Revista Perquirere, vol. 23, n. 2: 08-19, 2026
© Centro Universitário de Patos de Minas
https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere

Eficiência de promotores de crescimento como ativador do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico

Efficiency of growth promoters as activators of antioxidant metabolism in soybean under water deficit

CÉSAR EMANUEL LACERDA RODRIGUES
Discente de Agronomia (UNIPAM)
cesaremanuel@unipam.edu.br

EVANDRO BINOTTO FAGAN
Professor orientador (UNIPAM)
evbinotto@unipam.edu.br

Resumo: O objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência de diferentes bactérias promotoras de crescimento, prolina e ABA como ativadores do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico. O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), em 20 de outubro de 2025, utilizando seis tratamentos (T_1: Controle; T_2: *Bacillus spp.* A 2ml/kg; T_3: *Bacillus spp.* B 4ml/kg; T_4: *Azospirillum brasilense* 2ml/kg; T_5: Prolina 200ml/ha^{-1}; T_6: ABA 300ml/ha^{-1}) com oito repetições e cultivar TEC 7022 IPRO. As avaliações foram de atividade da superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), peroxidação lipídica (PL) e massa seca de raiz (MSR), caule (MSC), folhas (MSF) e vagens (MSV). Nos resultados de SOD, a aplicação de prolina e ABA resultou em uma redução significativa da atividade enzimática; o menor valor de atividade foi observado no tratamento com ABA. Para a atividade da POD, não houve diferença estatística na atividade da POD em nenhum dos tratamentos avaliados. Para a CAT, o tratamento *Bacillus spp.* A apresentou uma atividade intermediária e um estresse oxidativo mais estável. O tratamento com ABA apresentou novamente a menor atividade enzimática. Na avaliação de PL, *Bacillus spp.* A, *Azospirillum brasilense* e prolina apresentaram redução média de 7,68%. Na avaliação de massa seca os resultados foram não significativos para todos os órgãos avaliados. Portanto, pode-se concluir que ABA se destaca na redução de estresses abióticos. Microrganismos e prolina reduzem os danos oxidativos quando usados de maneira integrada.
Palavras-chave: peroxidase; *Glycine max;* superóxido dismutase; catalase; peroxidação.

Abstract: This study aimed to evaluate the efficiency of different plant growth-promoting bacteria, proline, and ABA as activators of antioxidant metabolism in soybean under water deficit. The experiment was conducted in the greenhouse of the University Center of Patos de Minas (UNIPAM), located in Patos de Minas, Minas Gerais, Brazil, on October 20, 2025, using six treatments (T1: control; T2: *Bacillus* spp. A at 2 mL/kg; T3: *Bacillus* spp. B at 4 mL/kg; T4: *Azospirillum brasilense* at 2 mL/kg; T5: proline at 200 mL ha^{-1}; and T6: ABA at 300 mL ha^{-1}), with eight replications and the cultivar TEC 7022 IPRO. The evaluations included superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), lipid peroxidation (LP), and dry matter of roots (RDM), stems (SDM), leaves (LDM), and pods (PDM). Regarding SOD activity, the

application of proline and ABA resulted in a significant reduction in enzymatic activity, with the lowest activity value observed in the ABA treatment. For POD activity, no statistically significant difference was observed among the evaluated treatments. For CAT activity, the *Bacillus* spp. A treatment showed intermediate activity and more stable oxidative stress. The ABA treatment again showed the lowest enzymatic activity. In the LP evaluation, *Bacillus* spp. A, *Azospirillum brasilense*, and proline showed an average reduction of 7.68%. For dry matter, the results were not significant for any of the evaluated plant organs. Therefore, it can be concluded that ABA stands out in reducing abiotic stress. Microorganisms and proline reduce oxidative damage when used in an integrated manner.
Keywords: peroxidase; *Glycine max*; superoxide dismutase; catalase; peroxidation.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial. Seus grãos são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível (Costa Neto; Rossi, 2000). Atualmente é a cultura mais explorada no Brasil, que se mantém como o maior produtor e exportador mundial dessa leguminosa. Para a safra 2024/25, obteve-se uma produção de 171,47 milhões de toneladas de grãos, valor 13,3% superior ao da safra anterior, em uma área plantada de 47,6 milhões de hectares, representando aumento de 3,2% em relação ao último ano (Conab, 2025).

