

## **EFEITO DO MANGANÊS COMO ATENUADOR DE ESTRESSE APÓS APLICAÇÃO DE GLIFOSATO NA CULTURA DA SOJA**

**Effect of manganese as a stress attenuator after  
glyphosate application in soybean culture**

***Henrique Carneiro Santos***

Bacharel em Agronomia pelo UNIPAM.

E-mail: henriquecs@unipam.edu.br (autor correspondente)

***Sângela Lorrany Lima Camargos***

Graduanda em Agronomia pelo UNIPAM.

***Saulo de Andrade Jomaa***

Graduando em Agronomia pelo UNIPAM.

***Dulcélio Henrique Lana***

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa – UFV.

***Marina Rodrigues dos Reis***

Mestre em Fitotecnia. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de planta – UNIPAM

***Luís Henrique Soares***

Professor orientador (UNIPAM); Doutor em Fitotecnia.

---

**RESUMO:** A soja vem se destacando na economia brasileira. É de extrema importância no mercado interno e externo. O presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito da aplicação de manganês como atenuador do estresse causado pela aplicação de glifosato na cultura da soja. O experimento foi implantado na COOPADAP, no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019. Foi constituído por (T<sub>1</sub>- controle, T<sub>2</sub>- Mn 1,5 L ha<sup>-1</sup>, T<sub>3</sub>- Mn 2,0 L ha<sup>-1</sup>, T<sub>4</sub>- Mn 2,5 L ha<sup>-1</sup> e T<sub>5</sub>- Kellus® 0,5 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições. O cultivar utilizada foi BMX Desafio RR. As variáveis analisadas foram proteína solúvel total, peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), peroxidação lipídica (PL), índice SPAD e produtividade. Para proteína solúvel total, o T<sub>5</sub> se sobressaiu em relação ao controle, com incremento de 42,17%. Para o teor de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, houve redução de 35,9 % do T<sub>2</sub> em relação ao controle. Na atividade de SOD, o maior aumento foi verificado no tratamento T<sub>2</sub>, com incremento de 29,55%. Para CAT, houve redução de 65,55% no T<sub>4</sub>. Na atividade de POD, apenas o T<sub>5</sub> foi inferior ao controle, com redução de 32,73%. No teor de PL, o T<sub>2</sub> apresentou redução de 4,48% quando comparado ao controle. Em relação ao índice SPAD, não houve diferença estatística. O maior incremento em produtividade foi verificado no T<sub>3</sub>, com ganho de 7,64 sacas ha<sup>-1</sup>. Concluiu-se que o indicado é Mn 1,5 L ha<sup>-1</sup>, por proporcionar os melhores resultados após a aplicação de glifosato.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliações. Metabolismo oxidativo. Produtividade.

**ABSTRACT:** Soybean has been standing out in the Brazilian economy, being extremely important in the domestic and foreign markets. This study aimed to verify the effect of manganese application as a stress attenuator caused by glyphosate application in soybean crop. The experiment was carried out at COOPADAP, from October 2018 to February 2019. The experiment consisted of (T1- control, T2- Mn 1.5 L ha<sup>-1</sup>, T3- Mn 2.0 L ha<sup>-1</sup>, T4- Mn 2.5 L ha<sup>-1</sup> and T5-Kellus® 0.5 kg ha<sup>-1</sup>) and four repetitions. The cultivar used was BMX Desafio RR. The evaluations were: total soluble protein, hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD), lipid peroxidation (PL), SPAD index and yield. For total soluble protein T5 stood out in relation to the control, with an increase of 42.17%. For the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content, there was a 35.9% reduction of T2 compared to the control. In SOD activity, the largest increase was observed in T2 treatment, with an increase of 29.55%. For CAT there was a 65.55% reduction in T4. In the activity of POD, only the T5 was inferior to the control, with a reduction of 32.73%. In the PL content, T2 presented a reduction of 4.48% when compared to the control. Regarding the SPAD index, there was no statistical difference. The largest increase in productivity was observed in T3, with a gain of 7.64 bags ha<sup>-1</sup>. It is concluded that Mn 1.5 L ha<sup>-1</sup> is indicated because it provides the best results after glyphosate application.

**KEYWORDS:** Evaluation, Oxidative metabolism, productivity.

---

## INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas de maior importância mundial. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção estimada de soja é de aproximadamente 120,86 milhões de toneladas para a safra 2019/2020, apresentando aumento de 5,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2019).

A produtividade da cultura é resultado de fatores ambientais (luminosidade, fotoperíodo, água, temperatura), fatores genéticos (potenciais produtivos da própria cultura, adaptabilidade), fatores de manejo (plantas daninhas, pragas, doenças e fertilidade do solo) e fatores bioquímicos e fisiológicos (metabolismo primário e secundário, metabolismo antioxidante) (SOARES, 2016). Para chegar a altos níveis de produção, pesquisas são realizadas com o intuito de maximizar a produtividade, mesmo que

as condições edafoclimáticas não sejam favoráveis. Dessa maneira, através do manejo realizado, é possível melhorar as características fisiológicas, bioquímicas e morfológicas da cultura.

Nesse contexto, é necessário que haja um equilíbrio de macro e micronutrientes, que possam atuar direta ou indiretamente no fornecimento de energia para o metabolismo vegetal (HERNANDES, 2009). Os micronutrientes são exigidos em menor quantidade, porém essenciais, como relatam Dechen e Nachtigall (2006), demonstrando que o manganês (Mn) é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Esse nutriente atua como cofator para várias enzimas ligadas ao metabolismo secundário (BURNELL, 1988). Segundo Graham (1983) e Malavolta (2006), baixas concentrações de alguns aminoácidos são encontradas em tecidos com deficiência em Mn.

