado -0,60 Mpa, Ana 01 permaneceu expressando resultado superior, ao passo que as cultivares ABPR 31, BRS Korbel, Irina e BRS Brau apresentam menor desempenho, quando comparadas às demais (Tabela 4).

Quanto aos potenciais osmóticos utilizados, observou-se que os melhores desempenhos foram obtidos no tratamento controle e a -0,15 Mpa, os quais não diferiram entre si, exceto para a cultivar BRS Korbel, que apresentou resultados superiores no tratamento controle frente a -0,15 Mpa. Além disso, os percentuais de germinação significativamente menores foram obtidos quando utilizado o potencial de -0,60 Mpa, exceto para a cultivar ABI Rubi, que apresentou desempenho inferior nos potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si (Tabela 4).

Tabela 4 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a germinação, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	GER (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	92 Aa	86 Aa	69 Bb	54 Cc	21 Dd
BRS Cauê	83 Ab	71 Ab	46 Bc	46 Bd	32 Cc
BRS Korbel	83 Ab	62 Bb	53 Bc	39 Cd	22 Dd
BRS Quaranta	81 Ab	72 Ab	60 Bc	66 Bb	34 Cc
Irina	88 Ab	82 Aa	70 Bb	60 Bc	22 Cd
Ana 01	97 Aa	91 Aa	92 Aa	86 Aa	73 Ba
ABPR 01431	84 Ab	86 Aa	77 Bb	69 Bb	51 Cb
ABI Rubi	94 Aa	89 Aa	90 Aa	65 Bb	60 Bb
Imperatriz	95 Aa	92 Aa	72 Bb	61 Cc	32 Dc
Daniele	98 Aa	89 Aa	68 Bb	59 Bc	34 Cc
BRS Brau	97 Aa	89 Aa	73 Bb	54 Cc	26 Dd
CV (%)	13,14				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

O processo físico-químico de absorção de água pela semente é fundamental para a retomada da atividade metabólica. Nesse sentido, a água atua na dissolução de diversos compostos, desempenhando funções essenciais no processo de germinação, pois permite a reidratação dos tecidos, a intensificação da atividade respiratória e demais processos metabólicos que destinam-se à síntese de novos compostos, a hidrólise e a translocação de assimilados para o embrião (Peske; Vilella; Meneghello, 2019).

Potenciais hídricos extremamente baixos podem inviabilizar eventos ligados ao processo de germinação, os quais influenciam diretamente a capacidade de absorção de água pela semente, uma vez que cada espécie apresenta um valor limite de potencial hídrico, abaixo do qual a germinação torna-se impossibilitada (Lopes & Macedo, 2008; Peske et al., 2019).

A redução de plântulas normais na primeira contagem de germinação e no percentual final de plântulas germinadas são constatadas em condições de menor disponibilidade hídrica e expressam queda de vigor e viabilidade das sementes. Tais resultados são atribuídos a ocorrência de alterações na atividade e no padrão de expressão enzimática, que se processada de forma inadequada refletem no comprometimento de eventos que promovem a protusão radicular (Peske et al., 2019).

Analisando a massa seca de parte aérea, foi possível observar que no tratamento controle as cultivares ABPR 31, BRS Korbel, Irina e BRS Brau destacaram-se por apresentarem os menores resultados em relação as demais. No potencial -0,15 Mpa BRS Quaranta, Irina, Ana 01, APBR 01431, ABI Rubi e Daniele obtiveram resultados superiores em comparação as outras cultivares avaliadas. Já no potencial -0,30 Mpa apenas as cultivares Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele destacaram-se apresentando os maiores resultados, enquanto as demais foram significativamente inferiores. Quando empregado o potencial de -0,45 Mpa, BRS Quaranta, Ana 01 e Daniele apresentaram os maiores resultados quando comparadas às demais. Similarmente, no potencial de -0,60 Mpa destacaram-se, além das mesmas cultivares do potencial -

0,45 Mpa, as cultivares ABI Rubi e Imperatriz, as quais apresentaram valores superiores de massa seca de parte aérea comparativamente às demais cultivares.

Quanto aos potenciais osmóticos, algumas cultivares foram responsivas a partir de -0,15 Mpa, sendo -0,45 e -0,60 Mpa os potenciais que mais afetaram a massa seca de parte aérea das cultivares. Cabe destacar que apenas BRS Brau não apresentou diferença quanto aos potenciais osmóticos empregados (Tabela 5).

Tabela 5 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de parte aérea, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WPA (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	8,30 Ab	5,68 Bb	7,11 Ab	5,74 Bb	5,07 Bb
BRS Cauê	8,88 Aa	6,22 Bb	6,29 Bb	6,13 Bb	5,65 Bb
BRS Korbel	7,47 Ab	5,23 Bb	6,17 Bb	5,73 Bb	4,92 Bb
BRS Quaranta	9,90 Aa	8,87 Aa	6,98 Bb	7,77 Ba	6,35 Ba
Irina	7,19 Ab	7,54 Aa	6,99 Ab	5,72 Bb	4,82 Bb
Ana 01	8,98 Aa	8,09 Aa	8,59 Aa	7,20 Ba	7,21 Ba
ABPR 01431	10,15 Aa	8,39 Ba	8,06 Ba	6,32 Cb	5,57 Cb
ABI Rubi	10,28 Aa	8,93 Ba	8,47 Ba	6,14 Cb	6,47 Ca
Imperatriz	9,49 Aa	6,79 Bb	6,83 Bb	5,68 Bb	6,17 Ba
Daniele	9,68 Aa	9,03 Aa	8,55 Aa	6,88 Ba	6,98 Ba
BRS Brau	7,36 Ab	6,77 Ab	6,54 Ab	6,40 Ab	5,59 Ab
CV (%)	13,87				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Em relação a massa seca de raiz, observou-se que no tratamento controle as cultivares Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram resultados superiores, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel e Irina obtiveram menor desempenho. No potencial de -0,15 Mpa ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele apresentaram valores mais elevados, enquanto ABPR 31 e BRS Cauê expressaram os menores resultados. Quando utilizado -0,30 Mpa, BRS Korbel, Irina, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores, enquanto BRS Cauê e BRS Quaranta obtiveram os menores resultados para a variável analisada, quando comparadas às demais cultivares. Em contrapartida, quando empregados os potenciais osmóticos de -0,45 e -0,60 Mpa todas as cultivares não apresentaram diferença significativa entre si.

Quando comparados os potenciais osmóticos, pode-se observar que os potenciais -0,45 e -0,60 foram os que mais influenciaram negativamente o aporte de massa seca de raiz. Entretanto, vale destacar que as cultivares BRS Cauê e BRS Korbel não apresentaram diferenças entre os potenciais testados para a variável analisada (Tabela 6).

A redução da massa seca de plântulas em razão do déficit hídrico se dá em razão da demanda dos processos fisiológicos e biológicos ou pela dificuldade de hidrólise e mobilização de reservas armazenadas nas sementes (Bewley et al., 2013). Ademais, cabe salientar que além da influência do ambiente, a massa seca de parte aérea e raiz depende de fatores fisiológicos inerentes a própria espécie e das características intrínsecas a cada cultivar (Lopes & Lima, 2015).

