

Adequação de doses de aminoácidos no tratamento de sementes de soja

Adequacy of doses of amino acids in the soybean seed treatment

Walquíria Fernanda Teixeira¹; Evandro Binotto Fagan²; Luís Henrique Soares²; Leidyenne Godinho Silva³; Ellen Mayara Alves Cabral¹; Durval Dourado Neto¹

¹ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP.
E-mail: walquíria_bio@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

³ Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Resumo: Os aminoácidos podem ser uma ferramenta viável para a melhoria do desenvolvimento inicial de características bioquímicas e produtividade da soja, uma cultura de elevada importância mundial. Portanto, este trabalho teve por objetivo adequar doses de glutamato, cisteína, fenilalanina e glicina no tratamento de sementes de soja. Foram avaliados a emergência, o índice de velocidade de emergência, o acúmulo de massa de matéria seca, além do efeito dos aminoácidos sobre o metabolismo oxidativo das plantas. A aplicação de glutamato promoveu o aumento do índice de velocidade de emergência, metabolismo antioxidante e produtividade das plantas, com incremento de até 30% no índice de velocidade de emergência na dose de 13,1 mg kg⁻¹ [semente], em relação ao controle. Fenilalanina promoveu incremento de massa de matéria seca e produtividade e glicina elevou os valores de todos os parâmetros avaliados e reduziu o estresse das plantas. Com relação à produtividade, todos os tratamentos de sementes repercutiram no incremento dessa variável em relação ao controle, sendo que o tratamento com fenilalanina na dose de 3 mg kg⁻¹ de semente proporcionou maior produtividade, com acréscimo de 72% de produtividade, em relação ao controle. Portanto, conclui-se que as melhores doses dos aminoácidos são: glutamato - 12,37 mg kg⁻¹ [semente]; fenilalanina 3,09 mg kg⁻¹ [semente]; cisteína - 12,37 mg kg⁻¹ [semente] e glicina - 9,28 mg kg⁻¹ [semente].

Palavras-chave: *Glycine max.* Glutamato. Cisteína. Fenilalanina. Glicina.

Abstract: Amino acids can be a viable tool for improving initial development of biochemical characteristics and yield of soybeans, a crop of global importance. Therefore, the objective of this work was to adjust doses of glutamate, cysteine, phenylalanine and glycine in the in the treatment of soybean seeds. The emergence, emergence speed index, accumulation of dry matter mass, and the effect of amino acids on the oxidative metabolism of plants were evaluated. The application of glutamate increased the rate of emergence speed, antioxidant metabolism and plant productivity, with an increase of up to 30% in the rate of emergency at a dose of 13.1 mg kg⁻¹ [seed], in relation to control. Phenylalanine promoted increased dry matter mass and yield and glycine increased the values of all parameters evaluated and reduced plant stress. With regard to productivity, all seed treatments had an effect on the increase of this variable in relation to the control, and the treatment with phenylalanine at the dose of 3 mg kg⁻¹ of seed provided higher productivity, with an increase of 72% in productivity, related to the control. Therefore, it is concluded that the best doses of amino acids are: glutamate - 12.37 mg

kg⁻¹ [seed]; phenylalanine - 3.09 mg kg⁻¹ [seed]; cysteine - 12.37 mg kg⁻¹ [seed] and glycine - 9.28 mg kg⁻¹ [seed].

Keywords: *Glycine max*. Glutamate. Cysteine. Phenylalanine. Glycine.

Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a Fabaceae de maior importância econômica no mundo, sendo a Argentina, os Estados Unidos e o Brasil os líderes mundiais em produção. Na safra 2017/2018, a produção mundial do grão chegou a 337 milhões de toneladas, sendo o Brasil o segundo maior produtor com 117 milhões de toneladas (USDA, 2018). A USDA ainda prevê aumento na produção da *commodity* na safra 2018/2019, mas a demanda por óleo e proteína do grão ainda será maior que a produção mundial.

Na tentativa de suprir essa demanda, têm-se desenvolvido cada vez mais tecnologias buscando o aumento na produtividade, como o uso de bioestimulantes. Os bioestimulantes são descritos por muitos autores como substâncias que podem ser naturais ou sintéticas, oriundas de mistura de dois ou mais biorreguladores vegetais ou destes com outras substâncias como aminoácidos, nutrientes, algas marinhas, hormônios e vitaminas que podem ser aplicados diretamente nas plantas ou em tratamento de sementes (SANTOS *et al.*, 2013). O uso dessas substâncias tem sido crescente na agricultura por apresentar resultados como aumento da absorção de água e nutrientes pelas plantas, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos e aumento no desenvolvimento do sistema radicular (SILVA *et al.*, 2008; SANTOS, 2017).

Entre os bioestimulantes, os aminoácidos podem ser caracterizados como moléculas orgânicas constituídas por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, ainda possuem um radical orgânico ligado a sua estrutura, sendo essa característica responsável por diferencia-los (BUCHANAN *et al.*, 2000). De acordo com Taiz *et al.* (2017), os aminoácidos são os constituintes básicos das proteínas, macromoléculas que desempenham papéis específicos nas plantas. Além disto, essas moléculas são responsáveis pelo transporte de nutrientes na planta, principalmente o nitrogênio e o enxofre, e podem atuar como agentes redutores de estresses e precursores hormonais.

Diversos aminoácidos são encontrados no solo, entretanto, a meia vida deles é muito curta e necessita de um transportador nas raízes para que sejam absorvidos (JAMTGARD; NASHOLM; AND HUSS-DANEL, 2010). Contudo, há diversos trabalhos mostrando a eficiência da absorção dos aminoácidos pelas plantas (PERSSON *et al.*, 2006; GIOSEFFI; NEERGAARD; SCHJOERRING, 2012), o que suporta a aplicação dessas moléculas via tratamento de sementes, podendo, então, refletir no melhor desenvolvimento inicial da planta. Porém, a maioria desses trabalhos utiliza produtos compostos, o que cria uma lacuna quanto ao efeito e à dose de aminoácidos nas plantas.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho foi adequar a dose de aminoácidos glutamato, cisteína, fenilalanina e glicina no tratamento de sementes de soja, além de avaliar o efeito destes no metabolismo oxidativo, no crescimento e na produtividade.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área experimental da Escola Agrotécnica Afonso Queiroz, Campus II do Unipam (Centro Universitário de Patos de Minas), município de Patos de Minas (MG) (18°34' de latitude Sul, 46°31' de longitude Oeste e 815 m de altitude). O solo é classificado como Latossolo Vermelho e apresenta um clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (SOUZA *et al.*, 2005), sendo a temperatura média anual igual a 21,1 °C; a máxima anual 27,8 °C; e a mínima anual 16,3 °C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG), localizada no município de Patos de Minas (MG).

Inicialmente, foram instalados pré-testes de emergência visando observar quais as melhores doses e tratamentos a serem aplicados no experimento. Esses pré-testes foram conduzidos em bandejas contendo, como substrato, areia lavada. Nesse experimento, foram testados os aminoácidos glutamato, arginina, cisteína, fenilalanina, glicina, glutamina, metionina e triptofano, nas doses de 100, 200, 300, 400 e 500 mg ha⁻¹.

Após a obtenção dos melhores tratamentos e das melhores doses a serem aplicadas, foi realizada a instalação do experimento em campo. Este foi conduzido em canteiros, utilizando soja (*Glycine max* L. Merrill), variedade cultivada SYN 1279 RR, de crescimento indeterminado e ciclo precoce. A semeadura foi realizada em canteiros de 1 m de largura, com espaçamento de 0,2 m entre linhas, sendo semeadas 50 sementes por linha.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, constituído pela aplicação de doses de aminoácidos no tratamento de sementes, sendo utilizadas quatro repetições para cada tratamento (Tabela 1). Foram utilizados dois tratamentos controles: o primeiro deles correspondeu à utilização de sementes sem nenhum tratamento e outro utilizou tratamento convencional com fungicida e inseticida (Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato Metílico), na dose de dose de 1 mL kg⁻¹ [sementes]. Os aminoácidos foram diluídos em água destilada e aplicados sobre as sementes na dose de 4 mL kg⁻¹ [semente].

Tabela 1. Descrição dos aminoácidos e das doses utilizadas. Escola Agrotécnica Afonso Queiroz (UNIPAM). Patos de Minas, MG. 2015.

Tratamento ¹	Dose		
	mg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹ [sementes]	μmol L ⁻¹
Controle	0	0	0
	300	9,28	5250
	400	12,37	10500
	500	15,46	15768
	600	18,55	21018
Ácido Glutâmico	700	21,65	26269
	100	3,09	6376
	200	6,18	12751
	300	9,28	19148
	400	12,37	25524
Cisteína			

	500	15,46	31899
	100	3,09	4676
	200	6,18	9353
Fenilalanina	300	9,28	14044
	400	12,37	18720
	500	15,46	23397
	100	3,09	10290
	200	6,18	20581
Glicina	300	9,28	30904
	400	12,37	41195
	500	15,46	51485
Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato Metílico			

¹ As fontes utilizadas correspondem aos aminoácidos puros marca Sigma Aldrich®, com isomeria óptica levogiro (L- aminoácido)

As avaliações iniciaram logo após a semeadura, sendo registrado, diariamente, o número de plântulas emergidas, sendo adotada como critério de emergência a emissão dos cotilédones acima do solo. O índice de velocidade de emergência foi calculado de acordo com equação proposta Maguire (1962).