Muitos são os tipos de estresse que os vegetais podem enfrentar, como oscilações drásticas de temperatura, umidade, radiação solar, ataque de pragas e doenças, estresses térmicos ou hídricos, entre outros. As plantas conseguem mudar a constituição de compostos moleculares como um mecanismo de resposta, e muitas dessas alterações podem estar diretamente relacionadas com defesa e proteção. Para sobreviver, durante sua evolução, alguns dos mecanismos de resposta que os vegetais desenvolveram contra esses estresses foram enzimas antioxidantes, hormônios e aminoácidos, que, quando acionados, detectam a situação adversa (Shewry; Lucas, 1997; Wit, 2007). Um estudo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) demonstrou que, na região sul do Mato Grosso do Sul, mesmo em anos com quantidade e distribuição de chuvas "satisfatórias", as simulações de balanço hídrico mostraram que houve a necessidade de complementação com irrigação para atender à demanda de água pela soja em seu ciclo (Flumignan *et al*., 2015).

O déficit hídrico é um dos principais estresses abióticos, que afeta negativamente o crescimento e o rendimento das culturas. Essas mudanças estão relacionadas principalmente a funções metabólicas alteradas. Uma delas, por exemplo, é a perda ou síntese reduzida de pigmentos fotossintéticos (Jaleel *et al*., 2009). A maior parte da produção agrícola está relacionada a órgãos reprodutivos, como frutos e grãos, e sua produção pode ser afetada ou tomada pela falta de água, principalmente nos períodos de seca (Pimentel; Rossielo, 1995), uma vez que a formação de todos os componentes de produção como folhas, flores, vagens e grãos dependem da translocação de uma série de solutos que só ocorre na presença de água no solo. Como resposta à exposição a diversos tipos de estresses ambientais, a planta produz espécies

reativas de oxigênio (ERO's), as quais ocasionam um estresse oxidativo. Diante da produção desses ERO's, o sistema de defesa da planta está associado à ativação de mecanismos enzimáticos que constituem um sistema antioxidante. Esse sistema utiliza enzimas importantes na rota de desintoxicação, como as catalases, as peroxidases e as superóxido dismutases (Hasanuzzaman *et al.,* 2013).

O papel benéfico da comunidade microbiana na promoção do crescimento das plantas pode ocorrer de inúmeras formas, por exemplo, atuando na mobilização e transporte de nutrientes para a planta pela fixação de nitrogênio e solubilização/mineralização de fósforo. Entre os mais usados, temos os gêneros *Azospirillum* e *Bacillus,* que podem atuar na produção de fito-hormônios que estimulam o desenvolvimento vegetal e proteção das plantas contra patógenos. Além disso, esses microrganismos podem auxiliar na tolerância à alta salinidade e ao déficit hídrico através da produção de compostos como exopolissacarídeos (EPS) (Castiglioni *et al.,* 2008; Zhang *et al.,* 2008). O aminoácido prolina possui importante função de osmoproteção em plantas submetidas a estresses como seca, alta temperatura e salinidade. O acúmulo de prolina nas células vegetais submetidas a estresse hídrico é sugerido como um mecanismo de ajuste osmótico (Nepomuceno *et al*, 2001).