Tabela 6 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de raiz, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WR (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	6,69 Ac	5,25 Bd	6,10 Ab	5,59 Ba	4,80 Ba
BRS Cauê	5,51 Ac	5,36 Ad	5,02 Ac	5,62 Aa	4,86 Aa
BRS Korbel	6,54 Ac	6,43 Ac	6,99 Aa	6,79 Aa	5,44 Aa
BRS Quaranta	7,77 Ab	6,76 Ac	5,42 Bc	5,04 Ba	4,51 Ba
Irina	6,12 Bc	7,74 Ab	7,40 Aa	6,14 Ba	4,94 Ba
Ana 01	8,95 Aa	7,53 Bb	6,30 Cb	6,21 Ca	5,94 Ca
ABPR 01431	7,62 Bb	9,27 Aa	7,84 Ba	6,60 Ca	5,43 Ca
ABI Rubi	9,34 Aa	9,29 Aa	8,07 Aa	6,74 Ba	6,07 Ba
Imperatriz	9,30 Aa	8,01 Ab	8,76 Aa	6,29 Ba	5,75 Ba
Daniele	9,24 Aa	8,57 Aa	7,67 Aa	6,65 Ba	5,73 Ba
BRS Brau	7,93 Ab	6,74 Ac	6,72 Ab	6,63 Aa	5,44 Ba
CV (%)	13,52				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Em relação a massa seca total, foi possível constatar que no tratamento controle as cultivares BRS Quaranta, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram valores superiores frente as demais. No potencial de -0,15 Mpa ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele apresentaram os maiores resultados, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel e BRS Brau apresentaram os menores resultados. No potencial de -0,30 Mpa Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores comparadas às demais cultivares testadas. No potencial de -0,45 Mpa todas as cultivares não diferiram entre si. Já quando empregado -0,60 Mpa Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores frente as demais cultivares (Tabela 7).

Quando comparados os potenciais osmóticos, observou-se que -0,45 e -0,60 Mpa foram os que mais contribuíram para o menor aporte de massa seca total das cultivares, entretanto houve algumas diferenças entre a comparação dos potenciais osmóticos para cada cultivar. Nesse caso, ABPR 31 apresentou resultados superiores quando empregados o tratamento controle e em -0,30 Mpa, os quais não diferiram entre si, ao passo que valores significativamente inferiores foram constatados nos potenciais de -0,15, -0,45 e -0,60 Mpa, os quais também não apresentaram diferença entre si. Já BRS Cauê e Ana 01, apresentaram desempenho superior no tratamento controle, o qual diferiu dos demais. BRS Korbel por sua vez, expressou resultados mais elevados quando submetida a 0, -0,30 e -0,45 Mpa, enquanto nos potenciais de -0,15 e -0,60 Mpa a cultivar demonstrou menor desempenho. Já BRS Quaranta expressou maior massa seca total nos potenciais de 0 e -0,15 Mpa, quando comparados aos demais (Tabela 7).

As cultivares Irina, ABPR 01431 e Daniele, expressaram resultados superiores no tratamento controle, a -0,15 e -0,30 Mpa, sendo os potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa os mais prejudiciais ao desempenho das cultivares. Similarmente, ABI Rubi expressou resultado superior quando submetida a 0 e -0,15 Mpa, enquanto os potenciais de -0,45 e -0,60 foram os quais a cultivar expressou menor desempenho. Já a cultivar Imperatriz apresentou resultado significativamente superior apenas no tratamento controle, enquanto o menor aporte de massa seca total ocorreu nos potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si. Já a cultivar BRS Brau apresentou menor desempenho apenas a -0,60 Mpa, o qual diferiu dos demais potenciais empregados (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca total, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WT (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	14,99 Ab	10,94 Bc	13,22 Ab	11,34 Ba	9,87 Bb
BRS Cauê	14,39 Ab	11,58 Bc	11,31 Bb	11,75 Ba	10,51 Bb
BRS Korbelt	14,01 Ab	11,66 Bc	13,16 Ab	12,52 Aa	10,36 Bb
BRS Quaranta	17,67 Aa	15,63 Ab	12,40 Bb	12,81 Ba	10,87 Bb
Irina	13,31 Ab	15,28 Ab	14,39 Aa	11,87 Ba	9,76 Bb
Ana 01	17,93 Aa	15,62 Bb	14,90 Ba	13,41 Ba	13,16 Ba
ABPR 01431	17,78 Aa	17,66 Aa	15,91 Aa	12,92 Ba	11,00 Bb
ABI Rubi	19,62 Aa	18,23 Aa	16,54 Ba	12,88 Ca	12,55 Ca
Imperatriz	18,79 Aa	14,80 Bb	15,59 Ba	11,97 Ca	11,92 Ca
Daniele	18,92 Aa	17,60 Aa	16,22 Aa	13,54 Ba	12,71 Ba
BRS Brau	15,29 Ab	13,52 Ac	13,26 Ab	13,03 Aa	11,03 Bb
CV (%)					11,36

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Na temperatura de 35 °C observou-se diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos avaliados, de acordo com a variável analisada. Nesse sentido, ao analisar a primeira contagem de germinação foi possível constatar que no tratamento controle a cultivar BRS Brau apresentou desempenho superior, enquanto BRS Korbelt demonstrou resultado inferior, comparadas às demais cultivares. Quando submetidas a -0,15 Mpa, BRS Cauê, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados superiores, ao passo que BRS Korbelt manteve-se com menor desempenho frente as outras cultivares testadas. Similarmente, a -0,30 Mpa ABI Rubi, Imperatriz e Daniele expressaram maior percentual de plântulas normais na primeira contagem, enquanto BRS Korbelt manteve-se com resultado significativamente inferior, comparando às demais cultivares. Quando empregado -0,45 Mpa, BRS Cauê e Daniele apresentaram valores superiores, enquanto as cultivares ABPR 31, BRS Korbelt, Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi e BRS Brau destacaram-se com os menores resultados comparativamente às demais. Já quando empregado -0,60 Mpa, BRS Cauê demonstrou maior desempenho, diferindo das demais cultivares (Tabela 8).

Quanto aos potenciais osmóticos constatou-se que, de maneira geral, as cultivares apresentaram menor percentual de plântulas normais na primeira contagem quando submetidas a -0,45 e -0,60 Mpa, exceto BRS Korbelt, que não apresentou diferença significativa entre os potenciais osmóticos empregados (Tabela 8).

Tabela 8 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a primeira contagem de germinação, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	PCG (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	43 Ab	52 Ab	26 Bc	11 Cc	11 Cb
BRS Cauê	51 Ab	63 Aa	44 Bb	44 Ba	32 Ba
BRS Korbel	4 Ad	0 Ad	0 Ad	0 Ac	0 Ab
BRS Quaranta	51 Ab	51 Ab	34 Bb	30 Bb	0 Cb
Irina	35 Ab	40 Ab	35 Ab	12 Bc	0 Bb
Ana 01	51 Ab	31 Bc	12 Cc	4 Cc	2 Cb
ABPR 01431	27 Ac	20 Ac	20 Ac	7 Bc	12 Bb
ABI Rubi	50 Ab	62 Aa	53 Aa	4 Bc	0 Bb
Imperatriz	49 Bb	66 Aa	56 Ba	32 Cb	0 Db
Daniele	45 Ab	22 Bc	52 Aa	45 Aa	3 Cb
BRS Brau	94 Aa	27 Bc	17 Bc	6 Cc	0 Cb
CV (%)	32,93				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Quanto a germinação, no potencial controle as cultivares Imperatriz e BRS Brau apresentaram superioridade, enquanto BRS Korbel apresentou o menor resultado. No potencial -0,15 Mpa, ABPR 31, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores, enquanto BRS Korbel apresentou novamente o menor resultado, comparativamente às demais cultivares avaliadas. No potencial de -0,30 Mpa as cultivares BRS Cauê, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores, enquanto BRS Korbel permaneceu demonstrando resultado inferior, quando comparada as demais cultivares. Quando empregado -0,45 Mpa as cultivares BRS Cauê, BRS Quaranta, Imperatriz e Daniele apresentaram os maiores resultados, em contrapartida, as cultivares BRS Korbel, Ana 01 e ABPR 01431 apresentaram os menores valores comparadas às demais. No potencial de -0,60 Mpa, a cultivar BRS Cauê apresentou superioridade frente as demais, enquanto BRS Korbel, BRS Quaranta, Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e BRS Brau demonstraram menor desempenho (Tabela 9).