As coletas para as determinações bioquímicas foram realizadas quando as plantas se encontravam no estágio V₆ (40 DAS). Foram coletadas folhas, completamente expandidas do terço médio das plantas, as quais foram transportadas em caixas de isopor. O material coletado foi utilizado para determinação da atividade das enzimas urease (U), catalase (CAT), peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), quantificação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), proteínas e peroxidação lipídica (PL).

A determinação da atividade da urease foi realizada em material fresco de acordo com a metodologia adaptada de Hogan, Swift e Done (1983). Já a determinação do N-NH₄⁺ foi realizada segundo a metodologia proposta por Mc Cullough (1967).

Para a obtenção do material vegetal, as amostras de folhas foram coletadas às 9 horas, colocadas em sacos plásticos e envolvidas em papel alumínio. Em seguida, foram congeladas em nitrogênio líquido, a fim de paralisar as reações, e levadas para o laboratório, onde foram armazenadas em freezer a -20°C. A extração do material vegetal foi realizada por meio da trituração de folhas coletadas, com auxílio de nitrogênio líquido. Ao final, as amostras foram armazenadas a -20°C para posterior determinação de proteína, catalase, peroxidase e superóxido dismutase (KAR; MISHRA, 1976).

A determinação do teor de proteína na folha foi realizada seguindo a metodologia descrita por Bradford (1976). Os dados finais foram expressos em mg g⁻¹ de matéria fresca e foram utilizados para os cálculos da atividade das enzimas (catalase, peroxidase e superóxido dismutase). A enzima superóxido dismutase foi avaliada segundo a metodologia de Beauchamp e Fridovich (1971). Para a

determinação da atividade da catalase (CAT), utilizou-se metodologia proposta por Peixoto *et al.* (1999).

A atividade da peroxidase (POD) foi determinada de acordo com as condições citadas no trabalho de Teisseire e Guy (2000). O teor de peróxido de hidrogênio foi determinado por meio da reação com iodeto de potássio (KI), segundo Alexieva *et al.* (2001). Já a quantificação do teor de peroxidação lipídica foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968). A determinação do aminoácido prolina foi realizada de acordo com o método proposto por Bates *et al.* (1973).

As determinações de massa de matéria seca de raiz, caule, folhas e vagens foram realizadas aos 25 (estágio V₄) e 40 dias após a semeadura (estágio V₆). Foram utilizadas três plantas por repetição, em que cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel, e a secagem foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 65 °C, até massa constante.

Para determinar o índice Spad na folha, foi utilizado medidor portátil de clorofila (clorofilômetro Minolta, modelo Spad-502), que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la. Essa análise foi realizada aos 40 DAS (V₆).

Para a produtividade, as plantas foram colhidas manualmente considerando-se três plantas por repetição. Os grãos colhidos de cada planta foram pesados em balança digital com precisão de 0,01 gramas. Foi determinado o teor de água dos grãos e efetuado o cálculo da produtividade (produção por unidade de área) com o teor de água corrigido para 13% (0,13g g⁻¹).

Os dados obtidos no experimento foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade por meio dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente, ambos a 5% de significância. Foi efetuada a análise da variância e, quando significativa, foi aplicada a análise de regressão linear e polinomial, sendo usados apenas modelos significativos, ambos ao nível de 5% de significância. Para comparar os resultados médios entre os aminoácidos, foi realizado o teste de Tukey a 5% de significância. Posteriormente, foi realizada análise multivariada por meio da análise de Componentes Principais. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software estatístico SAS 9.3 (SAS Institute, 2011).

Resultados e Discussão

A Tabela 2 mostra os resultados da análise de regressão referentes à aplicação de glutamato, via sementes. Obtiveram-se ajustes significativos, utilizando modelos polinomiais de segundo grau, para as seguintes variáveis: IVE, E, MSR, SPAD, PTS, CAT, SOD, H₂O₂, PL, PROL, U e P.

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas (ao nível de significância de 0,05) para índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (E), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa de matéria seca total (MST), aos 25 e 40 DAS, respectivamente, proteína total solúvel em folhas (PTS), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (PL), urease (U) e produtividade de grãos de soja (P) em plantas de soja submetidas ao tratamento de sementes com glutamato.

Variável independente (x)	p	Equação	R ²	X max ¹
IVE	< 0,0001	y = -0,0108x ² + 0,2839x + 6,3922	0,99	13,1
E	0,0003	y = -0,088x ² + 2,0546x + 68,969	0,81	11,7
MSR	0,0515	-	-	-
MSPA	0,0740	-	-	-
MST	0,0621	-	-	-
MSR*	0,0039	y = 0,00002x ² + 0,0003x + 0,0581	0,61	7,5
MSPA*	0,1040	-	-	-
MST*	0,0621	-	-	-
SPAD	< 0,0001	y = -0,0191x ² + 0,3578x + 30,935	0,73	9,4
PTS	< 0,0001	y = -0,0098x ² + 0,2207x + 5,0055	0,81	11,3
CAT	< 0,0001	y = -0,0023x ² + 0,0114x + 1,2265	0,61	2,5
SOD	< 0,0001	y = -0,0698x ² + 1,7661x + 7,6378	0,93	12,7
POD	0,9446	-	-	-
H ₂ O ₂	< 0,0001	y = -0,0195x ² + 0,6554x + 19,474	0,91	16,8
PL	0,0096	y = -0,0587x ² + 1,5252x + 59,08	0,71	13,0
PROL	0,0830	-	-	-
U	< 0,0001	y = -0,0115x ² + 0,258x + 5,0861	0,71	11,2
P	< 0,0001	y = -0,0071x ² + 0,2026x + 3,4253	0,75	14,3

¹X max= Dose de glutamato (mg kg⁻¹ [semente]) que proporcionou valor máximo da variável analisada.

* Referente à segunda coleta de massa de matéria seca (40 DAS).

A aplicação de glutamato promoveu incrementos nas variáveis analisadas, no entanto, não foi possível observar um padrão de dose para cada variável analisada, sendo que as doses entre 7,5 e 14,3 foram as que mais promoveram efeitos positivos nas plantas.

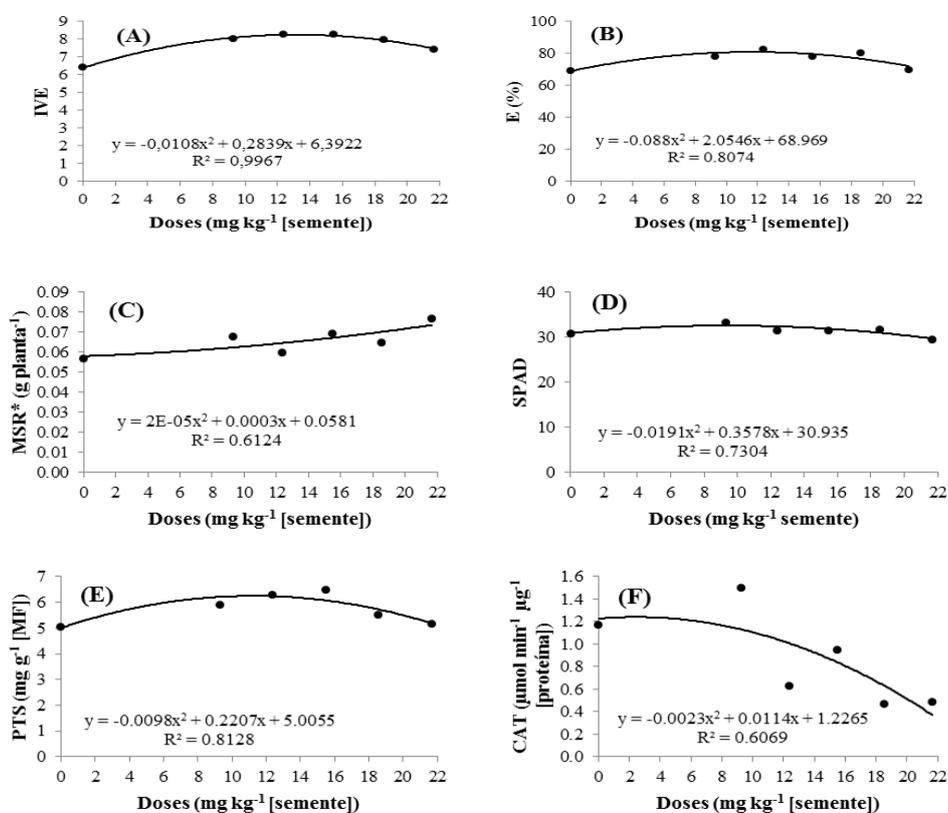
O índice de velocidade de emergência (IVE) foi afetado pelo incremento das doses de glutamato, chegando a 8,26 na dose de 13,1 mg kg⁻¹ [semente], o que representou incremento de 30% em relação ao controle (Figura 1A). A emergência também foi beneficiada pela aplicação desse aminoácido, sendo que a aplicação de 11,7 mg kg⁻¹ [semente] promoveu acréscimo de 17% na emergência em comparação às sementes sem nenhum tratamento (Figura 1B).