Ozturk et al. (2009) e Zobiole et al. (2010) relatam que a deficiência de Mn pode ser causada pela aplicação de glifosato. O glifosato foi um herbicida introduzido na agricultura em 1974, como modo de controle de plantas daninhas invasoras nas lavouras (YAMADA, 2007). Esse herbicida apresenta efeito pós-emergência, não seletivo e com capacidade para controlar diversas plantas (FRANZ, 1985; QUINN, 1993; GRUYS e SIKORSKI, 1999). Além disso, o glifosato tem capacidade de inibir enzimas que evitam a síntese de aminoácidos importantes, como fenilalanina, triptofano e tirosina (JAWORSKI, 1972; ZABLOTOWICH; REDDY, 2004).

Além disso, o glifosato pode inibir a absorção de manganês, repercutindo numa baixa atividade fotossintética e baixa ativação enzimática, resultando em amarelecimento das folhas, devido ao fato de esse nutriente ser essencial para a clorofila (MALAVOLTA, 2006). Dessa maneira, recomenda-se aplicação de Mn antes ou após a aplicação do glifosato, atuando como atenuador desses problemas (PEROZINI, 2016).

Contudo, é importante o conhecimento desse micronutriente e herbicida, a fim de aliá-los para um melhor manejo da cultura da soja e para um alcance de altas produtividades. Mediante isso, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de Mn

como atenuador do estresse causado pela aplicação de glifosato na cultura de soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no campo experimental da Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP), localizado próximo ao município de Rio Paranaíba (MG), no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019. O local apresenta um clima tropical, com precipitação média anual de 1540 mm (SOUZA et al., 2005), tendo temperatura média anual de aproximadamente 20° C (CLIMATE, s. d.).

Antes da implantação do experimento, utilizou-se do trigo como cultura de cobertura do solo durante a safra de inverno. O experimento foi constituído por cinco tratamentos (Tabela 1) e quatro repetições. Cada parcela foi composta por seis linhas de sete metros de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, totalizando 21 m<sup>2</sup> cada unidade experimental. Como área útil de cada parcela, foram considerados os quatro metros centrais de quatro linhas do centro da parcela. O cultivar utilizado foi BRASMAX Desafio RR (ciclo de 110 a 120 dias) grupo de maturação 7.8 e com população de 350.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O delineamento adotado foi em blocos casualizados (DBC).

**Tabela 1:** Descrições dos tratamentos utilizados no ensaio “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019

Tratamentos	Descrição	Doses
T <sub>1</sub>	Controle	-
T <sub>2</sub>	Mn (13%)	1,5 (L ha <sup>-1</sup> )
T <sub>3</sub>	Mn (13%)	2,0 (L ha <sup>-1</sup> )
T <sub>4</sub>	Mn (13%)	2,5 (L ha <sup>-1</sup> )
T <sub>5</sub>	Kellus® (1% Cu, 9% Mn e 3% Zn)	0,5 (kg ha <sup>-1</sup> )

As aplicações foram feitas no estádio V<sub>3/4</sub> com as respectivas doses de manganês, três dias após a aplicação de glifosato. O glifosato foi aplicado na dose de 3 L ha<sup>-1</sup>. Como fonte de Mn, utilizaram-se Mn-EDTA. As aplicações foliares de manganês foram realizadas com pulverizador costal propelido a CO<sub>2</sub>. A barra utilizada contém seis bicos tipo cone vazio cor laranja (150 a 250 L ha<sup>-1</sup>), perfazendo 3,25 m de comprimento e com pressão de 2 bar. Para todas as aplicações foi utilizado volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

A coleta das amostras foi realizada sete dias após a aplicação do manganês. Foram coletadas quatro plantas por repetição e destas retiradas quatro folhas do terço médio no período de dez da manhã, às dezesseis da tarde, horário em que as enzimas expressam maior atividade. As amostras foram colocadas e guardadas em sacos plásticos e embrulhadas em papel alumínio. Em seguida, congeladas em nitrogênio líquido, com a intenção de paralisar todas as reações imediatamente. Posteriormente, foram acondicionadas em caixa de isopor contendo nitrogênio líquido até chegarem ao laboratório e, por fim, foram colocadas no freezer. A partir dessas amostras, foram realizadas análises de proteína solúvel total,

superóxido dismutase (SOD), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), peroxidase (POD), catalase (CAT) e peroxidação de lipídios (PL).

As folhas foram maceradas utilizando-se nitrogênio líquido; em seguida foram adicionados 4 mL de tampão de fosfato de potássio 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 6,8 para a diluição do extrato. As amostras foram transferidas para tubos *ependorff* e centrifugadas a 10.000 rpm (6.000 G) por 30 min a 4°C. Ao final, as amostras foram armazenadas a -20°C para posterior determinação (KAR; MISHRA, 1976).

Para determinação do teor de proteína na folha, foi utilizada a metodologia descrita por Bradford (1976). Foi utilizado 1 mL do reativo de Bradford e adicionados 20 µL do extrato vegetal. A solução foi deixada em repouso por 10 minutos e, em seguida, feita leitura em espectrofotômetro (marca BEL-photonics, modelo UV-M51) a 595 nm. Para obtenção da concentração, utilizou-se curva padrão de caseína.

O teor de peróxido de hidrogênio foi determinado por meio da reação com iodeto de potássio (KI), segundo Alexieva et al. (2001). Para essa determinação, foi necessária extração do material vegetal, em que 200 mg de folhas foram maceradas com 1 mL de TCA 0,1%. Após

homogeneização, as amostras foram transferidas para tubos e centrifugadas a 9700 rpm (5.820 G) por 15 minutos a 4°C. Do sobrenadante foram retirados 200 µL, aos quais foram adicionados 200 µL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 800 µL de solução 1 M de KI. O branco consiste na mesma mistura descrita acima, porém, ao invés do sobrenadante da amostra, coloca-se 200 µL de TCA 0,1%. Os tubos com a reação foram colocados em gelo e permaneceram no escuro durante uma hora. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 390 nm. A quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi expressa em µmol g<sup>-1</sup> de matéria fresca.