Quanto aos potenciais osmóticos testados, observou-se que as cultivares demonstraram maior sensibilidade quando submetidas a -0,45 e -0,60 Mpa, sendo -0,60 Mpa o potencial que mais influenciou negativamente na germinação das sementes. Entretanto houve exceções, para a cultivar BRS Korbel, a qual não apresentou diferença entre os potenciais testados, para BRS Quaranta, a qual apresentou resultado inferior apenas quando submetida a -0,60 Mpa e para cultivar Daniele, que apresentou resultados inferiores quando impostos os potenciais de -0,15 e -0,60 Mpa, os quais diferiram dos demais potenciais empregados (Tabela 9).

Tabela 9 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a germinação, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	GER (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	46 Cc	70 Aa	55 Bb	33 Db	29 Db
BRS Cauê	60 Ab	64 Ab	69 Aa	54 Ba	49 Ba
BRS Korbel	10 Ad	11 Ad	0 Ad	0 Ad	0 Ac
BRS Quaranta	56 Ab	51 Ab	42 Ac	44 Aa	0 Bc
Irina	44 Bc	59 Ab	63 Ab	34 Bb	0 Cc
Ana 01	60 Ab	50 Ab	32 Bc	7 Cd	6 Cc
ABPR 01431	44 Ac	30 Bc	29 Bc	10 Cd	15 Cc
ABI Rubi	63 Ab	77 Aa	71 Aa	31 Bb	10 Cc
Imperatriz	82 Aa	78 Aa	81 Aa	49 Ba	9 Cc
Daniele	64 Ab	37 Bc	59 Ab	59 Aa	28 Bb
BRS Brau	95 Aa	57 Bb	43 Cc	22 Dc	0 Ec
CV (%)	24,20				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Temperaturas acima do ótimo considerado para a cultura podem comprometer o processo de retomada de crescimento do embrião, resultando em efeitos drásticos no desenvolvimento inicial das plântulas, quando associada ao déficit hídrico (Carvalho & Nakagawa, 2012; Taiz & Zeiger, 2013). A alta temperatura influencia na absorção de água, no limite e velocidade das reações bioquímicas e nos processos fisiológicos das sementes, comprometendo o processo germinativo (Medeiros et al., 2015).

Em relação a massa seca de parte aérea, pode-se observar que no potencial controle as cultivares Imperatriz, Daniele e BRS Brau foram superiores as demais, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel, BRS Quaranta e Irina apresentaram resultados significativamente inferiores. Já quando testado -0,15 Mpa, ABI Rubi e BRS Brau apresentaram superioridade, ao passo que BRS Korbel e Irina expressaram menor desempenho frente as demais cultivares. No potencial de -0,30 Mpa ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram valores mais elevados quando comparadas às demais cultivares. Quando utilizado -0,45 Mpa, Imperatriz e Daniele apresentaram valores superiores frente as demais cultivares. Já quando testado -0,60 Mpa, ABPR 31, BRS Cauê, ABPR 01431 e Daniele demonstraram valores superiores. Em contrapartida, nos potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, a cultivar BRS Korbel apresentou maior sensibilidade ao estresse, obtendo resultados inferiores comparativamente as demais (Tabela 10).

Quando analisados os potenciais osmóticos, observou-se que, de maneira geral, os potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa foram os que mais influenciaram negativamente o aporte de massa seca de parte aérea, exceto para as cultivares ABPR 031, BRS Cauê e ABPR 01431 que não apresentaram diferença significativa entre os potenciais osmóticos avaliados (Tabela 10).

Tabela 10 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de parte aérea, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WPA (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	2,66 Ac	3,10 Ac	2,89 Ac	2,66 Ac	2,99 Aa
BRS Cauê	2,90 Ac	3,15 Ac	3,34 Ac	3,09 Ac	2,75 Aa
BRS Korbel	1,82 Ac	1,95 Ad	0,00 Bd	0,00 Be	0,00 Bc
BRS Quaranta	2,45 Ac	2,94 Ac	2,51 Ac	2,82 Ac	0,00 Bc
Irina	2,29 Ac	2,25 Ad	2,52 Ac	2,03 Ac	0,00 Bc
Ana 01	3,54 Ab	3,54 Ac	2,81 Ac	1,29 Bd	1,28 Bb
ABPR 01431	3,79 Ab	4,42 Ab	3,59 Ac	4,03 Ab	2,99 Aa
ABI Rubi	4,06 Bb	6,49 Aa	6,67 Aa	3,77 Bb	1,80 Cb
Imperatriz	6,60 Aa	4,82 Bb	6,48 Aa	5,51 Ba	1,50 Cb
Daniele	5,79 Aa	3,81 Bc	5,94 Aa	5,93 Aa	4,01 Ba
BRS Brau	6,64 Aa	5,81 Aa	4,83 Bb	4,32 Bb	0,00 Cc
CV (%)	23,40				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Quanto a massa seca de raiz, observou-se que no potencial controle a cultivar Daniele apresentou resultados superiores frente as demais. Já no potencial de -0,15 Mpa, ABI Rubi demonstrou superioridade frente as outras cultivares testadas. No potencial de -0,30 Mpa, além de ABI Rubi, Imperatriz e Daniele também apresentaram valores superiores quando comparadas às demais cultivares. Similarmente, quando empregado -0,45 Mpa as cultivares Imperatriz e Daniele apresentaram resultados significativamente superiores. Já quando utilizado -0,60 Mpa, a cultivar Daniele apresentou desempenho superior comparada as demais cultivares (Tabela 11).

Em contrapartida, BRS Korbel demonstrou sensibilidade, apresentando os menores resultados nos potenciais testados. Além desta cultivar, no potencial controle ABPR 31, BRS Cauê, BRS Quaranta, Irina, Ana 01 ABPR 01431 e ABI Rubi expressaram menor desempenho, não diferindo entre si, enquanto no potencial de -0,60 Mpa, além de BRS Korbel, BRS Quaranta, Irina e BRS Brau também expressaram resultados significativamente inferiores, não diferindo entre si (Tabela 11).

Quanto aos potenciais osmóticos, observou-se que -0,45 e -0,60 foram os que mais influenciaram negativamente a massa seca de raízes das cultivares, sendo -0,60 Mpa o potencial que mais afetou o desempenho das sementes, exceto para as cultivares ABPR 31, BRS Cauê, e ABPR 01431, as quais não apresentaram diferença significativa entre os potenciais osmóticos empregados (Tabela 11).