Por outro lado, a aplicação de glutamato não afetou a massa de matéria seca das plantas, exceto a MSR aos 40 DAS, em que a dose 7,5 mg kg⁻¹ [semente] já foi suficiente para promover aumento da massa desse órgão (Figura 1C).

Com relação ao índice SPAD, a aplicação de glutamato na dose de 9,4 mg kg⁻¹ [semente] aumentou em 5% esse índice, em relação ao controle (Figura 1D). O acúmulo de proteína total solúvel em folhas também foi beneficiado pela aplicação desse aminoácido, especialmente na dose de 11,3 mg kg⁻¹ [semente] (Figura 1E).

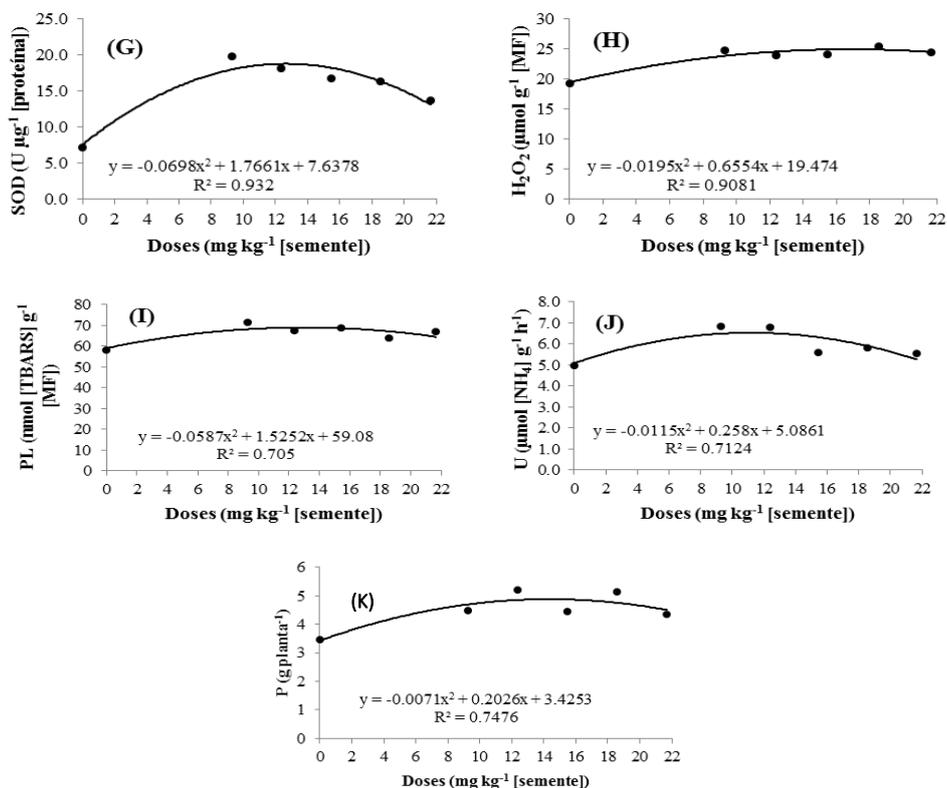
As enzimas CAT e SOD, responsáveis pela regulação dos radicais livres nas plantas, apresentaram comportamentos diferentes com a aplicação de glutamato. O uso desse aminoácido promoveu o decréscimo na atividade de CAT e o aumento da atividade da SOD, sendo que a dose de 12,7 mg kg⁻¹ [semente] promoveu maior atividade da SOD, 146% maior que o controle (Figura 1G). Esse aumento da atividade da enzima SOD não foi suficiente para a redução do estresse da planta, avaliado por meio da peroxidação lipídica, pois, em uma dose próxima a essa (13 mg kg⁻¹ [semente]), foi evidenciado o maior valor de peroxidação lipídica nas plantas (Figura 1I).

Figura 1. Efeito da aplicação de doses de glutamato no tratamento de sementes de soja: A - índice de velocidade de emergência (IVE), B - emergência (E), C - massa de matéria seca de raiz aos 40 DAS (MSR), D - valor SPAD (SPAD), E - teor de proteína total solúvel nas folhas (PTS), F - atividade das enzimas catalase (CAT) e G - superóxido dismutase (SOD), H - teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), I - peroxidação lipídica (PL), J - atividade da enzima urease (U) e K - produtividade (P). Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.



continua...

conclusão...



A enzima SOD promove a dismutação do radical superóxido dismutase em H_2O_2 , no entanto, não foi evidenciado o incremento desse radical a partir do aumento da atividade da enzima, mostrando que o H_2O_2 pode ter sido produzido por outras vias. A maior produção desse radical foi evidenciada somente em doses mais elevadas de glutamato (16,8 mg kg^{-1} [semente]). Esse incremento de produção representou 28% em relação ao controle (Figura 1H).

A enzima urease, responsável pela transformação de ureia em amônia, que será fonte de nitrogênio assimilada pela planta, foi afetada de forma positiva pela aplicação de glutamato (Figura 1J). A dose de 11,2 mg kg^{-1} [semente] foi responsável pelo aumento de 28% na atividade dessa enzima em relação às plantas que não receberam tratamento, via sementes.

Por fim, a dose de 2,9 mg [glutamato] kg^{-1} [semente] promoveu o incremento da produtividade em 66% em relação ao tratamento controle (Figura 1K).

As variáveis IVE, CAT, POD, H_2O_2 , PL e P, oriundas de plantas submetidas à aplicação de cisteína, apresentaram ajustes significativos a partir de análise de regressão (Tabela 3).

A aplicação de 9,4 mg [cisteína] kg^{-1} [semente] incrementou em 25% o índice de velocidade de emergência, em relação ao controle (Figura 2A). As variáveis CAT, POD, H_2O_2 e PL apresentaram acréscimo linear quando submetidas ao aumento de doses de cisteína (Figuras 2B, C, D e E, respectivamente), ou seja, a atividade das enzimas CAT e POD aumenta a partir do incremento de doses de cisteína, no entanto, essa

característica não é suficiente para reduzir os radicais livres (H_2O_2) e, conseqüentemente, leva ao incremento da PL.

Entretanto, a elevação da produção de radicais livres e da produção lipídica, não afetou a produtividade das plantas, pois a aplicação de 13,8 mg [cisteína] kg^{-1} [semente] promoveu o acréscimo de 56% na produtividade, em relação às plantas que não receberam nenhum tratamento (Figura 2F).