A superóxido dismutase (SOD) foi determinada segundo a metodologia de Beauchamp e Fridovich (1971), citados por Bor, Ozdemir e Turkan (2003). Foi adicionada a um tubo de ensaio 2000 µL de tampão de fosfato de sódio (50 mmol L<sup>-1</sup> pH 7,8), 30 µL de extrato enzimático, 450 µL de solução de Nitroblue Tetrazolium (NBT) + EDTA (5:4) e 500 µL de solução de Metionina + Riboflavina (1:1). Todas as amostras foram preparadas em duplicata, sendo que, após o preparo do sistema de reação, uma das amostras foi exposta à luz durante 10 minutos, sem o papel alumínio, e a outra permaneceu coberta com o papel alumínio. Após esse período, realizaram-se leituras de absorvância a 560 nm em espectrofotômetro.

Para a determinação da atividade da CAT, foram colocados em um tubo de ensaio 950 µL de tampão fosfato de sódio 50 mmol L<sup>-1</sup> pH 7,0 + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 12,5 mmol L<sup>-1</sup> e 50 µL de extrato enzimático, resultando em um volume final de 1 mL. As leituras de absorvância foram realizadas a 240 nm, e posteriormente

foi avaliada durante 80 segundos, para que pudesse ocorrer a estabilização da leitura. As leituras foram realizadas com luz ultravioleta e com a luz visível apagada. Além disso, foram utilizadas cubetas de quartzo, pois elas permitem uma melhor leitura nessas condições de avaliação. Para os cálculos da atividade da enzima, foi utilizado o coeficiente de extinção molar do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 39,4 mmol L<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>. A atividade da catalase foi expressa em nmol min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> consumido de proteína (PEIXOTO et al., 1999).

A atividade da POD foi determinada de acordo com Teisseire e Guy (2000). Para isto, foi necessário adicionar a um tubo de ensaio 500 µL de tampão fosfato de potássio (50 mmol L<sup>-1</sup> pH 6,5), 30 µL de extrato enzimático, 250 µL de pirogalol (1,2,3-benzenotriol) (20 mmol L<sup>-1</sup>) e 220 µL de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (5 mmol L<sup>-1</sup>), totalizando um volume de 1 mL. Posteriormente, os tubos de ensaio foram deixados por 5 minutos à temperatura em torno de 25°C. Após esse período, a formação de purpurogalina foi determinada em espectrofotômetro UV-visível, a 430 nm. Para o cálculo da atividade da enzima, foi utilizado o coeficiente de extinção molar de 2,5 mmol L<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>, sendo a atividade expressa em µmol de purpurogalina min<sup>-1</sup> mg<sup>-1</sup> de proteína.

A peroxidação de lipídios foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968) citados por Rama Devi e Prasad (1998). Para isto, foi necessário pesar 200 mg do material vegetal moído, que foi homogeneizado em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme e

incubado em banho maria a 90°C por 1 h. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm (6.000 G) por 15 minutos à temperatura ambiente e, em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetendo a leituras de absorbância em espectrofotômetro UV-visível a 560 e 600 nm.

Para determinar o índice SPAD, foi utilizado um medidor portátil de clorofila, (modelo SPAD-502), que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem destruí-la.

Para determinar a produtividade, foram retiradas as duas linhas externas das parcelas (bordaduras), deixando apenas as duas centrais, sendo retirado 1,5 m na parte superior e inferior, o que totaliza 4 m<sup>2</sup> de área colhida. Posteriormente, foi determinado o teor de água dos grãos e efetuado o cálculo da produtividade (produção por unidade de área). Para pesagem, foi utilizada uma

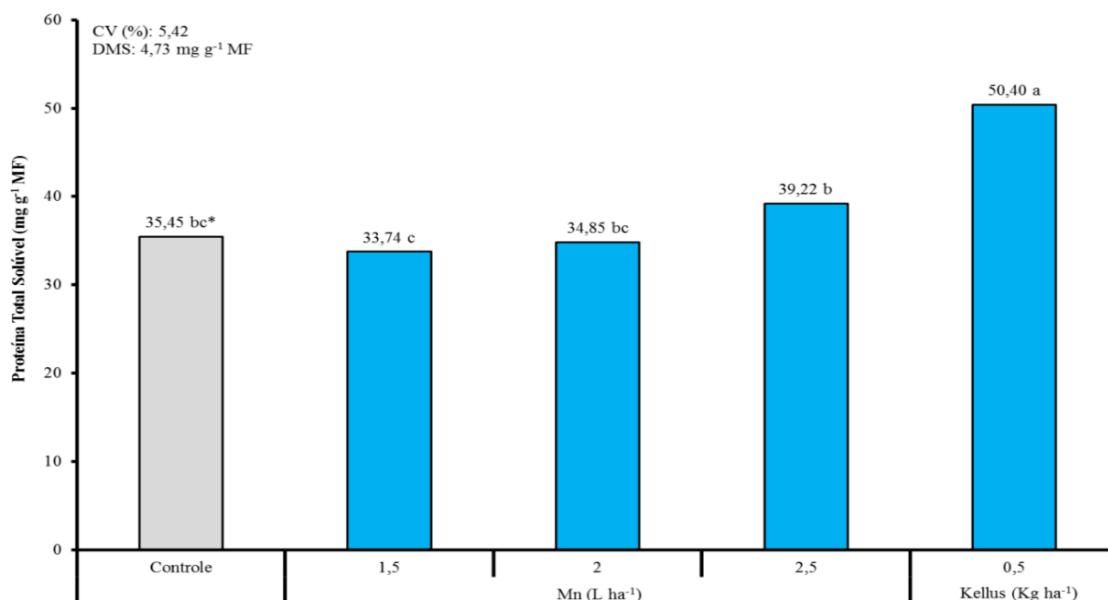
balança digital com precisão de 0,01 gramas.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 1998). A normalidade dos resíduos da ANOVA e a homogeneidade entre as variâncias foram testadas a partir dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, ambos a 1% de significância. Logo após, foi realizada análise de variância. As comparações entre as médias foram realizadas por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Proteína solúvel total*

A proteína solúvel total foi superior estatisticamente no tratamento com aplicação de Kellus<sup>®</sup>, com incremento de 42,17% (Figura 1).