Tabela 11 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de raiz, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WR (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	2,52 Ac	2,84 Ac	1,80 Ac	1,75 Ad	2,68 Ac
BRS Cauê	2,31 Ac	2,62 Ac	2,61 Ac	2,72 Ac	1,59 Ac
BRS Korbél	1,50 Ac	1,44 Ad	0,00 Bd	0,00 Be	0,00 Bd
BRS Quaranta	2,25 Ac	3,23 Ac	2,03 Ac	2,48 Ac	0,00 Bd
Irina	2,47 Ac	3,09 Ac	2,85 Ac	2,89 Ac	0,00 Bd
Ana 01	2,73 Ac	3,08 Ac	2,44 Ac	1,43 Bd	1,19 Bc
ABPR 01431	2,99 Ac	3,35 Ac	3,06 Ac	3,38 Ac	3,48 Ab
ABI Rubi	3,11 Bc	6,80 Aa	7,08 Aa	3,78 Bc	2,03 Cc
Imperatriz	4,42 Cb	5,51 Bb	7,47 Aa	7,28 Aa	2,48 Dc
Daniele	6,10 Ba	3,25 Cc	7,29 Aa	7,88 Aa	6,57 Ba
BRS Brau	5,20 Ab	5,03 Ab	5,23 Ab	5,52 Ab	0,00 Bd
CV (%)	25,89				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

A massa seca é uma das variáveis capazes de expressar o crescimento das plântulas. A parte aérea e raiz aumentam em massa seca devido a importação das reservas estocadas na semente. O crescimento do eixo embrionário das sementes provém da divisão e alongamento celular, sendo esta uma fase em que as paredes celulares são preparadas para síntese de novos compostos, com posterior acréscimo em matéria verde e seca acompanhados pela mobilização das reservas das sementes, as quais são diretamente influenciadas pela temperatura e disponibilidade hídrica (Marcos & Filho, 2015; Silva et al., 2016). Tais considerações vão ao encontro dos resultados obtidos, em que evidenciou-se o efeito negativo da alta temperatura e restrição hídrica no acúmulo de massa seca das plântulas.

Analisando a massa seca total, observou-se que no tratamento controle as cultivares Imperatriz, Daniele e BRS Brau apresentaram superioridade frente as demais. Já no potencial de -0,15 Mpa, ABI Rubi apresentou valor superior comparada às outras cultivares testadas. Quando empregado -0,30 Mpa, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram resultados significativamente superiores comparado às demais cultivares. Similarmente, quando utilizado -0,45 Mpa Imperatriz e Daniele apresentaram superioridade. Já no potencial de -0,60 Mpa, apenas Daniele demonstrou valores superiores frente as demais cultivares testadas (Tabela 12).

Em contrapartida, a cultivar BRS Korbél apresentou os menores resultados em todos os potenciais osmóticos empregados. Contudo, no potencial controle, junto de BRS Korbél, as cultivares ABPR 31, BRS Cauê, BRS Quaranta e Irina apresentaram resultados significativamente inferiores, não diferindo entre si. Além disso, no potencial de -0,60 Mpa junto com BRS Korbél, as cultivares BRS Quaranta, Irina, e BRS Brau também expressaram menor aporte de massa seca total, não diferindo entre si (Tabela 12).

Em relação aos potenciais osmóticos, observou-se que -0,60 Mpa foi o que mais contribuiu negativamente para o aporte de massa seca total das cultivares. No entanto, foram constatadas algumas exceções como as cultivares ABPR 31, BRS Cauê e ABPR 01431 que não apresentaram diferenças entre os potenciais osmóticos empregados. Além dessas, BRS Korbél destacou-se por apresentar resultados significativamente inferiores nos potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si. Já a cultivar Daniele, apresentou menor desempenho quando submetida a -0,15 Mpa, diferindo dos

resultados obtidos quando sob 0 e -0,60 Mpa, os quais foram considerados intermediários, e daqueles obtidos a -0,30 e -0,45 Mpa, os quais foram superiores (Tabela 12).

Tabela 12 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca total, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WT (mg/órgão)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	5,18 Ac	5,94 Ac	4,70 Ac	4,42 Ad	5,67 Ab
BRS Cauê	5,21 Ac	5,77 Ac	5,95 Ac	5,81 Ad	4,34 Ac
BRS Korbel	3,32 Ac	3,40 Ad	0,00 Bd	0,00 Bf	0,00 Be
BRS Quaranta	4,69 Ac	6,17 Ac	4,54 Ac	5,30 Ad	0,00 Be
Irina	4,76 Ac	5,34 Ac	5,37 Ac	4,92 Ad	0,00 Be
Ana 01	6,27 Ab	6,62 Ac	5,25 Ac	2,72 Be	2,46 Bd
ABPR 01431	6,79 Ab	7,77 Ac	6,65 Ac	7,41 Ac	6,47 Ab
ABI Rubi	7,17 Bb	13,29 Aa	13,75 Aa	7,56 Bc	3,83 Cc
Imperatriz	11,02 Ba	10,33 Bb	13,96 Aa	12,79 Aa	3,98 Cc
Daniele	11,89 Ba	7,06 Cc	13,23 Aa	13,81 Aa	10,58 Ba
BRS Brau	11,85 Aa	10,84 Ab	10,06 Ab	9,84 Ab	0,00 Be
CV (%)	21,59				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

As condições de ambiente são primordiais para o desenvolvimento vegetal. Nesse caso, a alta temperatura e baixa disponibilidade hídrica comprometeram o desempenho inicial das plântulas de cevada, as quais expressaram menores resultados nas condições mais extremas. Entretanto, as características relacionadas a cada cultivar também pronunciaram-se nas respostas avaliadas, em que cada cultivar demonstrou especificidades frente as condições a que foram submetidas. Essa diferença entre cultivares quando impostas condições adversas pode auxiliar na distinção de materiais mais tolerantes ou suscetíveis a determinado estresse.

Estudo II

A partir da análise dos dados, foi constatada interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos para as variáveis ascorbato peroxidase, açúcares solúveis totais e aminoácidos, quando empregada a temperatura de 20 °C. Já a 35 °C., houve interação significativa entre os fatores para as variáveis superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase e aminoácidos. Entretanto, para as variáveis superóxido dismutase, catalase, peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica a 20 °C não foi verificada interação entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos. Enquanto a 35 °C, não foi observada interação entre os fatores para as variáveis peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, açúcares solúveis totais (AST) e aminoácidos (AM) nas temperaturas de 20 °C e 35 °C, Capão do Leão, 2022.