O ácido abscísico (ABA) é um hormônio vegetal reconhecidamente importante no estabelecimento de mecanismos de tolerância de plantas a estresses abióticos. Entre os mecanismos mais conhecidos está a indução do fechamento estomático (Munemasa *et al.,* 2015), o que, consequentemente, leva a uma redução da evapotranspiração em plantas submetidas à deficiência hídrica ou altas temperaturas. O ABA também é conhecido como indutor de tolerância à deficiência hídrica, pois está envolvido na regulação da expressão de genes que codificam proteínas relacionadas à tolerância, à deficiência hídrica, as LEA proteínas, as quais são muito hidrofílicas, podendo proteger sistemas de endomembranas, enzimas e lipídeos em tecidos que sofrem desidratação (Shinozaki; Yamaguchi-Shinozaki, 1999). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de promotores de crescimento, aminoácidos e hormônios como ativadores do metabolismo antioxidante na cultura da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi implantado e conduzido na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), no dia 20 de outubro de 2025, e finalizado no dia 19 de dezembro de 2025. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o local apresenta clima tropical de savana (Aw), com pluviometria média anual em torno de 1412 mm, sendo a temperatura média anual igual a 21 ºC (Oliveira; Maciel; Queiroz, 2014).

Foi utilizada a cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merril.], cultivar TEC 7022 IPRO em delineamento de blocos casualizados (DBC), sendo seis tratamentos com oito repetições cada (Tabela 1), totalizando 48 unidades experimentais. O solo utilizado foi devidamente corrigido de acordo com a necessidade da cultura e esterilizado em autoclave com temperatura a 121 ºC por uma hora. Os tratamentos foram aplicados por

meio do tratamento de sementes (TS), com exceção dos tratamentos com prolina e ABA, que foram feitos em aplicação foliar, no estádio reprodutivo da cultura (R1).

Foram plantadas três sementes por vaso, com posterior desbaste deixando duas plantas por vaso. As plantas receberam uma irrigação diária de 250ml de água por vaso até a submissão ao estresse, que foi feita no estádio reprodutivo da cultura, aproximadamente dois dias após as aplicações de prolina e ABA.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no trabalho: "Eficiência de promotores de crescimento como ativador do metabolismo antioxidante na cultura da soja submetida ao déficit hídrico". Centro Universitário de Patos de Minas, UNIPAM. Patos de Minas, 2025

Trat.	Descrição	Dose
1	Controle	-
2	*Bacillus spp.* A	2ml/kg
3	*Bacillus spp.* B	4ml/kg
4	*Azospirillum brasilense*	2ml/kg
5	Prolina	200ml/ha^{-1}
6	ABA	300ml/ha^{-1}

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram feitas dia 03 de janeiro de 2026 no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP), localizado no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foram realizadas as análises de catalase, peroxidase, superóxido dismutase, peroxidação lipídica e massa de matéria seca de raiz, caule, vagens e folhas.

2.3 ATIVIDADE DAS ENZIMAS ANTIOXIDANTES

A atividade da superóxido dismutase (SOD) foi determinada segundo a metodologia de Beauchamp e Fridovich (1971), citados por Bor, Ozdemir E Turkan (2003); a de catalase, Peixoto *et al.* (1999); a de peroxidase, Teisseire e Guy (2000); a peroxidação lipídica, Heath; Packer (1968).

2.4 MASSA DE MATÉRIA SECA

As determinações de massa seca de raiz, caule, vagens e folhas foram realizadas utilizando duas plantas para cada repetição. Cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel, e a secagem das diferentes partes da planta foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa de circulação forçada e com temperatura de 70 ºC, até o peso constante.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, nível de 5% de probabilidade de erro pelo software SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a atividade da SOD (Tabela 2), com exceção dos tratamentos com ABA e prolina, os resultados obtidos, apesar de apresentarem valores numericamente distintos em relação aos demais tratamentos e à testemunha, não diferiram estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$), demonstrando uma possível homeostase do sistema antioxidante para esses tratamentos nesta variável em específico. Por outro lado, a aplicação de prolina e ABA resultou em uma redução significativa da atividade da SOD, diferindo-se entre si, e dos tratamentos pertencentes ao grupo "a". O menor valor de atividade enzimática foi observado no tratamento com ABA (28,32 U μg proteína^{-1}), que se diferiu estatisticamente de todos os demais tratamentos.