**Figura 1** - Teores de proteína solúvel total (mg g<sup>-1</sup> MF) no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

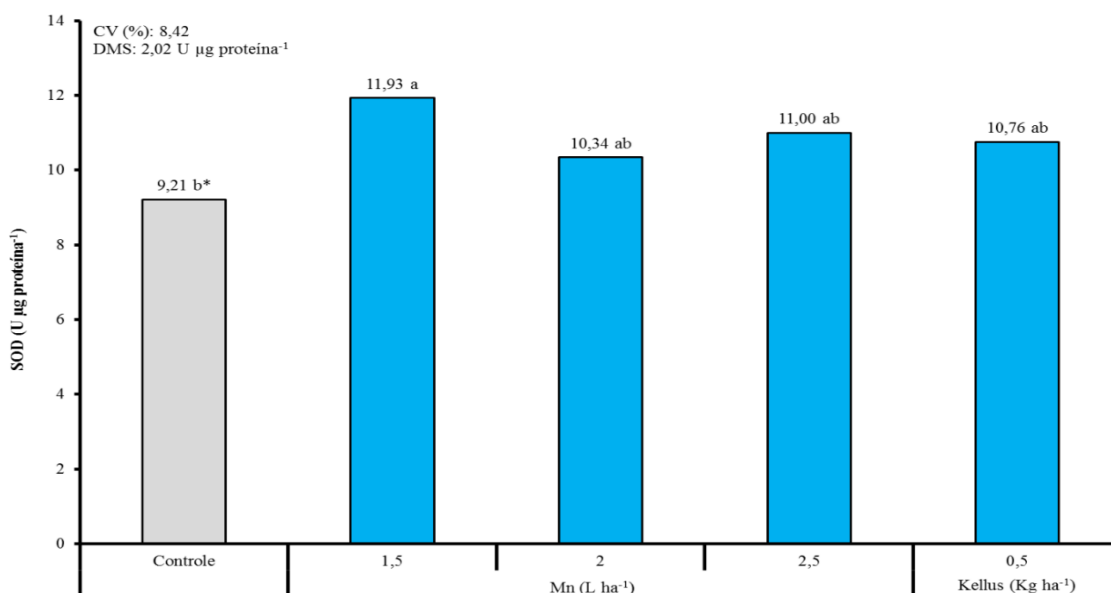
\* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A enzima RuBisCO (Ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase) é responsável por estar presente em 50% da proteína solúvel nas plantas (FELLER; ANDERS; MAE, 2008; SOARES, 2016). Segundo Zavaleta-Mancera et al. (2007), quando acontece atraso na senescência, ocorre prevenção da oxidação dos ácidos graxos, evitando desse modo a degradação das membranas plasmáticas. Os mesmos autores ainda relatam que esse atraso inibe a formação e quebra das principais espécies reativas de oxigênio (EROS), em especial superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ ) e radical hidroxila ( $OH^{\bullet}$ ), a

degradação da molécula de clorofila, o que resulta em tecidos mais verdes, além de prover uma maior síntese de proteínas.

#### Atividade da superóxido dismutase

A atividade da superóxido dismutase (SOD) (Figura 2) foi estatisticamente superior quando aplicado Mn  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ , comparativamente ao controle, com incremento de 29,55%. Os demais tratamentos não diferiram entre si.



**Figura 2** - Atividade da superóxido dismutase ( $U \mu g \text{ proteína}^{-1}$ ) no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As SODs são enzimas consideradas a primeira forma de defesa das plantas contra as EROS, que, por sua vez, reduzem  $O_2^{\bullet-}$  em  $H_2O_2 + O_2$  (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). De acordo com Gill e Tuteja (2010), são encontradas diferentes formas de SOD, sendo elas classificadas conforme seus cofatores metálicos, como cobre e zinco (Cu/Zn-SOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD).

Conforme a figura 2, a alta atividade da SOD, se correlaciona com a de Kirkby e Römheld (2007), que relatam que o Mn faz parte da superóxido dismutase (SOD), enzima que atua no metabolismo oxidativo contra as espécies reativas de oxigênio (EROS) ou (ROS, do inglês, *reactive oxygen species*), as quais são formadas em reações com o oxigênio molecular.



### Teor de peróxido de hidrogênio

Para o teor de peróxido de hidrogênio (Figura 3), houve diferença estatística entre os tratamentos, com incremento de 12,74% do Mn 2,5 L ha<sup>-1</sup> e redução de 35,9 % do Mn 1,5 L ha<sup>-1</sup> em relação ao controle, respectivamente.

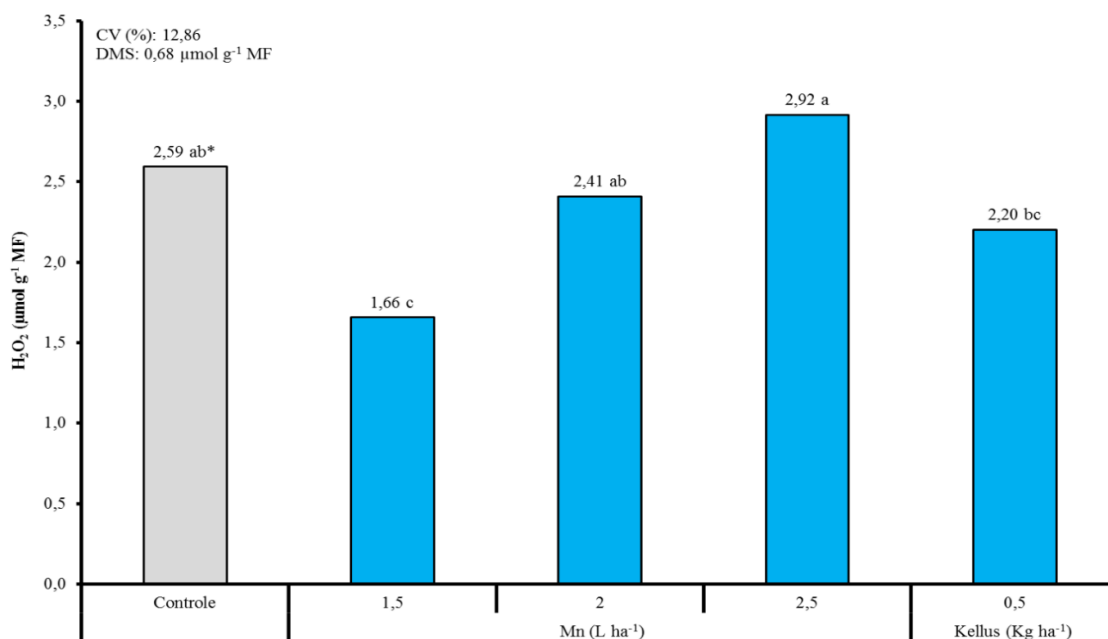
### Atividade de peroxidase

Na atividade de peroxidase (Figura 4), houve diferença estatística, porém apenas o tratamento Kellus foi inferior ao controle, com redução de 32,73%.