20 °C								
Quadrados Médio								
F.V.	G.L.	SOD	CAT	APX	Peróxido	Peroxidação	AST	AM
Cultivares (C)	2	0.135917*	0.000157*	0.023504*	15647.489014 ^{ns}	163.123332 ^{ns}	0.828084*	187.164707*
Potenciais Osmóticos (P)	4	0.441178*	0.000378*	0.163428*	26859.313753*	3425.261503*	9.621543*	324.524974*
C X P	8	0.013823 ^{ns}	0.000026 ^{ns}	0.005115*	3662.141998 ^{ns}	676.709052 ^{ns}	0.352712*	21.374551*
Resíduo	45	0.013430	0.000034	0.002088	9759.943114	487.074734	0.135760	8.186149
CV (%)		14,36	22,52	11,58	5,11	21,27	12,26	17,40
35 °C								
Quadrados Médio								
F.V.	G.L.	SOD	CAT	APX	Peróxido	Peroxidação	AST	AM
Cultivares (C)	2	0.161675*	0.000205*	0.076629*	126508.675377 ^{ns}	534.567762 ^{ns}	5.126940 ^{ns}	1761.619119*
Potenciais Osmóticos (P)	3	0.773829*	0.000843*	0.240008*	418664.462894*	5942.369293*	55.508677*	2420.387476*
C X P	6	0.042218*	0.000074*	0.031183*	79267.827780 ^{ns}	219.634445 ^{ns}	2.304259 ^{ns}	185.059007*
Resíduo	36	0.011581	0.000013	0.004356	77076.762449	521.618659	2.054100	57.316479
CV (%)		14,27	13,06	18,58	12,39	36,69	31,46	13,78

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; SOD – superóxido dismutase; CAT – catalase; APX – ascorbato peroxidase; Peróxido – peróxido de hidrogênio; Peroxidação – peroxidação lipídica; AST – açúcares solúveis totais; AM – aminoácidos; CV – coeficiente de variação. Fonte: Autores (2023).

De acordo com as variáveis analisadas, foi possível constatar que houve diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos empregados quando utilizada a temperatura de 20 °C. Nesse sentido, observando os resultados da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD), constatou-se que as cultivares diferiram entre si, nesse caso, Imperatriz apresentou valores significativamente mais elevados que ABI Rubi e BRS Korbel.

Os tratamentos também apresentaram diferença, sendo os valores de SOD mais elevados quando empregado o potencial de -0,60 Mpa. Em contrapartida, quando utilizado 0 e -0,15 Mpa os resultados foram significativamente menores (Tabela 14).

Quando analisado os resultados para a enzima catalase (CAT), pode-se observar que as cultivares diferiram entre si, em que ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados significativamente maiores comparados aos obtidos pela cultivar BRS Korbel. Os potenciais osmóticos utilizados também apresentaram diferença, sendo os maiores valores obtidos quando empregados -0,45 e -0,60 Mpa, os quais diferiram dos demais (Tabela 14).

Tabela 14 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

	SOD (min/mg proteína)	CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$)
Cultivares		
BRS Korbel	0,7368 B	0,0227 B
ABI Rubi	0,7859 B	0,0279 A
Imperatriz	0,8976 A	0,0272 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	0,5983 d	0,0208 b
-0,15	0,6632 d	0,0220 b
-0,30	0,8039 c	0,0232 b
-0,45	0,8842 b	0,0299 a
-0,60	1,0843 a	0,0337 a
CV (%)	14,36	22,52

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2023).

Para a ascorbato peroxidase (APX), pode-se verificar que as cultivares diferiram entre si quando submetidas aos potenciais osmóticos de -0,45 e -0,60 Mpa. No potencial de -0,45 Mpa, a cultivar Imperatriz apresentou resultado superior frente a BRS Korbel e ABI Rubi, as quais obtiveram resultados inferiores e não diferiram entre si. Já quando utilizado -0,60 Mpa, além de Imperatriz, a cultivar ABI Rubi também demonstrou superioridade diferindo de BRS Korbel, a qual obteve menor resultado (Tabela 15).

Com relação aos potenciais osmóticos empregados, observou-se que BRS Korbel obteve maiores resultados quando submetida aos potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si, já quando impostos os potenciais 0, -0,15 e -0,30 a cultivar demonstrou menor aporte da enzima avaliada. Similarmente, ABI Rubi e Imperatriz expressaram maiores resultados quando submetidas a -0,60 Mpa, o qual diferiu dos demais, sendo 0, -0,15 e -0,30 Mpa os potenciais nos quais as cultivares apresentaram resultados significativamente inferiores.

Tabela 15 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para ascorbato peroxidase, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

Potenciais Osmóticos (Mpa)	APX ($\mu\text{mol Ascorb/mg/proteína/min}$)		
	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,2972 Ab	0,2544 Ac	0,3162 Ac
-0,15	0,3058 Ab	0,2848 Ac	0,3310 Ac
-0,30	0,3363 Ab	0,3217 Ac	0,3820 Ac
-0,45	0,4155 Ba	0,4623 Bb	0,5254 Ab
-0,60	0,4773 Ba	0,5999 Aa	0,6093 Aa
CV (%) 13,06			

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

A restrição hídrica pode acarretar em estresse oxidativo e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o radical hidroxila, oxigênio singlete, radical superóxido e peróxido de hidrogênio (Jaleel et al., 2007;

Mouradi et al., 2016; Nguyen et al., 2019). A fim de eliminar esses radicais livres e proteger a planta de danos oxidativos, são desencadeados sistemas de defesa, os quais incluem a ação de enzimas antioxidantes (Kapoor et al., 2015). Dentre as principais enzimas destacam-se a superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, capazes de neutralizar o excesso de EROs no nível celular (Bailly, 2004; Del Río et al., 2018; Groß et al., 2013; Kibinza et al., 2011) desde que as condições de estresse não sejam demasiadamente drásticas para a espécie.

Avaliando o peróxido de hidrogênio, observou-se que as cultivares não diferiram entre si. No entanto, em relação aos tratamentos observou-se que nos potenciais 0, -0,15 e -0,60 Mpa os resultados foram mais elevados quando comparados aos demais potenciais empregados. Similarmente, as cultivares não diferiram entre si também para a peroxidação lipídica. Já os tratamentos apresentaram diferença, sendo os maiores resultados obtidos nos potenciais -0,15, -0,30, -0,45 e -0,60 os quais não diferiram entre si e distinguiram do tratamento controle (Tabela 16).

Tabela 16 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

	Peróxido (uM.g-1 MF)	Peroxidação (MDA/g ⁻¹ MF)
Cultivares		
BRS Korbel	1962,9384 A	101,6715 A
ABI Rubi	1921,9890 A	102,6082 A
Imperatriz	1909,4564 A	107,0195 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	1965,1350 a	76,2083 b
-0,15	1917,8386 a	107,1597 a
-0,30	1905,6530 b	102,7374 a
-0,45	1875,3866 b	111,2462 a
-0,60	1993,2931 a	121,4804 a
CV (%)	5,11	21,27

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2023).

O peróxido de hidrogênio é um composto estável capaz de ocasionar a inativação de enzimas, porém, considerado pouco reativo quando comparado a outras espécies reativas de oxigênio (Gill & Tuteja, 2010; Gratão et al., 2005). Os produtos da peroxidação lipídica são fortemente reativos, capazes de se ligar a biomoléculas como DNA e proteínas, danificando-as de maneira irreversível, promovendo assim prejuízos a funcionalidade das células (Sharma et al., 2012). Nesse sentido, a redução da fluidez das membranas está dentre os principais danos promovidos pela peroxidação lipídica (Gill & Tuteja, 2010). Nesse contexto, a peroxidação de lipídeos tem sido largamente utilizada a fim de indicar a ocorrência de danos às membranas celulares em plantas submetidas a restrição hídrica, (Gratão et al., 20005).

Em relação aos aminoácidos, foi possível constatar que as cultivares diferiram entre si quando submetidas aos potenciais osmóticos 0 e -0,60, sendo ABI Rubi a cultivar que apresentou resultados mais elevados, enquanto BRS Korbel destacou-se por apresentar menor resultado frente as demais.