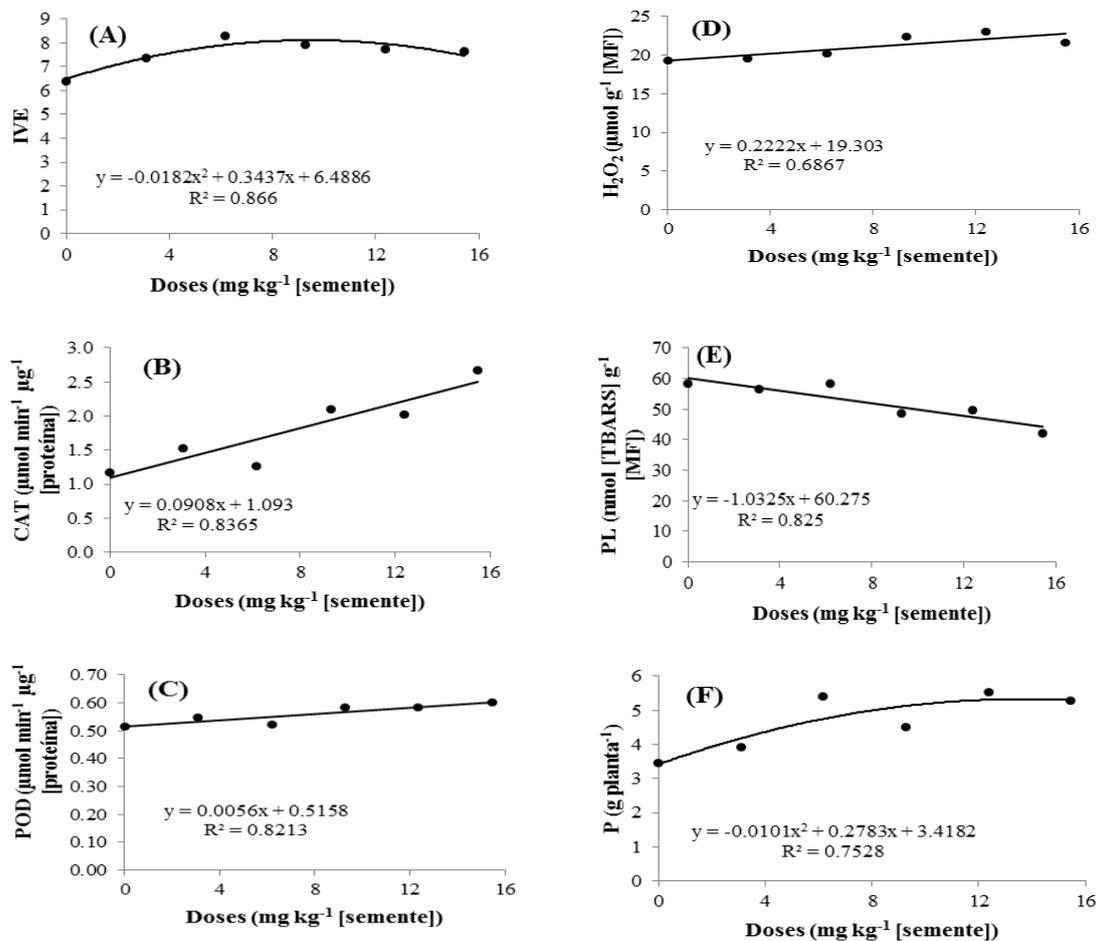
Tabela 3. Equações de regressão ajustadas (ao nível de significância de 0,05) para índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (E), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa de matéria seca total (MST), aos 25 e 40 dias após a semeadura (DAS), respectivamente, proteína total solúvel em folhas (PTS), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), peroxidação lipídica (PL), teor de prolina (PROL), urease (U) e produtividade (P) em plantas de soja submetidas ao tratamento de sementes com cisteína.

Variável independente (x)	p	Equação	R ²	X _{max} ¹
IVE	0,0201	$y = -0,0182x^2 + 0,3437x + 6,4886$	0,87	9,4
E	0,1601	-	-	-
MSR	0,1233	-	-	-
MSPA	0,6185	-	-	-
MST	0,6470	-	-	-
MSR*	0,4783	-	-	-
MSPA*	0,1323	-	-	-
MST*	0,3166	-	-	-
SPAD	0,1376	-	-	-
PTS	0,7844	-	-	-
CAT	0,0008	$y = 0,0908x + 1,093$	0,84	-
SOD	0,3525	-	-	-
POD	0,0072	$y = 0,0056x + 0,5158$	0,82	-
H_2O_2	0,0002	$y = 0,2222x + 19,303$	0,69	-
PL	<0,0001	$y = -1,0325x + 60,275$	0,83	-
PROL	0,0751	-	-	-
U	0,1341	-	-	-
P	<0,0001	$y = -0,0101x^2 + 0,2783x + 3,4182$	0,75	13,8

¹X max= Dose de cisteína (mg kg^{-1} [semente]) que proporcionou valor máximo da variável analisada.

* Referente à segunda coleta de massa seca (40 DAS)

Figura 2. Efeito da aplicação de doses de cisteína no tratamento de sementes de soja: A - índice de velocidade de emergência (IVE), B - emergência (E), C - massa de matéria seca de raiz aos 40 DAS (MSR), D - valor SPAD (SPAD), E - teor de proteína total solúvel nas folhas (PTS), F - atividade das enzimas catalase (CAT) e G - superóxido dismutase (SOD), H - teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), I - peroxidação lipídica (PL), J - atividade da enzima urease (U) e K - produtividade (P). Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.



Os dados oriundos da aplicação de fenilalanina apresentaram ajustes de regressão significativos para as variáveis IVE, E, MSR, MSPA, MST, SOD, U e P (Tabela 4).

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas (ao nível de significância de 0,05) para o índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (E), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa de matéria seca total (MST), aos 25 e 40 dias após a semeadura (DAS), respectivamente, proteína total solúvel em folhas (PTS), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (PL), teor de prolina (PROL), urease (U) e produtividade (P) em plantas de soja submetidas ao tratamento de sementes com fenilalanina.

Variável	<i>p</i>	Equação	R ²	X max ¹
IVE	0,0001	y = 0,1255x + 6,9658	0,78	-
E	0,0033	y = 0,5819x + 72,168	0,76	-
MSR	0,0425	y = -0,0002x ² + 0,0043x + 0,0533	0,48	10,8
MSPA	0,0010	y = -0,0006x ² + 0,0151x + 0,0841	0,70	12,6
MST	0,0008	y = -0,0009x ² + 0,0198x + 0,1629	0,67	11,0
MSR*	0,0166	y = -0,0002x ² + 0,004x + 0,0559	0,90	10,0
MSPA*	0,0001	y = -0,0007x ² + 0,0112x + 0,1044	0,78	8,0
MST*	<0,0001	y = -0,0009x ² + 0,0146x + 0,1861	0,92	8,1
SPAD	0,4029	-	-	-
PTS	0,1590	-	-	-
CAT	0,0644	-	-	-
SOD	<0,0001	y = -0,1624x ² + 2,9838x + 6,3703	0,84	9,2
POD	0,8600	-	-	-
H ₂ O ₂	0,0546	-	-	-
PL	0,0530	-	-	-
PROL	0,0760	-	-	-
U	<0,0001	y = 0,3875x + 4,7625	0,84	-
P	0,0101	y = 5,8449 - 0,1191x - 2,3688e ^{-x}	0,85	2,9

¹X max= Dose de fenilalanina (mg kg⁻¹ semente) que proporcionou valor máximo da variável analisada.

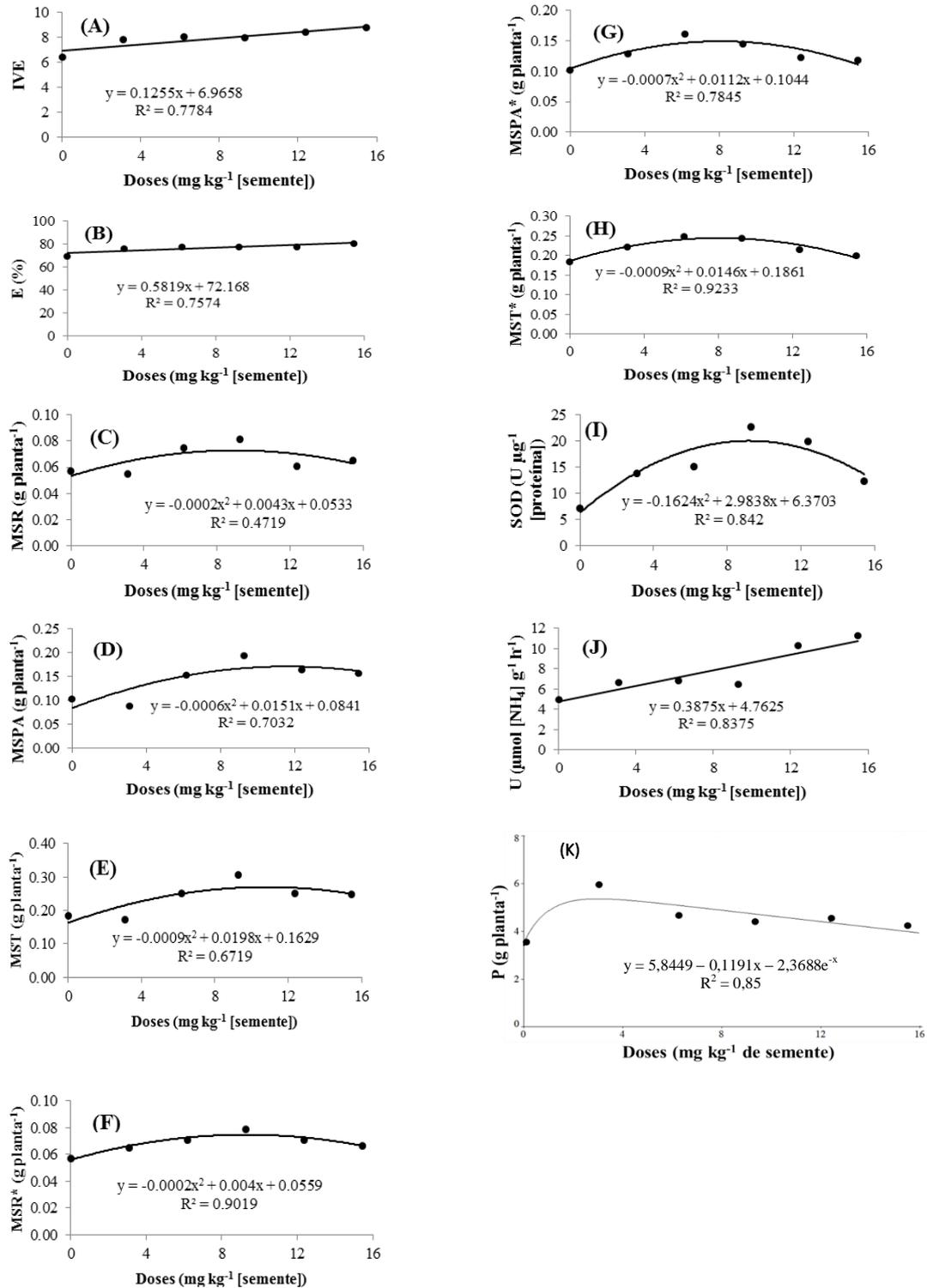
* Referente à segunda coleta de massa seca (40 DAS)

A aplicação de doses de fenilalanina via sementes incrementou de forma linear o IVE e a E das plantas (Figuras 3A e 3B, respectivamente).