As PODs são enzimas que atuam em diversos processos celulares, tendo como característica reduzir o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em

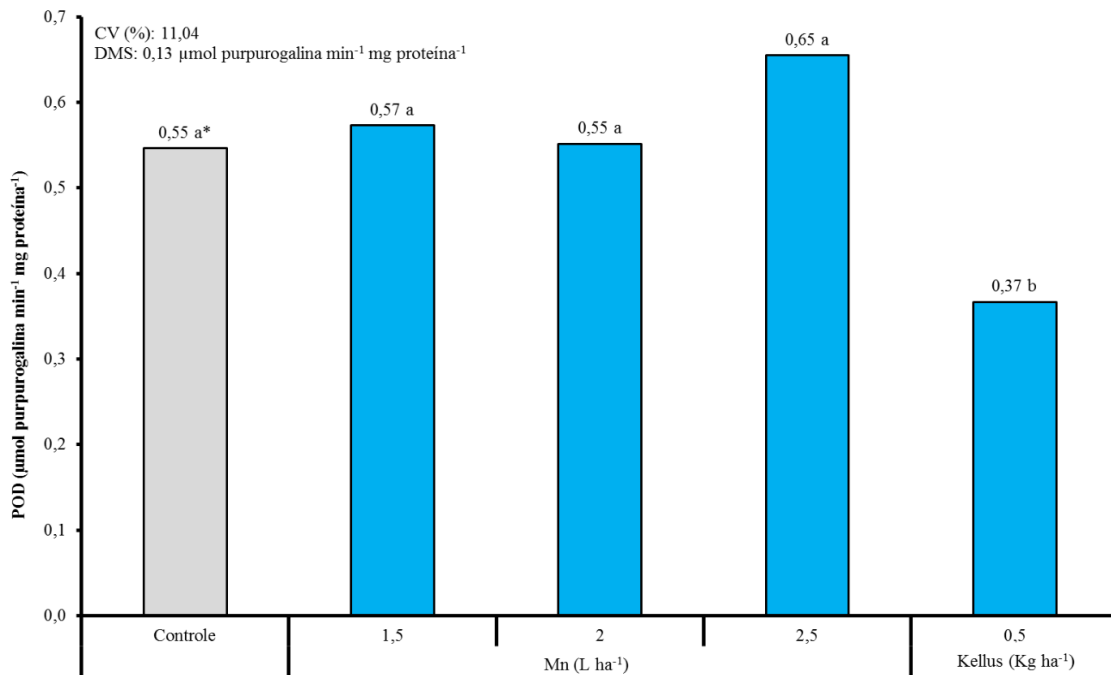
água (LOCATO, 2010). Essa enzima pode ser encontrada nas formas ascorbato peroxidase e guaiacol peroxidase, sendo utilizado para suas ativações doadores de elétrons, que se compreendem em ascorbato ou guaiacol e pirogalol, respectivamente (GILL e TUTEJA, 2010; SOARES, 2016).

Conforme relatos de Soares (2016), pode ocorrer uma geração espontânea de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, mesmo havendo alterações na atividade de SOD. Desse modo, como mostra a Figura 4, houve alta atividade de POD nos tratamentos, o que corrobora as considerações de Nyathi e Baker (2006), que relatam que essa alta atividade da POD ocorre como forma de reduzir os níveis de estresse.



**Figura 3** - Teores de peróxido de hidrogênio (μmol g<sup>-1</sup> MF) no ensaio intitulado em “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.  
\* Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.





**Figura 4** - Atividade de peroxidase ( $\mu\text{mol purpurogalina min}^{-1} \text{ mg prote\acute{a}na}^{-1}$ ) no ensaio intitulado “Efeito do mangan\`es como atenuador de estresse ap\`os aplica\`ao de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

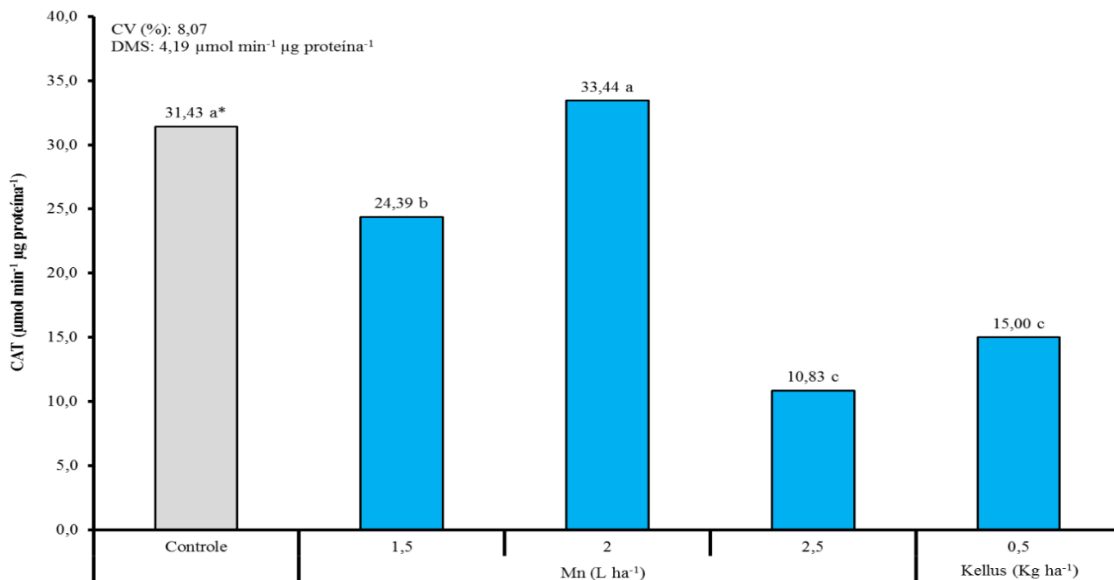
\* M\`edias seguidas de mesma letra, n\`ao diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de signific\`ancia.