Quanto aos potenciais osmóticos, observou-se que a cultivar BRS Korbel expressou valores superiores quando empregados os potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa. Já ABI Rubi e Imperatriz obtiveram valores mais elevados quando submetidas a -0,60 Mpa, comparado aos demais potenciais empregados. O contrário ocorreu quando impostos o tratamento controle e -0,15 Mpa, os quais não diferiram entre si e promoveram resultados inferiores em ambas cultivares (Tabela 17).

Analisando os açúcares solúveis totais, observou-se que as cultivares apresentaram diferença entre si quando submetidas aos potenciais -0,45 e -0,60 Mpa. Quando empregado -0,45 Mpa, BRS Korbel e Imperatriz apresentaram valores superiores comparadas à ABI Rubi. Já quando submetidas a -0,60 Mpa, apenas BRS Korbel apresentou resultados significativamente mais elevados, diferindo das demais cultivares.

Quanto aos potenciais osmóticos, foi possível observar que a cultivar BRS Korbel apresentou maior resultado quando submetida a -0,60 Mpa, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Além disso, quando submetida a 0 e -0,15 Mpa, a cultivar apresentou os menores resultados para a variável analisada. A cultivar ABI Rubi expressou maiores valores a -0,60 Mpa, sendo o tratamento controle o que obteve menores resultados para a variável analisada. Já a cultivar Imperatriz apresentou resultados mais elevados quando impostos os potenciais de -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, os quais diferiram dos demais (Tabela 17).

Tabela 17 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para aminoácidos e açúcares solúveis totais, na temperatura de 20 °C, Capão do Leão, 2022.

		Aminoácidos ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ MF)		
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares			
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	
0	4,6959 Cc	17,0270 Ac	9,4359 Bc	
-0,15	12,0917 Ab	13,6954 Ac	10,8870 Ac	
-0,30	16,2846 Aa	20,4366 Ab	19,6537 Ab	
-0,45	15,9557 Aa	19,5147 Ab	17,0141 Ab	
-0,60	18,8740 Ca	27,6552 Aa	23,38630 Ba	
CV (%) 17,40				
		Açúcares Solúveis Totais (mg/g^{-1} MF)		
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivar			
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	
0	1,8276 Ac	1,7863 Ad	2,2101 Ab	
-0,15	2,0548 Ac	2,3640 Ac	2,1501 Ab	
-0,30	3,5989 Ab	3,0216 Ab	3,4674 Aa	
-0,45	3,9515 Ab	3,0667 Bb	3,5396 Aa	
-0,60	4,5147 Aa	3,6960 Ba	3,8320 Ba	
CV (%) 12,26				

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Outro mecanismo de tolerância dos vegetais ao estresse por restrição hídrica é o acúmulo de osmólitos, o qual permite que as células gerenciem de maneira mais eficiente a desidratação e a integridade estrutural das membranas (Loutfy et al., 2012). Nesse sentido, o ajuste osmótico em plantas submetidas ao estresse hídrico relaciona-se ao armazenamento de solutos orgânicos de baixo peso molecular como aminoácidos e açúcares, que auxiliam em processos de absorção e retenção de água (Loutfy et al., 2012; Hussain et al., 2018). Manter a hidratação da célula, nesse caso, garante a contínua ocorrência das atividades metabólicas do tecido e manutenção da integridade das estruturas celulares, possibilitando assim o crescimento das plantas (Chaves et al., 2003).

Os carboidratos, desenvolvem diversas funções relacionadas ao ajuste osmótico, armazenamento de carbono, desintoxicação de EROs, proteção da integridade de membranas, além de proteção de estruturas de DNA e estabilização de

enzimas/proteínas. Em estado crítico de desidratação, os açúcares substituem essencialmente a água, propiciando a hidratação em torno das proteínas (Bowne et al., 2012). Além disso, o aumento do armazenamento de açúcares solúveis é considerado como resposta fisiológica das plantas a restrição hídrica em diversos estudos (Passioura, 2012; Dbira et al., 2018), permitindo que as plantas limitem a evapotranspiração e intensifiquem a absorção de água (Glúten & Éris, 2004)

Quando submetidas a temperatura de 35 °C, tanto as cultivares quanto os potenciais osmóticos foram responsivos, dependendo da variável analisada. Contudo, as cultivares foram submetidas apenas até o potencial de -0,45 Mpa, sendo o potencial de -0,60 limitante para o desenvolvimento das plântulas, não havendo assim massa de plântulas suficiente para as análises enzimáticas e bioquímicas.

Quando avaliada a enzima antioxidante superóxido dismutase, observou-se que as cultivares diferiram entre si exceto no potencial 0, em que a cultivar Imperatriz apresentou resultados significativamente superiores frente a BRS Korbel e ABI Rubi. Quanto aos potenciais osmóticos, observou-se que a cultivar BRS Korbel apresentou valores significativamente superiores nos potenciais de -0,30 e -0,45 Mpa diferindo significativamente dos valores nos potenciais 0 e -0,15 Mpa os quais não diferiram entre si. A cultivar ABI Rubi apresentou valores superiores quando submetidas a -0,30 e -0,45 Mpa diferindo significativamente do tratamento controle em que os resultados foram significativamente menores. De maneira semelhante, a cultivar Imperatriz também apresentou valor superior no potencial de -0,45 Mpa, seguido dos potenciais -0,30, -0,15 e 0, sendo no potencial 0 a expressão dos menores valores (Tabela 18).

Para a enzima catalase observou-se que as cultivares diferiram entre si nos potenciais -0,30 e -0,45 Mpa, em que Imperatriz apresentou maiores resultados frente as cultivares ABI Rubi e BRS Korbel, que por sua vez, não diferiram entre si. Quando comparados os potenciais osmóticos, pode-se perceber que para a cultivar BRS Korbel os valores foram superiores para a catalase quando as sementes foram submetidas a -0,30 e -0,45 Mpa os quais diferiram dos demais potenciais osmóticos empregados. A cultivar ABI Rubi apresentou valores superiores no potencial -0,45 Mpa, diferindo dos potenciais -0,30 e -0,15 os quais não diferiram entre si, além do potencial 0, o qual obteve os menores valores, diferindo dos demais. Já a cultivar Imperatriz obteve resultados superiores quando utilizado -0,45 Mpa, seguido de -0,30 e dos potenciais -0,15 e 0 Mpa que obtiveram os menores resultados (Tabela 18).

Analisando a enzima ascorbato peroxidase, pôde-se constatar que as cultivares diferiram entre si nos potenciais -0,30 e -0,45 Mpa. Quando utilizado -0,30 Mpa a cultivar Imperatriz apresentou valores superiores frente as demais cultivares. Similarmente, quando submetidas a -0,45 Mpa, Imperatriz também apresentou valores superiores, seguida da cultivar BRS Korbel e por último ABI Rubi. Em relação aos potenciais osmóticos, observou-se que a cultivar BRS Korbel apresentou valores superiores de APX quando submetida a -0,45 Mpa, seguida dos potenciais -0,15 e -0,30 Mpa que não diferiram entre si, e do potencial 0 que apresentou os menores valores, diferindo dos demais. A cultivar ABI Rubi apresentou resultados significativamente maiores quando empregado -0,30 e -0,45 Mpa, os quais diferiram do tratamento controle e -0,15 Mpa, os quais não apresentaram diferença entre si. Semelhantemente, Imperatriz apresentou valores superiores a -0,45 Mpa, seguida do potencial -0,30 Mpa e dos potenciais 0 e -0,15 Mpa que expressaram os menores resultados (Tabela 18).