A prolina é um ótimo antioxidante. Essa propriedade está relacionada ao potencial de ionização da amina (composto orgânico nitrogenado), capaz de extinguir o oxigênio singleto ($^1O_2$), que é uma das espécies reativas de oxigênio mais potente produzida durante a fotossíntese, e que, posteriormente, é convertido em radical superóxido (O_2^-) principalmente por reações de transferência de elétrons (redução), que é onde a SOD atua, dismutando esse superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio (O_2) (Matysik *et al.*, 2002; FRIDOVICH, 1986), o que explica em partes a não necessidade de uma maior atividade da SOD.

A menor atividade da SOD sob o tratamento com ABA pode se derivar do fato de que esse fitormônio modulou o sistema antioxidante ao reduzir a geração de espécies reativas de oxigênio, reduzindo a necessidade de uma produção ou ativação enzimática. Segundo Ingram e Bartels (1996) e Verslues *et al.* (2006), o ABA pode regular a expressão de vários conjuntos de genes responsivos ao estresse, incluindo aqueles envolvidos no acúmulo de osmólitos compatíveis e na síntese de proteínas LEA e de outras proteínas induzidas por estresses. Essas proteínas protetoras ajudam a manter o "status" hídrico celular e protegem outras proteínas/enzimas e organelas celulares do colapso sob estresse hídrico, por exemplo (Kishor *et al.*, 2005).

Para a enzima peroxidase, o comportamento não se repetiu, apesar de se observar maiores valores de atividade nos tratamentos com prolina e *Azospirillum brasilense*. Nesta avaliação, não houve diferença estatística na atividade da POD em nenhum dos tratamentos avaliados. A produção de radicais livres pode ser neutralizada por enzimas antioxidantes. Porém, quando esse estresse ocorre por muito tempo, ocorre uma "explosão oxidativa" (aumento das ERO's) que geralmente não é acompanhada na mesma proporção pelo incremento na atividade de algumas enzimas antioxidantes. Por apresentar alta especificidade por ascorbato, uma propriedade característica da POD é a sua instabilidade na ausência do mesmo, que pode ocorrer quando o estresse oxidativo se estende por um longo período. Sob condições onde a concentração de ascorbato é

menor que 20 uM, a atividade da POD é rapidamente perdida (Shigeoka *et al.*, 2002), o que explica, em síntese, a indiferente atividade nos tratamentos.

Ao avaliar o efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura da soja, Barcelos (2022) obteve resultados parecidos nos teores de POD para os tratamentos que receberam estresse hídrico e aplicações de prolina, que também não apresentaram diferença estatística, porém, foram verificados maiores valores de atividade enzimática.

A atividade da catalase apresentou resultados um pouco mais coerentes. O controle apresentou os maiores valores, diferindo-se dos demais, evidenciando um maior estresse oxidativo onde não havia nenhum tipo de tratamento. O *Bacillus spp.* A apresentou uma atividade intermediária, inferior aos tratamentos do grupo "b" e ao controle, mantendo uma atividade enzimática menor e consequentemente um nível de estresse oxidativo um pouco mais estável devido a alguns possíveis mecanismos de ação da cepa em questão, como produção de exopolissacarídeos (EPS) ao redor das raízes, auxinas, ABA e redução dos níveis de etileno em situações de estresse hídrico. Já para os tratamentos *Bacillus spp.* B, *Azospirillum brasilense* e prolina, não houve diferença estatística para a variável em análise. O tratamento com ABA apresentou novamente a menor atividade enzimática e se diferiu de todos os demais tratamentos. Esse resultado pode ser explicado, uma vez que o ácido abscísico (ABA) é reconhecido pela resposta a estresses abióticos, regulando processos como o fechamento estomático. Dessa forma, é possível que a modulação do hormônio influencie na tolerância de uma planta ao estresse hídrico (Park *et al.*, 2017).