#### Atividade da catalase

Os dados de catalase apresentaram diferen\`ca estat\`stica entre os tratamentos (Figura 5). Quando comparados os tratamentos em rela\`ao ao controle, houve incremento no tratamento Mn 2,0 L ha<sup>-1</sup> e redu\`ao no tratamento Mn 2,5 L ha<sup>-1</sup>, de 9,58% e 65,55% respectivamente.

A CAT \`e uma enzima capaz de converter mol\`culas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>O e O<sub>2</sub>, podendo atuar nos peroxissomos e glioxissomos, durante a fotorrespira\`ao e a oxida\`ao dos \`cidos graxos (HELDT e HELDT, 2005; DUBEY, 2011). Segundo Dubey (2011), essa enzima tem maior efici\`ncia quando os teores de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> s\`o mais altos, tornando-as indispens\`veis

para a remo\`ao das ROS. Por\`m, esses relatos contradizem com o que \` demonstrado nas Figuras 3 e 5, onde respectivamente representam os teores de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e atividade da CAT, no qual os tratamentos que com maiores teores de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> n\`o apresentaram maior atividade da enzima CAT. Segundo Fagan (2007), o aumento da atividade dessa enzima pode estar relacionado ao incremento da degrada\`ao do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em H<sub>2</sub>O. Al\`m disso, a CAT tem vantagem em rela\`ao \`s outras enzimas, pelo fato de ela atuar sem agente redutor, ou seja, n\`o necessita de energia para seu funcionamento, o que torna eficiente na elimina\`ao do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (SHARMA et al., 2012).



**Figura 5** - Atividade da catalase ( $\mu\text{mol min}^{-1} \mu\text{g prote\acute{a}na}^{-1}$ ) no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

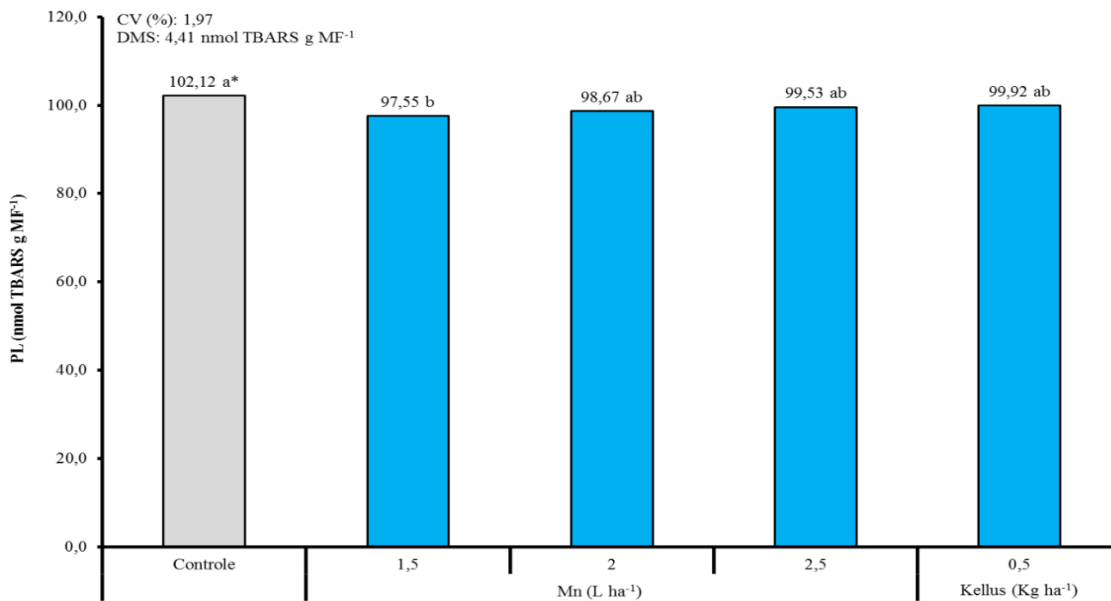
\* Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância

### *Peroxidação lipídica*

Para a peroxidação lipídica, os tratamentos apresentaram diferença estatística (Figura 6). Quando comparados os tratamentos com o controle, todos foram inferiores a ele. O tratamento Mn 1,5 L ha<sup>-1</sup> apresentou redução de 4,48% quando comparado com o controle.

Os maiores teores de peroxidação lipídica são encontrados quando à alta presença do radical livre

O<sub>2</sub>, principalmente nos cloroplastos (TRANTAPHYLIDES e HAVAUX, 2009). À medida que aumenta a formação desses EROS nas células, as enzimas se tornam ineficiente no controle dos mesmos, resultando na peroxidação lipídica (SOARES, 2016). Segundo Gill e Tuteja (2010), quando à aplicação de cobre, zinco, ferro e manganês ocorre indução de enzimas que atuam no metabolismo oxidativo, ou seja, essas enzimas degradam os radicais livres, o que repercute nos baixos teores de PL.