Tabela 18 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para superóxido dismutase (SOD) catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

SOD (min/mg proteína)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,5408 Ab	0,4051 Ac	0,4592 Ad
-0,15	0,5741 Bb	0,6011 Bb	0,7539 Ac
-0,30	0,7546 Ba	0,8348 Ba	0,9676 Ab
-0,45	0,9052 Ba	0,9552 Ba	1,3010 Aa
CV (%) 14,27			
CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0196 Ab	0,0178 Ac	0,0209 Ac
-0,15	0,0237 Ab	0,0254 Ab	0,0250 Ac
-0,30	0,0273 Ba	0,0254 Bb	0,0321 Ab
-0,45	0,0319 Ba	0,0358 Ba	0,0501 Aa
CV (%) 12,48			
APX ($\mu\text{mol Ascorb/mg/proteína/min}$)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,2173 Ac	0,2199 Ab	0,2230 Ac
-0,15	0,3218 Ab	0,2550 Ab	0,2847 Ac
-0,30	0,3462 Bb	0,3043 Ba	0,4474 Ab
-0,45	0,5247 Ba	0,3703 Ca	0,7477 Aa
CV (%) 18,23			

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Zhanassova et al. (2021) avaliando a resposta de cevada a combinação de estresses por temperatura e restrição hídrica, constataram maior atividade das enzimas antioxidantes SOD e CAT nas raízes das plantas quando impostos concomitantemente altas temperaturas e déficit hídrico. Para os autores, tais resultados indicam a capacidade das plantas de cevada em eliminar de maneira eficaz espécies reativas de oxigênio, evitando o acúmulo excessivo das mesmas.

Quando avaliados o peróxido de hidrogênio, observou-se que as cultivares não apresentaram diferença entre si. No entanto, quanto aos tratamentos foi possível observar que os resultados do potencial controle foram significativamente menores que os obtidos nos demais potenciais empregados. De modo semelhante, as cultivares também não apresentaram diferenças entre si quando analisada a peroxidação lipídica. Já em relação aos tratamentos, observou-se que os resultados mais elevados foram obtidos nos potenciais -0,30 e -0,45 frente aos demais tratamentos empregados, enquanto o menor resultado foi expresso no tratamento controle (Tabela 19).

Tabela 19 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

	Peróxido (uM.g ⁻¹ MF)	Peroxidação (MDA/g ⁻¹ MF)
Cultivares		
BRS Korbel	2324,9531 A	68,8614 A
ABI Rubi	2251,1056 A	58,1738 A
Imperatriz	2147,9212 A	59,7015 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	1974,5608 b	32,0991 c
-0,15	2277,9200 a	59,0206 b
-0,30	2303,1525 a	76,7451 a
-0,45	2409,6733 a	81,1174 a
CV (%)	12,39	36,69

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2023).

Além de indicar a ocorrência de estresse oxidativo, a elevação no peróxido de hidrogênio e na peroxidação lipídica sugerem que o estresse oxidativo e lesões celulares decorreram em resposta a alta temperatura e restrição hídrica quando combinadas, como nesse caso, ou apenas a restrição hídrica, como quando emprega a temperatura ideal de 20 °C.

Quanto aos aminoácidos, constatou-se que as cultivares diferiram entre si, exceto no controle. Nos potenciais de -0,15 e -0,30 Mpa ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores à BRS Korbel. Já quando empregado -0,45 Mpa, apenas ABI Rubi apresentou resultados superiores frente as outras duas cultivares. Em relação aos potenciais osmóticos utilizados, observou-se que BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram valores significativamente mais elevados quando empregado o potencial de -0,45 Mpa, ao contrário do tratamento controle, em que foram expressos os menores resultados. Já Imperatriz apresentou valores superiores a -0,15, -0,30 e -0,45 Mpa, os quais diferiram do controle que expressou os menores resultados para a variável analisada (Tabela 20).

Tabela 20 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para aminoácidos, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Potenciais Osmóticos (Mpa)	Aminoácidos (μmol/g ⁻¹ MF)		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	29,0726 Ac	39,3811 Ac	35,3397 Ab
-0,15	47,7775 Bb	62,9218 Ab	66,9008 Aa
-0,30	39,1839 Bb	70,5449 Ab	68,5352 Aa
-0,45	59,2947 Ba	79,0563 Aa	64,4854 Ba
CV (%) 13,78			

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Autores (2023).

Para os açúcares solúveis totais, observou-se que as cultivares não apresentaram diferença significativa entre si. Já em relação aos potenciais osmóticos utilizados foi observada diferença, sendo o maior resultado obtido a -0,45 Mpa, seguido daqueles obtidos quando impostos -0,15 e -0,30 Mpa, os quais não diferiram entre si e o menor valor expresso no tratamento controle, que diferiu dos demais potenciais osmóticos utilizados (Tabela 21).

Tabela 21 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para açúcares solúveis totais, na temperatura de 35 °C, Capão do Leão, 2022.

Açúcares Solúveis Totais (mg/g ⁻¹ MF)	
Cultivares	
BRS Korbel	4,8851 A
ABI Rubi	3,9021 A
Imperatriz	4,8801 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)	
0	2,3970 c
-0,15	3,6792 b
-0,30	4,6874 b
-0,45	7,4594 a
CV (%) 31,46	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2023).

Quando submetidas a condições de estresse, as células vegetais tendem a sintetizar e acumular concentrações mais elevadas de metabólitos, como determinados aminoácidos e açúcares solúveis. Além disso, esses altos níveis de osmólitos em células vegetais foram correlacionados com maior tolerância das espécies ou cultivares às condições adversas, agindo na eliminação de espécies reativas de oxigênio e proteção enzimática (Ahanger et al., 2017; Hassani et al., 2008; Zivicak et al., 2016; Zhang et al., 2010). Nesse sentido, em cereais, como o arroz, níveis de aminoácido e açúcares foram significativamente mais elevados em plantas submetidas ao estresse combinado por restrição hídrica e alta temperatura, havendo distinção de respostas entre genótipos tolerantes e sensíveis (Li et al., 2015).

4. Conclusão

O desempenho inicial de plântulas de cevada sofre influência de condições hídricas e térmicas, conforme a cultivar e intensidade do estresse imposto.

O estresse por restrição hídrica, associado ou não a alta temperatura, afeta negativamente os atributos de germinação, vigor e crescimento inicial das cultivares, principalmente quando utilizados potenciais osmóticos menores.

As cultivares ABI Rubi e Imperatriz apresentam superior alocação de massa seca total quando submetidas a restrição hídrica e alta temperatura.

Quando submetidas a restrição hídrica e temperatura de 35 °C as plântulas de cevada apresentam teores mais elevados das enzimas antioxidante superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, além do peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais.

Quando submetida a restrição hídrica nas temperaturas de 20 e 35 °C a cultivar Imperatriz apresenta resultados superiores na atividade das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX, o que pode indicar maior tolerância da cultivar às condições estressoras.

Referências

- Ahanger, M. A., Tomar, N. S., Tittal, M., Argal, S., & Agarwal, R. (2017). Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 731-744.
- Antunes, J. (2021). Cenário favorável para a cevada. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada>.