Tabela 2 - Atividade da SOD (U μg proteína^{-1}); POD (μmol purpurogalina min^{-1} mg proteína^{-1}); CAT (μmol min^{-1} μg proteína^{-1}) de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp.* A; *Bacillus spp*. B; *Azospirillum brasilense;* Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas, MG, 2025

Trat.	Descrição	SOD	POD	CAT
		(U μg proteína^{-1})	(μmol purp. min^{-1} mg prot.$^{-1}$)	(μmol min-1 μg prot.-1)
1	Controle	41,88 a *	2,12 ns	108,16 a *
2	*Bacillus spp.* A	45,46 a	2,46	61,20 c
3	*Bacillus spp.* B	44,39 a	2,57	76,45 b
4	*Azospirillum brasilense*	45,55 a	2,78	85,86 b
5	Prolina	35,42 b	2,66	76,22 b
6	ABA	28,32 c	2,49	47,10 d
	CV (%)	6,25	12,22	7,04

* médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.
ns - Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A peroxidação lipídica (Tabela 3) apresentou redução significativa nos tratamentos com *Bacillus spp.* A, *Azospirillum brasilense* e prolina. Apesar de não terem diferidos entre si, diferiram-se do controle e dos tratamentos *Bacillus spp.* B e ABA, apresentando uma redução média da PL em 7,68% em relação aos mesmos, que também não diferiram entre si, mas que apresentaram os maiores valores de PL para os

tratamentos avaliados. Para os tratamentos que obtiveram os menores valores de PL tem-se que *Bacillus spp.* A reduziu a peroxidação lipídica em 7,08%, *Azospirillum brasilense* em 7,76% e prolina em 8,21%, ambos em relação ao controle. Essa redução pôde ser calculada com o uso de uma equação de variação percentual.

$$\text{Redução (\%)} = \frac{(\text{Controle} - \text{Tratamento})}{\text{Controle}} \times 100$$

A PL está associada ao estresse oxidativo e à degradação de membranas celulares. A redução na PL observada no tratamento com *Bacillus spp.* A (Tabela 3) pode estar diretamente atrelada a um de seus mecanismos de ação, a produção de exopolissacarídeos nas raízes. Algumas cepas de *Bacillus spp.* isoladas de ambientes com baixa atividade de água demonstram resposta positiva na produção de EPS quando submetidas a temperaturas elevadas (40 °C) e formação de biofilme, reforçando sua capacidade adaptativa a condições adversas (Braga, 2015).

Contudo, Alkahtani *et al.* (2021) explicam que o melhor desempenho com a inoculação de algumas cepas de *Bacillus spp*. deve-se ao aumento de fenóis e na maior atividade enzimática, que protegem proteínas e lipídios do estresse oxidativo, neutralizando espécies reativas de oxigênio, reduzindo a peroxidação lipídica e evitando que a membrana celular seja danificada.

O *Azospirillum brasilense* promove um maior desenvolvimento de raízes primárias, secundárias e terciárias, o que garante uma maior vantagem para plantas tratadas em um cenário de estresse por terem mais facilidade na captação de água no solo e consequentemente uma menor peroxidação lipídica (Molla *et al.*, 2001). Já a prolina é um aminoácido que pode aumentar sua concentração em até 100 vezes em uma condição de estresse (Verbruggen; Hermans, 2008), isso explica a redução significativa da PL, uma vez que ela atua contribuindo com a estabilidade de estruturas como membranas e proteínas (Hayat *et al.*, 2012; Mwenye *et al.*, 2016; Jaleel *et al.*, 2007).