**Figura 2** - Teor de peroxidação de lipídeos (nmol TBARS g MF<sup>-1</sup>) no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.  
\* Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância

### Índice SPAD

Em relação ao índice SPAD (Figura 7), os tratamentos não apresentaram diferença estatística. Segundo Fagan (2007), a clorofila é atuante dos processos fotossintéticos, resultando em uma forma de avaliação fisiológica que explica os incrementos na produtividade. O índice SPAD é determinado pelo aparelho clorofilômetro e tem sido utilizado há muito tempo, para estimar de forma indireta os teores de N em folhas (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995). Os resultados obtidos na Figura 7 discordam com aqueles apresentados por Kirkby e Römheld (2007), que relatam que, na falta de Mn, não ocorre o complexo de evolução do oxigênio, assim os elétrons necessários para o fotossistema II não são liberados, prejudicando a molécula da clorofila.

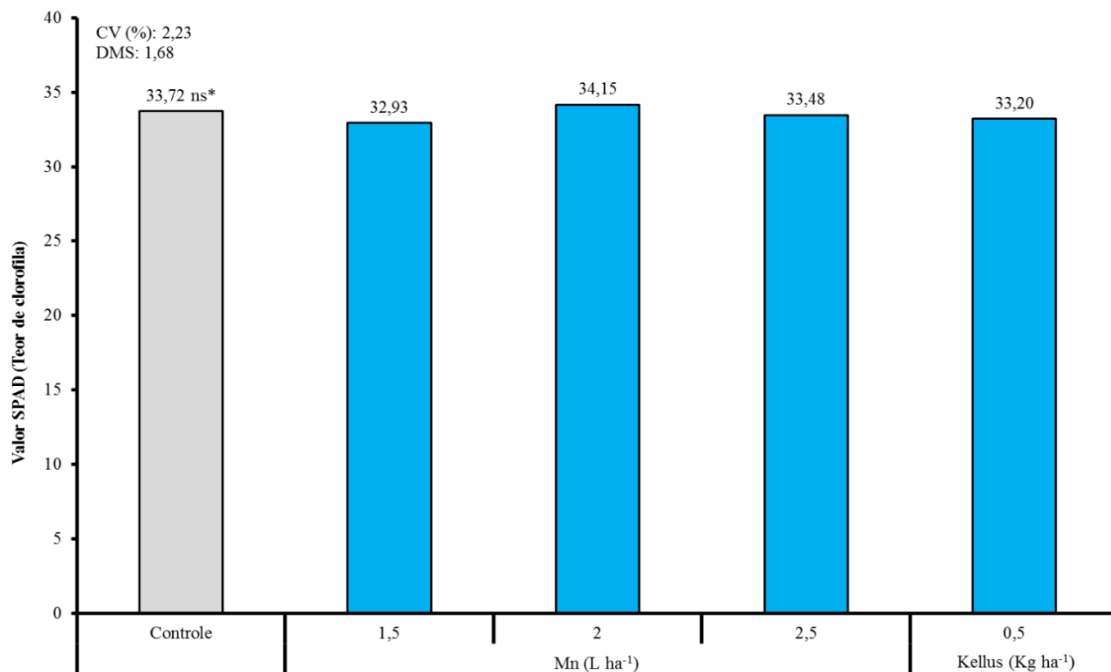
### Produtividade

Quando analisados os dados de produtividade (Figura 8), todos os tratamentos foram superiores ao controle. O maior aumento foi notado no tratamento Mn 2,0 L ha<sup>-1</sup>, com ganho de 7,64 sacas ha<sup>-1</sup>.

Esse ganho em produtividade pode estar relacionado ao fato de o Mn ser um micronutriente essencial para o metabolismo das plantas, atuando de diversas formas (ARNON, 1950). Além disso, é um nutriente importante na composição metabólica da planta e um ativador enzimático para várias enzimas associadas à via do ácido chiquímico, incluindo aminoácidos aromáticos, ligninas e flavonoides (MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006). Outro ponto observado nesse incremento na produtividade está relacionado à ativação das principais enzimas antioxidantes, que têm capacidade de controle da disponibilidade de EROS nas plantas, dentre elas superóxido

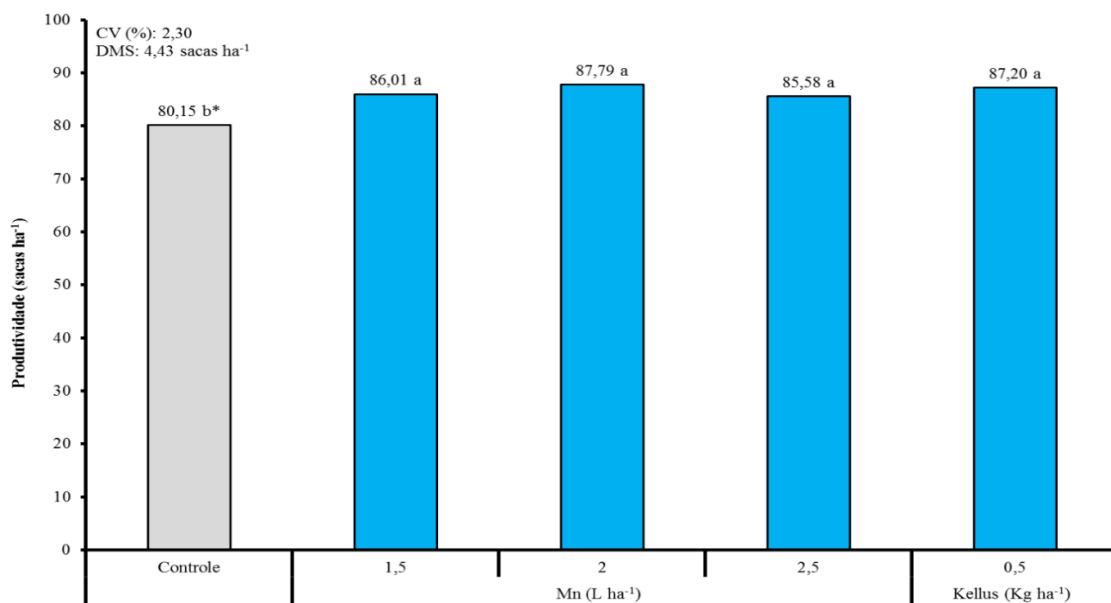
dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) (MITTLER, 2002; KIM e KWAK, 2010; DINAKAR et al., 2012). Tal processo resulta em menor produção de EROS nas plantas, ocorrendo assim

menos danos aos ácidos nucleicos, proteínas e lipídios, repercutindo em ganho de peso no enchimento dos grãos (GILL; TUTEJA, 2010).