- Asgher, M., Per, T. S., Masood, A., Fatma, M., Freschi, L., Corpas, F. J., & Khan, N. A. (2017). Nitric oxide signaling and its crosstalk with other plant growth regulators in plant responses to abiotic stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 2273-2285.
- Aumonde, T. Z. et al. (2017). *Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação*. Cópias Santa Cruz.
- Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed science research*, 14(2), 93-107.
- Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
- Bielecki, R. L., & Turner, N. A. (1966). Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. *Analytical biochemistry*, 17(2), 278-293.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Brasil – (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária.
- Britannica. (2020). The Editors of Encyclopaedia. "Barley". Encyclopedia Britannica, 3 Apr. <https://www.britannica.com/plant/barley-cereal>.
- Carpentieri-pipolo, V. & Minella, E. (2021). Cevada alimento funcional-Alternativa para a diversificação e agregação de valor na cadeia produtiva de cereais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*.
- Carvalho, N.M. & Nakagawa, J. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. FUNEP.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30(3), 239-264.
- Condé, A. B. T., de Oliveira Coelho, M. A., Yamanaka, C. H., & Corte, H. R. (2010). Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo sob cultivo de sequeiro em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(1), 45-52.
- Dawson, I. K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W. T., & Waugh, R. (2015). Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytologist*, 206(3), 913-931.
- Dbira, S., Al Hassan, M., Gramazio, P., Ferchichi, A., Vicente, O., Prohens, J., & Boscaiu, M. (2018). Variable levels of tolerance to water stress (drought) and associated biochemical markers in Tunisian barley landraces. *Molecules*, 23(3), 613.
- De Mori, C., & Minella, E. (2012). Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada.
- Del Río, L. A.; Corpas, F.J.; López-Huertas, E. & Palma, J. M. (2018). Plant superoxide dismutases: function under abiotic stress conditions. In: Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants Cham. *Springer International Publishing*, 1-26.
- Embrapa. (2012). A cevada no Brasil. Documento Online 139. Passo Fundo – RS: *Embrapa Trigo*.
- Faostat. (2008). Statistical database. Food, agriculture organization of the United Nations.
- Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant physiology*, 59(2), 309-314.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Gluten, H., Eris, A. (2004) Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science*, 166(3), 739-744.
- Gratão, P. L., Polle, A., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional plant biology*, 32(6), 481-494.
- Groß, F., Durner, J., & Gaupels, F. (2013). Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. *Frontiers in plant science*, 4, 419.
- Hassani, A. et al. (2008). Efeito da Salinidade na Água e Alguns Osmólitos na Cevada (*Hordeum Vulgare*) *Eur. J. Sci. Res*, 23, 61-69.
- Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in plant science*, 9, 393.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 60(1), 110-116.
- Kapoor, D., Sharma, R., Handa, N., Kaur, H., Rattan, A., Yadav, P., ... & Bhardwaj, R. (2015). Redox homeostasis in plants under abiotic stress: role of electron carriers, energy metabolism mediators and proteinaceous thiols. *Frontiers in Environmental Science*, 3, 13.
- Kibinza, S., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J. M., Corbineau, F., & El-Maarouf-Bouteau, H. (2011). Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant science*, 181(3), 309-315.
- Li, X., Lawas, L. M., Malo, R., Glaubitz, U., Erban, A., Mauleon, R., ... & Jagdish, K. S. (2015). Metabolic and transcriptomic signatures of rice floral organs reveal sugar starvation as a factor in reproductive failure under heat and drought stress. *Plant, Cell & Environment*, 38(10), 2171-2192.

- Lopes, J. C., & Macedo, C. M. P. D. (2008). Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 30, 79-85.
- Lopes, N.F. & Lima, M.G.DE S. (2015). *Fisiologia da produção vegetal*. UFV.
- Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, A. M., Moustafa, M. F., Sakuma, Y., & Inouhe, M. (2012). Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of plant research*, 125, 173-184.
- Marcos-Filho, J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Abrates.
- Medeiros, D. S. D., Alves, E. U., Sena, D. V. D. A., Silva, E. D. O., & Araújo, L. R. D. (2015). Desempenho fisiológico de sementes de gergelim submetidas a estresse hídrico em diferentes temperaturas. *Semina Ciências Agrárias*, 36(5), 3069-3076.
- Meng, S., Zhang, C., Su, L., Li, Y., & Zhao, Z. (2016). Nitrogen uptake and metabolism of *Populus simonii* in response to PEG-induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 123, 78-87.
- Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Makoudi, B., Kabbadj, A., Very, A. A., ... & Ghoulam, C. (2016). Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses and membrane stability during early stage of *Moroccan alfalfa* populations under water deficit. *Chilean journal of agricultural research*, 76(3), 265-272.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.
- Nguyen, V. T., Nguyen, T. B., Chen, C. W., Hung, C. M., Chang, J. H., & Dong, C. D. (2019). Influence of pyrolysis temperature on polycyclic aromatic hydrocarbons production and tetracycline adsorption behavior of biochar derived from spent coffee ground. *Bioresource Technology*, 284, 197-203.
- Passioura, J. B. (2012). Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders?. *Functional Plant Biology*, 39(11), 851-859.
- Peske, S.T.; Vilella, F.A. & Meneghello, G.E. *Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. Editora Universitária/UFPel.
- Pinheiro, L. G. S.; Brasil, V. C. B. & Ghesti, G. F. (2017). Caracterização do malte produzido com cevada do cerrado brasileiro. *Revista Latino-Americana de Cerveja*, 1(1), 63-72.
- Samarah, N., & Alqudah, A. (2011). Effects of late-terminal drought stress on seed germination and vigor of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(1), 27-32.
- Schulte, D., Close, T. J., Graner, A., Langridge, P., Matsumoto, T., Muehlbauer, G., ... & Stein, N. (2009). The international barley sequencing consortium—at the threshold of efficient access to the barley genome. *Plant physiology*, 149(1), 142-147.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*.
- Shewry, P. R., & Ullrich, S. E. (2014). *Barley: chemistry and technology*. Elsevier.
- Silva, M. L. M. D., Alves, E. U., Bruno, R. D. L. A., Santos-Moura, S. D. S., & Santos Neto, A. P. D. (2016). Germinação de sementes de *Chorisia glaziovii* O. Kuntze submetidas ao estresse hídrico em diferentes temperaturas. *Ciência Florestal*, 26, 999-1007.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. Artmed.
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. J. P. S. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66.
- Yemm, E. W., Cocking, E. C., & Ricketts, R. E. (1955). The determination of amino-acids with ninhydrin. *Analyst*, 80(948), 209-214.
- Yigit, N., Sevik, H., Cetin, M., & Kaya, N. (2016). Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species. *Water stress in plants*, 43, 62.
- Zhanassova, K., Kurmanbayeva, A., Gadilgerayeva, B., Yermukhambetova, R., Iksat, N., Amanbayeva, U., ... & Masalimov, Z. (2021). ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43, 1-12.
- Zhang, Z., Li, F., Li, D., Zhang, H., & Huang, R. (2010). Expression of ethylene response factor JERF1 in rice improves tolerance to drought. *Planta*, 232, 765-774.
- Zhou, M. X. (2010). Barley production and consumption. *Genetics and improvement of barley malt quality*, 1-17.
- Zivcak, M., Brestic, M., & Sytar, O. (2016). Osmotic adjustment and plant adaptation to drought stress. *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1: Physiology and Biochemistry*, 105-143.