Tabela 3: Peroxidação lipídica (PL) - (nmol TBARS g MF^{-1}) de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp.* A; *Bacillus spp*. B; *Azospirillum brasilense;* Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).
Patos de Minas, MG, 2025

Trat	Descrição	PL	
1	Controle	51,27 a	*
2	*Bacillus spp.* A	47,64 b	
3	*Bacillus spp.* B	51,05 a	
4	*Azospirillum brasilense*	47,29 b	
5	Prolina	47,06 b	
6	ABA	50,38 a	
	CV (%)	4,11	

* médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para os níveis de acúmulo de matéria seca nas raízes, caules, folhas e vagens (Tabela 4), os resultados obtidos foram não significativos perante a análise estatística a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey. Apesar do resultado estatístico, nota-se um pequeno incremento no acúmulo de matéria seca nas raízes, caules e folhas no tratamento com *Azospirillum brasilense*, um incremento esperado, considerando os mecanismos de ação da bactéria quanto à produção de fitormônios como auxinas e citocininas. Para o tratamento com *Bacillus spp.* A, mais uma vez, fica perceptível também um pequeno incremento na massa seca de caules e folhas, proveniente de mecanismos de ação da cepa em questão parecidos com os da bactéria citada anteriormente, mas, aqui, o destaque fica no maior valor de massa seca de vagens, um resultado bastante interessante quando se fala em translocação de massa para os grãos em situações de estresse.

Para culturas em geral, o acúmulo de massa de matéria seca pode ser uma característica importante, pois parte desta pode ser remobilizada para os grãos durante a sua formação, principalmente em períodos de estresses e, portanto, constitui-se num fator importante para determinar a produtividade final de grãos (Van Keuler; Wolf, 1986; Chaves *et al*., 2002).

Tabela 4: Massa seca de raiz, caule, folhas e vagens (MS, g planta$^{-1)}$ de plantas de soja submetidas aos tratamentos (Controle; *Bacillus spp.* A; *Bacillus spp*. B; *Azospirillum brasilense;* Prolina; ABA). Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).
Patos de Minas, MG, 2025

Trat	Descrição	MSR	MSC	MSF	MSV
1	Controle	7,23 ns	7,34 ns	11,22 ns	0,45 ns
2	*Bacillus spp.* A	6,14	8,48	13,95	0,75
3	*Bacillus spp.* B	5,44	7,22	11,87	0,54
4	*Azospirillum brasilense*	8,13	8,8	15,22	0,64
5	Prolina	6,02	6,72	11,48	0,54
6	ABA	5,56	7,32	12,68	0,69
	CV (%)	33,3	21,76	19,67	41,74

ns - Não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, a aplicação de ABA apresentou resultados significativos na redução de estresses abióticos, evidenciando uma menor atividade enzimática através da modulação do sistema antioxidante. A utilização de microrganismos e a aplicação de prolina como ativadores desse sistema, por sua vez, tem um potencial de proporcionar uma expressiva redução dos danos oxidativos causados durante um estresse hídrico, quando inseridos num conjunto de práticas integradas, e não apenas de forma isolada.

REFERÊNCIAS

ALKAHTANI, M.; HAFEZ, Y.; ATTIA, K.; AL-ATEEQ, T.; ALI, M. A.; HASANUZZAMAN, M.; ABDELAAL, K. Bacillus thuringiensis and silicon modulate antioxidant metabolism and improve the physiological traits to confer salt tolerance in lettuce. **Plants**, v. 10, n. 5, p. 1025, 2021.

BARCELOS, Gabriel Ferreira. **Efeito da utilização de prolina na tolerância ao estresse hídrico na cultura de soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.

BOR, M.F.; ÖZDEMIR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritime* L. **Plant Science**, Amsterdam, v. 164, p. 77-84, 2003.

BRAGA, A. P. A. **Rizobactérias nativas da Caatinga com potencial para redução dos efeitos da seca em soja (Glycine maxL.)**. 2015. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CASTIGLIONI, P.; WARNER, D.; BENSEN, R. J.; ANSTROM, D. C.; HARRISON, J.; STOECKER, M.; ABAD, M.; KUMAR, G.; SALVADOR, S.; D'ORDINE, R.; NAVARRO, S.; BACK, S.; FERNANDES, M.; TARGOLLI, J.; DASGUPTA, S.; BONIN, C.; LUETHY, M. H.; HEARD, J. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. **Plant Physiology**, 147(2), 446-455. 2008.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J. P.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 907-916, 2002.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**. v. 12 – safra 2024/25, nº 12 - Décimo segundo levantamento. Setembro, 2025.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

FLUMIGNAN, D. L., ALMEIDA, A. C. S., GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na Região Sul de Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 34).