O acúmulo de massa em diferentes órgãos da planta também foi afetado de forma positiva pela aplicação desse aminoácido, sendo esse efeito observado nas duas avaliações (aos 25 e 40 DAS). Para a MSR, as doses de 10,8 e 10 mg [fenilalanina] kg⁻¹ [semente], aos 25 e 40 DAS, respectivamente, promoveram maior acúmulo dessa variável, o que representou acréscimo de 43 e 36% (Figuras 3C e F, respectivamente).

A MSPA foi incrementada com uma dose maior de fenilalanina (12,6 mg kg⁻¹ [semente]), aos 25 DAS (Figura 3D), no entanto, aos 40 DAS, apenas 8 mg de fenilalanina kg⁻¹ semente, já foram suficientes para promover maior acúmulo de MSPA (Figura 3G).

Figura 3. Efeito da aplicação de doses de fenilalanina via tratamento sementes de soja nas variáveis: A - índice de velocidade de emergência (IVE), B - emergência (E), C - massa de matéria seca de raiz aos 25 DAS (MSR), D - parte aérea aos 25 DAS (MSPA) e E - total aos 25 DAS (MST), F - massa de matéria seca de raiz aos 40 DAS (MSR*), G - parte aérea aos 40 DAS (MSPA*) e H - total aos 40 DAS (MST*), I - atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), J - atividade da enzima urease (U) e K - produtividade (P). Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.



O maior acréscimo da enzima SOD foi observado na dose de 9,2 mg [fenilalanina]kg⁻¹ [semente], o que representou incremento de 215% em relação ao controle (Figura 3I). Por outro lado, a enzima urease apresentou aumento linear da atividade, a partir do incremento das doses de fenilalanina (Figura 3J).

Com relação à produtividade, apenas uma pequena dose de fenilalanina (2,9 mg kg⁻¹ [semente]) já foi suficiente para incrementar a produtividade (Figura 3K).

Ajustes significativos foram obtidos para as variáveis IVE, E, MSR, MSPA, MST, SPAD, PTS, SOD H₂O₂, PL, PROL, U e P, quando as plantas foram submetidas à aplicação via sementes de doses de glicina (Tabela 5).

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas (ao nível de significância de 0,05) para o índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (E), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa de matéria seca total (MST), aos 25 e 40 DAS, respectivamente, proteína total solúvel em folhas (PTS), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (PL), teor de prolina (PROL), urease (U) e produtividade (P) em plantas de soja submetidas ao tratamento de sementes com glicina.

Variável	<i>p</i>	Equação	R ²	X max ¹
IVE	0,0041	y = -0,0145x ² + 0,3069x + 6,635	0,81	10,6
E	<0,0001	y = -0,0392x ² + 1,0499x + 69,322	0,78	13,4
MSR	0,8892	-	-	-
MSPA	0,5485	-	-	-
MST	0,7407	-	-	-
MSR*	0,0212	y = -0,0001x ² + 0,0028x + 0,0544	0,63	14,0
MSPA*	0,0010	y = -0,0006x ² + 0,0151x + 0,0841	0,70	12,6
MST*	0,0008	y = -0,0009x ² + 0,0198x + 0,1629	0,67	11,0
SPAD	0,0071	y = -0,0731x ² + 1,2203x + 29,8	0,72	8,3
PTS	0,0166	y = -0,032x ² + 0,5602x + 5,0239	0,92	8,8
CAT	0,0510	-	-	-
SOD	<0,0001	y = -0,1861x ² + 3,5979x + 6,7095	0,71	9,7
POD	0,0572	-	-	-
H ₂ O ₂	<0,0001	y = -0,0519x ² + 0,4118x + 20,87	0,71	4,0
PL	0,0020	y = 0,1336x ² - 2,5764x + 54,36	0,53	9,7
PROL	<0,0001	y = 0,0027x ² - 0,0533x + 0,8498	0,76	9,9
U	<0,0001	y = -0,0888x ² + 1,7439x + 4,3147	0,84	9,8
P	<0,0001	y = -0,0208x ² + 0,4013x + 3,5614	0,88	9,6

¹X max= Dose de glicina (mg kg⁻¹ [semente]) que proporcionou valor máximo da variável analisada.

* Referente à segunda coleta de massa seca (40 DAS)

O IVE apresentou maior valor com a aplicação de 10,6 mg [glicina] kg⁻¹ [semente], o que repercutiu no aumento de 24%, em comparação ao controle (Figura 4A). Já a E apresentou maiores valores a partir da aplicação 13,4 mg [glicina] kg⁻¹ [semente], com incremento de 10%, em relação ao controle (Figura 4B).

Não foi observado efeito significativo da aplicação de glicina sobre o acúmulo de massa de matéria seca aos 25 DAS, no entanto, aos 40 DAS, houve efeito significativo. A MSPA e a MST apresentaram maior acúmulo nas doses de 12,6 e 11 mg [glicina] kg⁻¹ [semente], respectivamente (Figuras 4C e D). Essas doses promoveram acréscimos de 112 e 67%, para as variáveis MSPA e MST, respectivamente.

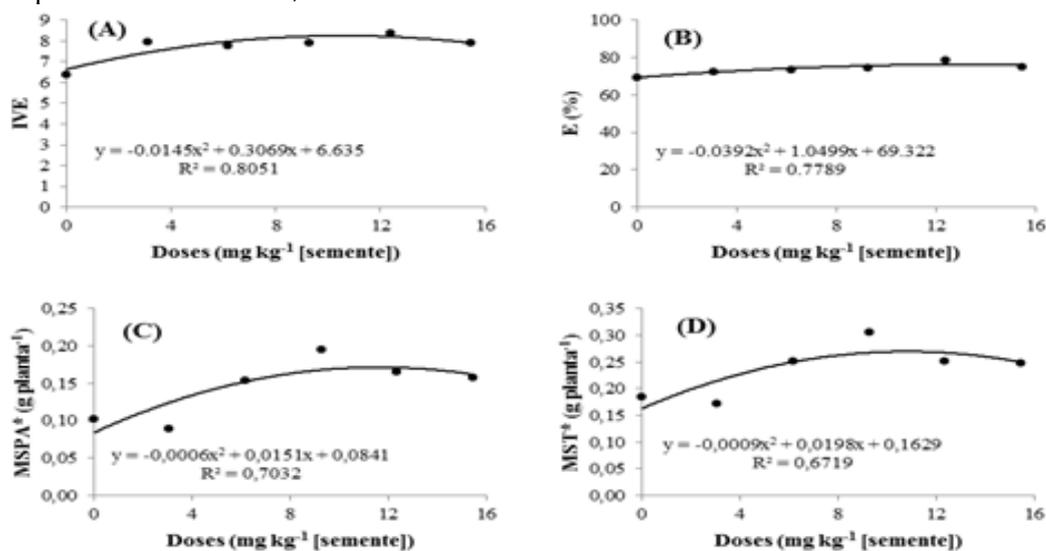
Doses de 8,3 e 8,8 mg [glicina] kg⁻¹ [semente] promoveram o acréscimo do valor SPAD e PTS, respectivamente, sendo observado aumento de 5,03 (Figuras 4E e F).

A enzima SOD apresentou maior atividade com aplicação de 9,7 mg [glicina] kg⁻¹ [semente], com aumento de 259% da atividade em relação ao controle (Figura 15G). Essa enzima produz H₂O₂ durante o processo de dismutação, e esse radical é responsável pela PL nas plantas, fato que foi observado nesse experimento, em que maior PL também foi observada na dose de 9,7 mg [glicina] kg⁻¹ [semente] (Figura 4I).