**Figura 3** - Índice SPAD no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

\* Ns: não significativo pelo teste Tukey a 5% de significância.



**Figura 4** - Produtividade (sacas ha<sup>-1</sup>) no ensaio intitulado “Efeito do manganês como atenuador de estresse após aplicação de glifosato na cultura da soja”. Patos de Minas-MG, 2019.

\* Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que houve influência da aplicação de manganês nas variáveis realizadas. Desse modo, percebe-se que os melhores resultados foram encontrados quando da utilização de Mn 1,5 L ha<sup>-1</sup>, por demonstrar maior eficácia, de forma a atenuar os efeitos causados pelo glifosato.

## REFERÊNCIAS

- ALEXIEVA, V. et al. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment**, Malden, v. 24, p. 1337-1344, 2001.
- ARNON, D. I. Criteria of essentiality of inorganic micronutrients for plants with special reference to molybdenum. In: WALLACE, T. **Trace elements in plant physiology**. Waltham: Chronica Botanica, p. 31-39. (Biological Miscellany, 3), 1950.
- 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.
- BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 1-30.
- BOR, M.; OZDEMIR F.; TURKAN I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, 2003.
- 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.
- BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 125-137, 1988.
- CLIMATE DATA-ORG. **Clima São Gotardo**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/24954/> . Acesso em: 19 fev. 2019.
- COMPANHIA Nacional de Abastecimento - Conab, 2019. Disponível em: <file:///D:/Users/Administrador/Downloads/BoletimZGraosZfevereiroZ2019.pdf> Acesso em: 13 nov. 2019.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 432, 2006.
- DINAKAR, C. et al. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, 2012.
- DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system

in plants. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. Chap. 9, p. 178-203.

FAGAN, E. B. A cultura da soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina. 83f. **Tese (Doutorado em Fitotecnia)** - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FELLER, U.; ANDERS, I.; MAE, T. Rubiscolytics: fate of Rubisco after its enzymatic function in a cell is terminated. **Journal of Experimental of Botany**, Oxford, v. 59, n. 7, p. 1615-1624, 2008.

FERREIRA, D. F. **Sisvar - Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados**. Lavras: UFLA, p.19, 1998.

FRANZ, J. E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworths, p. 3-17, 1985.

GADJEV, I. et al. Programmed cell death in plants: new insights into redox regulation and the role of hydrogen peroxide. **International Review of Cell and Molecular Biology**, v. 270, p. 87-144, 2008.

GIL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p.909-930, 2010.

GRAHAM, R. D. Effect of nutrient stress on susceptibility of plants to disease

with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, London, v. 10, p. 221-276, 1983.

GRUYS, K. J.; SIKORSKI, J. A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B. K. **Plant amino acids: biochemistry and biotechnology**. New York: Marcel Dekker, p. 357-384, 1999.

HELDT, H. W.; HELDT, F. Phenylpropanoids comprise a multitude of plant secondary metabolites and cell wall components. In: HELDT, H. W. **Plant biochemistry**. San Diego: Academic, 2005. p. 435-454.

HERNADES, A. **Influencia do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de caramboleira**. Jaboticabal- SP. Julho de 2009.

JAWORSKI, E. G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 20, p. 1195-1198, 1972.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, Rockville, v. 57, p. 315-319, 1976.

KARUPPANAPANDIAN, T. et al. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 709-725, 2011.

KIM, Y. H.; KWAK, S. S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.129-150.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Encarte Técnico. International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 118, 2007.

LOCATO, V. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 45-64.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1997.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 405-410, 2002.

NYATHI, Y.; BAKER, A. Plant peroxisomes as a source of signaling molecules. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1763, p. 1478-1495, 2006.

OZTURK, L. et al. Glyphosate inhibition of ferric reductase activity in iron

deficient sunflower roots. **New Phytologist**, v.17, p. 899-906, 2009.  
PEIXOTO, H. P. P. et al. 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.

PEROZINI, A. C. **Glifosato e manganês na cultura da soja transgênica: fisiologia e nutrição de planta, características agronômicas e análise econômica**. UNESP- Ilha Solteira, p. 69, 2016.

QUINN, J. P. Interactions of the herbicides glyphosate and glufosinate (phosphinothricin) with the soil microflora. In: ALTMAN, J. (Ed.) **Pesticides interactions in crop production** - beneficial and deleterious effects. Boca Raton: CTC Press, p. 245-265, 1993.

RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, p. 157-165, 1998.

SCHADCHINA, T. M., DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 8, p. 1427-1437, 1995.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v.2012, p.1-26, 2012.



SOARES, L. H. **Alterações fisiológicas e fonométricas na cultura de soja devido ao uso de lactofen, cinetina, acidam salicílico e boro.** Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SOUZA, D. V. de et al. Análise pluviométrica da carta topográfica de São Gotardo referente ao período de 1978 a 2003. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57, 2005, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** São Paulo: SBPC/UECE, 2005. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/57ra/>. Acesso em: 19 fev. 2019.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v. 153, n. 1, p. 65-72, 2000.

TRANTAPHYLIDES C.; HAVAUX, M. Singlet oxygen in plants: production, detoxification and signaling. **Trends in Plant Science**, v. 14, n. 4, p. 219-229, 2009.

YAMADA, T. **International Plant Nutrition Institute:** efeitos do glifosato nas plantas, implicações fisiológicas e agrônômicas. Setembro, 2007.

ZABLOTOWICZ, R. M.; REDDY, K. N. Impact of glyphosate and *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 825-831, 2004.

ZVALETA-MANCERA, H. A. et al. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark- senescence. **Journal of Experimental of Botany**, Baltimore, v. 164, p. 1572-1582, 2007.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Glyphosate reduces shoot concentrations of mineral nutrients in glyphosate-resistant soybean. **Plant and Soil**, v. 328, p. 57-69, 2010