FRIDOVICH, I. Superoxide dismutases. *In*: **Advances in enzymology and related areas of molecular biology**. v. 58, 1986, p. 61-97.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 5, p. 9643-9684, 2013.

HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments. **Plant Signaling & Behavior**, [*S. l.*], v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives in Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 125, p. 189-198, 1968.

INGRAM, J.; BARTELS, D. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 47:377-403, 1996.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, p. 100-105, 2009.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulation's, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in Catharanthus roseus exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.59, p. 150-157, 2007.

KISHOR, P. B. K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; LAXMI, P. S.; NAIDU, K. R.; RAO, K. R. S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, 88:424-438, 2005.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes,1928.

MATYSIK, J.; ALIA, BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science**, Bangalore, v. 82, p. 525-532, 2002.

MOLLA, A. H.; SHAMSUDDIN, Z. H.; SAUD, H. M. Mechanism of root growth and promotion of nodulation in vegetable soybean by Azospirillum Brasilense. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 13-14, p. 2177-2187, 2001.

MUNEMASA, S. et al. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture**. Current Opinion in Plant Biology**, [*S. l.*], v. 28, p. 154-162, 2015.

MWENYE, O. J.; VAN RENSBURG, L.; VAN BILJON, A.; MERWE, R. V. D. The role of proline and root traits on selection for drought-stress tolerance in soybeans: a review. **South African Journal of Plant and Soil**, [*S. l.*], v. 33, n. 4, p. 245-256, 2016.

NEPOMUCENO, A. L. *et al*. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 23, n. 1, p. 12-18, 2001.

OLIVEIRA, L. A.; MACIEL, S. A.; QUEIROZ, L. L. Avaliação do índice padronizado de estiagem pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patos de Minas - MG. **ABCLIMA**. p.1848-1859. 2014.

PARK, Y-G. *et al*. Bacillus aryabhattai SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, e0173203, 2017.

PEIXOTO, H. P. P.; CAMBRAIB, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, A. M.; Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO R. O. P. Entendimento sobre relações hídricas. Simpósio internacional sobre estresse ambiental: o milho em perspectiva, Belo Horizonte, MG. **Anais**... EMBRAPA/CNPMS, 1(449), 131-146. 1995.

SHEWRY, P. R.; LUCAS, J. A. Plant proteins that confer resistance to pests and pathogens. **Advances in Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology**, v. 26, p. 135-192, 1997.

SHIGEOKA, S.; ISHIKAWA, T.; TAMOI, M.; MIYAGAWA, Y.; TAKEDA, T.; YABUTA, Y. & YOSHIMURA, K. Regulation and function of ascorbate peroxidase soenzimes. **Journal of Experimental Botany**, 53 (372): 1305-1319, 2002.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Molecular responses to drought stress. *In*: SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. (Ed.). **Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants**. Austin: Landes Company. 170 p. 1999.

SOARES, Luís Henrique. **Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, Amsterdam, v.153, p.65-72, 2000.
VAN KEULER, H.; WOLF, J. **Modelling of agricultural production: weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986, 478 p.

Verbruggen N, Hermans C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**. 2008 Nov. 35(4):753-9. DOI 10.1007/s00726-008-0061-6. Epub 2008 Apr 1. PMID: 18379856.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, 45:523-539, 2006.

WIT, P. J. de. How plants recognize pathogens and defend themselves. **Cellular and Molecular Life Science**, 2007.

ZHANG, H.; KIM, M. S.; SUN, Y.; DOWD, S. E.; SHI, H.; PARE, P. W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporter HKT1. **Molecular PlantMicrobe Interactions**, Saint Paul, v. 21, n. 6, p. 737-744, 2008.