O pico de H₂O₂ ocorreu a partir da aplicação de 4 mg [glicina] kg⁻¹ [semente] (Figura 15H). Já o teor de prolina foi mais bem evidenciado a partir da aplicação de 9,9 mg [glicina] kg⁻¹ [semente], com incremento de 31%, em relação ao controle (Figura 15J). Dose semelhante (9,8 mg [glicina] kg⁻¹ [semente]) promoveu o aumento da atividade da enzima urease, o que representou em acréscimo de 198% na atividade dessa enzima, em comparação ao controle (Figura 4K).

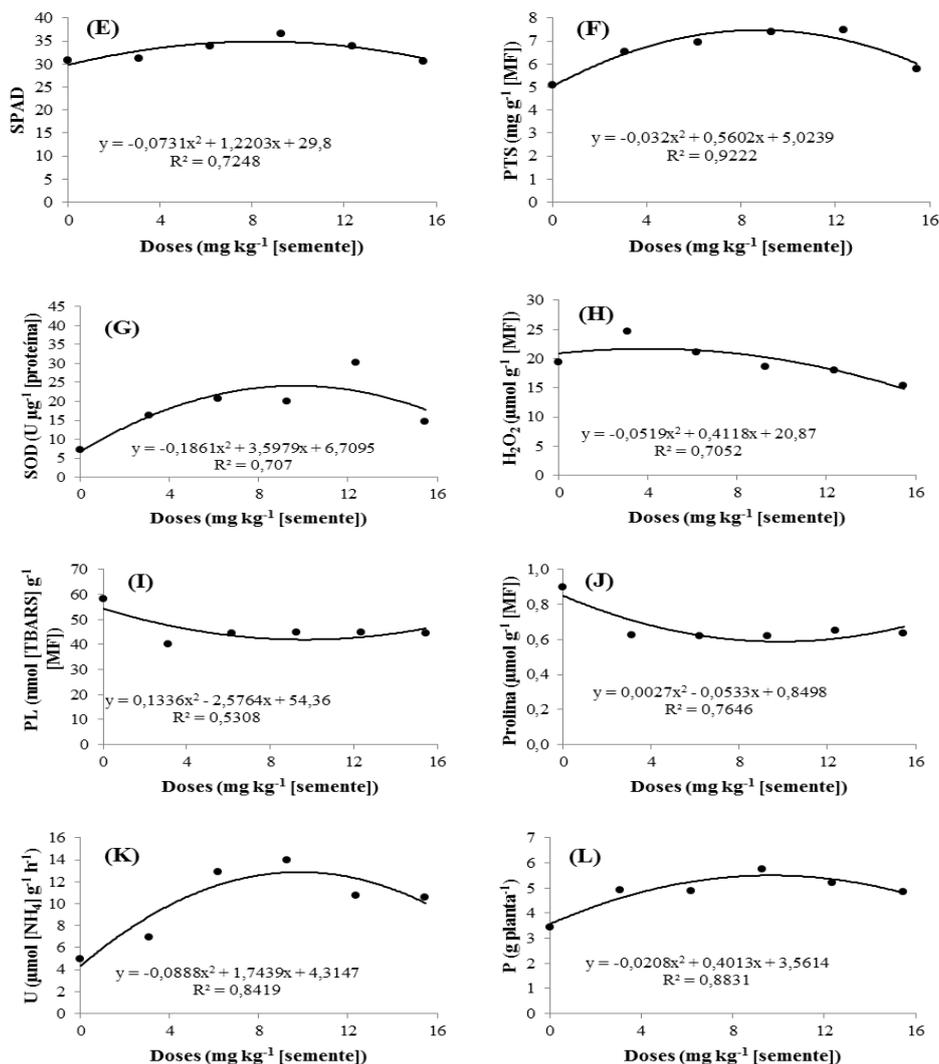
Todas essas características podem ter repercutido no incremento da produtividade na dose 9,6 mg [glicina] kg⁻¹ [semente] com acréscimo de 54% em relação ao controle (Figura 4L).

Figura 4. Efeito da aplicação de doses de glicina via tratamento de sementes de soja nas variáveis: A - índice de velocidade de emergência (IVE), B- emergência (E), C - massa de matéria seca parte aérea aos 40 DAS (MSPA) e D - total aos 40 DAS (MST*), E - valor SPAD (SPAD), F - teor de proteína total solúvel nas folhas (PTS), G - atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), H - teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), I - peroxidação lipídica (PL), J - teor de prolina, K - atividade da enzima urease (U) e L - produtividade (P). Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.



continua...

conclusão...



A partir da análise de todos os dados em conjunto, foi possível observar que o tratamento de sementes com glutamato na dose de 12,3 mg kg⁻¹ [semente] proporcionou maior emergência das plantas (Tabela 6), com incremento de 18,7% em relação ao tratamento controle. Esse mesmo aminoácido na dose de 18,5 mg kg⁻¹ [semente] ocasionou o valor máximo de acúmulo de peróxido de hidrogênio, valor 32% superior ao controle (Tabela 11).

O uso de cisteína afetou a atividade da enzima catalase e o teor de prolina nas folhas, sendo que a dose de 15,5 mg kg⁻¹ [semente] incrementou a atividade da enzima catalase em 128%, quando comparado ao controle, e a dose de 3 mg kg⁻¹ [semente] aumentou em 80% o teor de prolina.

Por outro lado, a fenilalanina repercutiu na aceleração do processo de emergência, acúmulo de massa de matéria seca de parte aérea e total aos 25 DAS (Tabela 6), além do teor de peróxido de hidrogênio (Tabela 7). No entanto, doses diferentes proporcionaram essas respostas, sendo que a dose de 15,5 mg kg⁻¹ [semente]

incrementou o IVE em 37%, a dose de 9,3 mg kg⁻¹ [semente] aumentou o acúmulo de massa de matéria seca de parte aérea e total e a dose de 12,4 ocasionou acréscimo de 37% no teor de H₂O₂, em relação ao controle (Tabela 10).

A aplicação de glicina na dose de 9,3 mg kg⁻¹ [semente] incrementou a massa de matéria seca de parte aérea, total, valor Spad (Tabela 6) e atividade da enzima urease (Tabela 7), com acréscimos de 89, 65, 18 e 180%, respectivamente, quando comparados ao controle.

Por fim, o uso de Fipronil + Piraclostrobrina + Tiofanato Metílico também afetou de forma positiva a atividade da enzima urease, além de aumentar a atividade da enzima superóxido dismutase e reduzir o teor de peróxido de hidrogênio (Tabela 7).

A aplicação de glutamato na dose de 21 mg kg⁻¹ [semente] proporcionou menor valor SPAD. Com relação à peroxidação lipídica (PL), o incremento da atividade das enzimas CAT e SOD repercutiu na redução dessa variável. Os tratamentos com glutamato nas doses de 9 e 15 mg kg⁻¹ [semente] proporcionaram maior PL, o que representou redução de 22 e 17,6%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 7).

Com relação à produtividade, todos os tratamentos de sementes repercutiram no incremento dessa variável em relação ao controle, sendo que o tratamento com fenilalanina na dose de 3 mg kg⁻¹ de semente proporcionou maior produtividade em relação aos demais tratamentos, com acréscimo de 72% de produtividade, em relação ao controle.

O uso de fenilalanina na dose de 2,9 mg kg⁻¹ [semente] proporcionou o melhor resultado em produtividade em relação aos demais tratamentos (Figura 1, Tabela 7). Esse aminoácido atua, principalmente, na rota de produção de compostos secundários, como flavonoides e lignina, aumentando, portanto, a resistência das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esse efeito também foi verificado por Häusler, Ludewig e Krueger (2014), os quais afirmam que a fenilalanina pode beneficiar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, devido ao aumento de resistência. Essa característica foi evidenciada no trabalho, pois a aplicação de fenilalanina incrementou a massa de matéria seca de parte aérea e total das plantas, além de acelerar a emergência, em comparação ao controle. Contudo, não foi evidenciado efeito em doenças devido à baixa pressão na época em que o experimento foi conduzido.

Tabela 6. Emergência (E), Índice de velocidade de emergência (IVE), Massa de matéria seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e total (MST) e valor Spad de plantas de soja submetidas à aplicação de aminoácidos via sementes. Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.

Tratamento	Dose mg kg ⁻¹ [semente]	E (%)	IVE	-----g planta ⁻¹ -----							Spad
				MSR	MSPA	MST	MSR*	MSPA*	MST*		
Controle	0	69,5 e	6,43 c	0,057 ns	0,103 ef	0,185 cd	0,057 ns	0,103 de	0,185 e	30,9 bc	
Glutamato	9,28	78,0 abcde	8,04 ab	0,065	0,147 abcde	0,236 abcd	0,065	0,122 bcde	0,236 bcde	33,5 abc	
	12,37	82,5 a	8,27 ab	0,056	0,123 bcdef	0,207 bcd	0,058	0,131 bcde	0,207 cdef	31,7 bc	
	15,46	78,5 abcd	8,25 ab	0,075	0,120 bcdef	0,225 bcd	0,070	0,120 bcde	0,225 bcdef	31,5 bc	
	18,55	80,5 ab	7,98 ab	0,065	0,105 def	0,188 cd	0,065	0,105 cde	0,188 de	31,9 bc	
	21,65	70,0 de	7,39 abc	0,077	0,167 ab	0,270 ab	0,077	0,167 ab	0,270 ab	29,6 c	
Cisteína	3,09	71,0 cde	7,36 bc	0,065	0,129 bcdef	0,221 bcd	0,073	0,140 bcde	0,233 bcdef	31,3 bc	
	6,18	75,5 abcde	8,07 ab	0,071	0,161 abc	0,250 abc	0,072	0,143 abcd	0,244 bcde	34,5 ab	
	9,28	76,5 abcde	7,91 ab	0,079	0,145 abcde	0,244 abcd	0,077	0,154 abcd	0,242 bcde	33,9 ab	
	12,37	72,5 bcde	7,72 abc	0,071	0,123 bcdef	0,216 bcd	0,070	0,130 bcde	0,223 bcdef	32,6 abc	
	15,46	73,5 bcde	7,63 abc	0,066	0,119 bcdef	0,200 bcd	0,067	0,137 bcde	0,227 bcdef	32,1 bc	
Fenilalanina	3,09	76,0 abcde	7,88 ab	0,055	0,089 f	0,172 d	0,065	0,129 bcde	0,221 bcdef	31,2 bc	
	6,18	78,0	8,10	0,075	0,153	0,251	0,071	0,161 ab	0,250 abc	31,4 bc	

	9,28	abcde 77,5	ab 7,99	0,082	abcde 0,195 a	abc 0,305 a	0,079	0,145 abcd	0,244 bcde	31,9 bc
	12,37	abcde 78,0	ab 8,42	0,061	0,165 abc	abc 0,252	0,071	0,123 bcde	0,216 bcdef	31,9 bc
	15,46	81,0 ab	8,82 a	0,065	0,158 abcd	0,248 abcd	0,066	0,119 bcde	0,200 cdef	31,1 bc
<hr/>										
Glicina	3,09	72,5 bcde	7,96 ab	0,067	0,116 cdef	0,206 bcd	0,055	0,089 e	0,172 f	31,2 bc
	6,18	73,5 bcde	7,81 ab	0,068	0,145 abcde	0,236 abcd	0,071	0,153 abcd	0,251 abc	34,0 ab
	9,28	74,5 abcde	7,95 ab	0,051	0,108 def	0,182 cd	0,072	0,195 a	0,305 a	36,5 a
	12,37	79,0 abc	8,37 ab	0,061	0,108 def	0,193 cd	0,066	0,165 ab	0,252 abc	33,9 ab
	15,46	75,0 abcde	7,91 ab	0,069	0,131 bcdef	0,225 bcd	0,065	0,158 abc	0,248 abcd	30,7 bc
<hr/>										
Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato Metílico	1 ¹	74,0 abcde	7,28 bc	0,080	0,129 bcdef	0,234 abcd	0,067	0,116 bcde	0,206 cdef	31,1 bc
CV (%)		4,33	6,66	20,80	14,90	12,72	14,26	14,63	10,10	4,61
DMS		8,71	1,39	0,04	0,053	0,076	0,026	0,053	0,061	3,94

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si, por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

* Referente à segunda coleta de massa de matéria seca (40 DAS).

¹Dose de 1 mL kg⁻¹ [sementes]

Tabela 7. Atividade das enzimas urease (U), catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) peroxidase (POD), teor de proteína (PTS), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), peroxidação lipídica (PL), prolina (PROL) e produtividade (P) de plantas de soja submetidas à aplicação de aminoácidos via sementes. Unipam. Patos de Minas, MG. 2013.

Tratamento	Dose mg kg ⁻¹ [semente s]	U μmol [NH ₄ ⁺] h ⁻¹ g ⁻¹ [MF]	CAT μmol min ⁻¹ μg ⁻¹ [proteína]	SOD U μg ⁻¹ [proteína]	POD μmol min ⁻¹ μg ⁻¹ [proteína]	PTS mg g ⁻¹ [MF]	H ₂ O ₂ μmol g ⁻¹ [MF]	PL nmol [TBARS] g ⁻¹ [MF]	PROL μmol g ⁻¹ [MF]	P g planta ⁻¹
Controle	0	5,0 h	1,17 f	7,3 k	0,51 abcdef	5,1 ab	19,3 ghi	58,4 def	0,90 efg	3,45 k
Glutamato	9,28	6,8 f	1,50 d	19,9 c	0,55 abcd	5,9 ab	24,8 ab	71,4 g	1,47 b	4,50 efghij
	12,37	6,8 f	0,63 hi	18,2 d	0,34 g	6,3 ab	24,0 abc	67,3 fg	0,80 ghi	5,21 abcde
	15,46	5,6 g	0,95 g	16,7 e	0,54 abcd	6,5 ab	24,2 abc	68,7 g	0,79 ghi	4,45 fghij
	18,55	5,8 g	0,47 kl	16,4 e	0,58 abc	5,5 ab	25,5 a	63,9 efg	0,70 ij	5,14 bcdefg
	21,65	5,5 g	0,49 jkl	13,8 h	0,44 cdefg	5,2 ab	24,5 ab	66,9 fg	0,74 hij	4,36 hij
Cisteína	3,09	8,0 e	1,53 cd	12,7 i	0,55 abcd	6,4 ab	19,6 efg	56,5 cde	1,62 a	3,91 jk
	6,18	5,0 h	1,27 ef	12,3 i	0,52 abcde	7,1 ab	20,2 efg	58,3 def	0,92 ef	4,51 5,40 abc
	9,28	3,6 i	2,10 b	12,3 i	0,58 abc	6,2 ab	22,4 cd	48,8 bcd	1,17 c	efghij
	12,37	3,4 i	2,03 b	13,9 gh	0,58 abc	6,1 ab	23,1 bcd	49,8 bcd	1,07 cd	5,54 abc
	15,46	5,7 g	2,67 a	8,9 j	0,60 abc	5,2 ab	21,6 de	42,0 ab	0,73 hij	5,28 abcd
Fenilalanina	3,09	6,7 f	1,17 f	13,9 gh	0,45 bcdefg	6,1 ab	24,6 ab	44,2 ab	1,08 cd	5,93 a
	6,18	6,9 f	1,21 f	15,4 f	0,32 g	5,6 ab	21,4 def	50,1 bcd	0,83 fgh	4,62 defghij
	9,28	6,5 f	1,17 f	22,8 b	0,47 bcdefg	5,8 ab	22,1 cde	48,1 abc	0,87 efg	4,36 hij
	12,37	10,3 d	1,37 e	20,0 c	0,65 a	5,4 ab	26,0 a	48,7 bcd	0,96 de	4,46 fghij
	15,46	11,3 c	1,02 g	12,3 i	0,39 defg	4,9 b	17,2 jk	45,4 ab	0,70 ij	4,24 ij
Glicina	3,09	7,0 e	0,39 l	16,4 e	0,35 fg	6,5 ab	24,7 ab	38,2 a	0,62 jk	4,93 cdefghi

	6,18	12,9 b	0,59 hij	20,7 c	0,37 efg	7,0 ab	21,0 defg	44,2 ab	0,62 jk	4,88 cdefghi
	9,28	14,0 a	0,68 h	20,0 c	0,37 efg	7,4 ab	18,6 hij	44,8 ab	0,62 jk	5,74 ab 5,22
	12,37	10,7 cd	0,56 jkl	30,3 a	0,46 bcdefg	7,5 a	17,9 ij	44,8 ab	0,65 j	abcde 4,85
	15,46	10,6 d	0,64 hi	14,7 fg	0,35 fg	5,8 ab	15,4 kl	44,4 ab	0,64 jk	cdefghi
<hr/>										
Fipronil + Piraclostrobi na + Tiofanato Metílico	1 ¹	13,5 a	1,63 c	30,8 a	0,62 ab	6,8 ab	14,3 l	47,6 abc	0,52 k	5,00 bcdefgh
CV (%)		2,57	15,2	19,4	13,10	15,9	3,56	7,24	13,9	5,89
DMS		0,53	0,11	0,86	0,17	2,57	2,03	10,07	0,12	0,75

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si, por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

¹Dose de 1 mL kg⁻¹ [sementes]

A cisteína também afetou de forma positiva a produtividade das plantas, sendo a dose de 13,8 mg kg⁻¹ [semente] a ideal (Figura 2F). Esse aminoácido pode atuar diretamente na redução do estresse das plantas por meio da produção de fitoquelatinas, que reduz o estresse provocado pelo excesso de metais nas plantas, e por fazer parte da produção da glutathione, que atua diretamente nos radicais livres (COBBETT, 2000). Além disso, Azarakhsh, Asrar e Mansouri (2015) demonstraram que a cisteína pode exercer o papel de sinalização em plantas, induzindo o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, como a catalase e ascorbato peroxidase, e a consequente redução da peroxidação lipídica. Esse comportamento foi observado no trabalho, pois a aplicação de cisteína em doses próximas a que induziu a maior produtividade proporcionou maior atividade da das enzimas catalase e peroxidase, além da redução da peroxidação lipídica (Figura 2E).

Por outro lado, esse mesmo aminoácido proporcionou maior acúmulo de peróxido de hidrogênio. Esse composto possui importante papel de sinalização em plantas, pois pode atuar no processo de abertura e de fechamento estomático (MITTLER; BLUMWALD, 2015; SINGH *et al.*, 2016), desenvolvimento de raízes secundárias (MA *et al.*, 2014; SINGH *et al.*, 2016) e desenvolvimento do tubo polínico (SINGH *et al.*, 2016).

Benefícios sobre as características fisiológicas das plantas também foram observados a partir da aplicação de glutamato nas sementes. De acordo com Walch-Liu e Forde (2007), esse aminoácido aumenta o desenvolvimento de raízes secundárias em plantas, o que pode levar à maior absorção de nutrientes e ao consequente incremento na produtividade. Neste trabalho, foi observado efeito do glutamato no acúmulo de massa de matéria seca de raiz (Figura 1C), apesar de não ser observado efeito no acúmulo de massa de matéria seca parte aérea e total. Outra característica do glutamato é que, além de ter função chave na produção de outros aminoácidos, também está envolvido na produção de glutathione, que atua de forma direta ou indireta na redução de radicais livres em plantas (GILL; TUTEJA, 2010; REJEB *et al.*, 2014). No entanto, essas afirmações não corroboraram com os resultados encontrados, pois a aplicação de glutamato induziu a maior produção de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, apesar dessas características não terem afetado a produtividade.

Por fim, a glicina está envolvida em diversos processos que buscam a redução de estresse na planta, entre eles está a produção de glicina betaína, um composto que participa da atenuação do estresse da planta, especialmente em condições de estresse salino (DEMIRAL; TURKAN, 2006). Esse mesmo aminoácido tem sido considerado um sinalizador da cascata de respostas quando ocorre a superprodução de radicais livres em plantas, a partir da indução da atividade de enzimas antioxidantes (HU *et al.*, 2012). Isso foi o que ocorreu no presente experimento com aumento da atividade da enzima superóxido dismutase e redução da peroxidação lipídica (Figuras 4H e 4J).

A glicina ainda proporcionou o incremento do teor de proteínas em folhas (Figura 15G), essa característica é bastante favorável, pois o teor de proteína apresenta relação com a produtividade das plantas (FABRE; PLANCHON, 2000), fato observado, pois a dose de 9,6 mg kg⁻¹ [semente] proporcionou maior acúmulo de proteína em folhas e maior produtividade (Figura 4M).

O uso de Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato Metílico no tratamento de sementes apresentou resultado diferente do esperado, pois aumentou a atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase e catalase, o que levou à redução do teor de peróxido de hidrogênio e da peroxidação lipídica (Tabela 7). Esses resultados diferiram dos encontrados por Rodrigues (2009) e Lacerda (2014) que observaram que a aplicação desse mesmo composto induziu ao aumento do teor de peróxido de hidrogênio e da peroxidação lipídica.

Conclusões

- i. A aplicação de cisteína, glutamato, fenilalanina e glicina no tratamento de sementes melhora características bioquímicas e fisiológicas em plantas de soja;
- ii. As doses de aminoácidos que mais proporcionaram benefícios foram: glutamato - 12,37 mg kg⁻¹ [semente]; fenilalanina - 3,09 mg kg⁻¹ [semente]; cisteína - 12,37 mg kg⁻¹ [semente] e glicina - 9,28 mg kg⁻¹ [semente].

Referências

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, Chichester, v.24, p.1337-1344, 2001.

AZARAKHSH, M.R.; ASRAR, Z.; MANSOURI, H. Effects of seed and vegetative stage cysteine treatments on oxidative stress response molecules and enzymes in *Ocimum basilicum* L. under cobalt stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Weinheim, v.15, n.3, p.651-662, 2015.

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

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.

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

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. *Biochemistry and molecular biology of plants*. Maryland: American society of Plant physiologists, 2000. 1367p.

COBBETT, C.S. Phytochelatins biosynthesis and function in heavy-metal detoxification. *Current Opinion in Plant Biology*, London, v.3, n.3, p.211-216, 2000.

- DEMIRAL, T.; TURKAN, I. Exogenous glycine betaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in two rice cultivars under NaCl stress. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v.56, p.72-79, 2006.
- FABRE, F. and PLANCHON, C. Nitrogen nutrition, yield and protein content in soybean. *Plant Science*, v.152; p.51-58, 2000.
- GILL, S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, Dorchester, v.48, p.909-930, 2010.
- GIOSEFFI, E.; NEERGAARD, A. de; SCHJOERRING, J. K. Interactions between uptake of amino acids and inorganic nitrogen in wheat plants. *Biogeosciences*, Hoboken, v.9, p.1509-1518, 2012.
- HÄUSLER, R.E.; LUDEWIG, F.; KRUEGER, S. Amino acids – A life between metabolism and signaling. *Plant Science*, Amsterdam, v.229, p.225–237, 2014.
- 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.
- HOGAN, M.E.; SWIFT, I.E.; DONE, H.J. Urease assay and ammonia release from tissue. *Phytochemistry*, New York, v.22, n.1, p. 663-667, 1983.
- HU, L.; HU, T.; ZHANG, X.; PANG, H.; FU, J. Exogenous Glycine Betaine Ameliorates the Adverse Effect of Salt Stress on Perennial Ryegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v.137, p.38-44, 2012.
- KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, Rockville, v.57, p.315-319, 1976.
- JAMTGARD, S., NASHOLM, T., AND HUSS-DANEL, K. Nitrogen compounds in soil solutions of agricultural land. *Soil Biological Biochemical*, Oxford, v.42, p.2325-2330, 2010.
- LACERDA, M.P. *Caracterização fisiológica de plântulas de soja submetidas a diferentes tratamentos químicos*. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- MA, F.; WANG, L.; LI, J.; SAMMA, M.K.; XIE, Y.; WANG, R. Interaction between HY1 and HO in auxin-induced lateral root formation in Arabidopsis. *Plant Molecular Biology*, Dordrecht, v.85, p.49-61, 2014.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MC CULLOUGH, H. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, Amsterdam, v.17, p.297-298, 1967.

MITTLER, R.; BLUMWALD, E. The roles of ROS and ABA in systemic acquired acclimation. *Plant Cell*, Palo Alto, v.27, p. 64-70, 2015.

PEIXOTO, H.P.P.; CAMBRAIA, 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*, Londrina, v.11, n.3, p. 137-143, 1999.

PERSSON, J.; HÖGBERG, P.; EKBLAD, A.; HÖGBERG, M.N.; NORDGREN, A.; NÄSHOLM, T. Nitrogen acquisition from inorganic and organic sources by boreal forest plants in the field. *Oecologia*, Berlim, v.137, n.2, p.252-257. 2006.

REJEB, K.B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiology and Biochemistry*, Dorchester, v.80, p.278-284, 2014.

RODRIGUES, M.A.T. *Avaliação do efeito fisiológico do uso de fungicidas na cultura da soja*. 2009, 198p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SAS Institute, 2011. SAS/STAT Statistical Analysis System Manual (v. 9.3). SAS Institute, Cary, NC.

SINGH, R.; SINGH, S.; PARIHAR, P.; MISHRA, R.K.; TRIPATHI, D.K.; SINGH, D.R.V.P.; CHAUHAN, D.K.; PRASAD, S.M. Reactive oxygen species (ROS): Beneficial companions of plants' developmental processes. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v.7, p.1299-1364, 2016.

SILVA, T. T. A.; VON PINHO, E. V. R.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P.O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. *Ciência Agrotecnológica*, Lavras, v.32, n.3, p.840-846, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, M. N. *A influência do uso de bioestimulantes no tratamento de sementes de soja e trigo*. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira do Sul, Cerro Largo, 2017.

SOUZA, D.V. de; CABRAL, J.B.P.; LOPES, R.M.; REIS, M.A.S.; OLIVEIRA, S.F. Análise pluviométrica da carta topográfica de Patos de Minas referente ao período de 1978 a 2003. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57, 2005, Fortaleza. *Anais eletrônicos...* São Paulo: SBPC/UECE, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 876 p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. *Plant physiology*. 5th ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2013. 782 p.

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.

USDA – United States Department of Agriculture, 2018. Disponível em <<http://www.usda.gov>> Acesso em: 22 mar. 2018.

WALCH-LIU, P.; FORDE, B.G. L-Glutamate as a Novel Modifier of Root Growth and Branching. What's the Sensor? *Plant Signaling & Behavior*, Philadelphia, v.2, n.4, p.284-286, 2007.