

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Impacto das tecnologias da soja tolerante aos herbicidas auxínicos
sobre a fixação biológica de nitrogênio e colonização micorrízica
arbuscular**

Francielli Santos de Oliveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2022**

Francielli Santos de Oliveira
Engenheira Agrônoma

**Impacto das tecnologias da soja tolerante aos herbicidas auxínicos sobre
a fixação biológica de nitrogênio e colonização micorrízica arbuscular**

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO JACOB CHRISTOFFOLETI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2022

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT.....	5
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	7
2. CONSIDERAÇÕES FINAIS	9
REFERÊNCIAS	11

RESUMO

Impacto das tecnologias da soja tolerante aos herbicidas auxínicos sobre a fixação biológica de nitrogênio e colonização micorrízica arbuscular

Herbicidas aplicados sobre culturas transgênicas ou não podem afetar suas relações com microrganismos simbiotes. Em um cenário onde a introdução de cultivares de soja transgênica tolerantes ao dicamba ou ao 2,4-D possibilita a aplicação destes herbicidas ao longo do ciclo vegetativo da cultura, torna-se necessário entender se haverá interferências sobre os principais simbiotes da soja pelo uso destes auxínicos. Neste sentido, o objetivo deste experimento foi verificar os efeitos sobre a fixação biológica de nitrogênio, colonização micorrízica arbuscular e produção de grãos em cultivares de soja tolerante aos herbicidas dicamba e 2,4-D após aplicação sob diferentes condições nutricionais. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação de maneira isolada para MON 87708 × MON 89788 e DAS-44406-6 x DAS-81419-2, sob delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 2x2, com cinco repetições. Os herbicidas dicamba (480 g e.a. ha⁻¹) e 2,4-D (456 g e.a. ha⁻¹) foram aplicados sobre os respectivos materiais de soja tolerante em V3, assim como houve uma testemunha sem aplicação para cada. A adubação básica constou de monoamônio fosfato (170 kg ha⁻¹) e cobertura parcelada com cloreto de potássio (60 kg ha⁻¹). Na adubação completa o sistema básico foi suplementado com micronutrientes foliares em V4, R1 e R5. Avaliou-se variáveis relacionadas ao crescimento, como altura, área foliar e massa seca dos sistemas caulinar e radicular, além da massa seca de nódulos, o teor de nitrogênio foliar, a porcentagem de colonização micorrízica, o teor de fósforo foliar e a produção de grãos ao final do ciclo. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey (p=0,05). A aplicação de dicamba e 2,4-D podem influenciar negativamente as relações de nodulação e colonização micorrízica arbuscular em soja tolerante, apesar de características relacionadas ao crescimento vegetal terem sofrido pouco ou nenhum efeito decorrente da aplicação destes herbicidas e dos sistemas de adubação. O acúmulo de N e P foliar também foi pouco responsivo aos tratamentos, no entanto, pode haver reduções na produção de grãos de ambos os materiais a depender de condições de adubação e interações entre fertilizantes foliares e herbicidas.

Palavras-chave: Dicamba, 2,4-D, Microrganismos do solo, Culturas transgênicas

ABSTRACT

Impact of technologies of auxinic herbicide tolerant soybeans on biological nitrogen fixation and arbuscular mycorrhizal colonization

Herbicides applied to transgenic or non-transgenic crops can affect their relationships with symbiont microorganisms. In a scenario where the introduction of transgenic soybean cultivars tolerant to dicamba or 2,4-D allows the application of these herbicides throughout the vegetative cycle of the crop, it becomes necessary to understand if there will be interference on the primary soybean symbionts by the use of these auxins. In this sense, the objective of this experiment was to verify the effects on biological nitrogen fixation, arbuscular mycorrhizal colonization, and grain production in soybean cultivars tolerant to the herbicides dicamba and 2,4-D after application under different nutritional conditions. A greenhouse experiment was conducted in isolation for MON 87708 × MON 89788 and DAS-44406-6 × DAS-81419-2 under a randomized block design in a 2x2 factorial scheme with five repetitions. The herbicides dicamba (480 g e.a. ha⁻¹) and 2,4-D (456 g e.a. ha⁻¹) were applied to the respective tolerant soybean materials at V3 and control without application for each. Base fertilization consisted of monoammonium phosphate (170 kg ha⁻¹) and top dressing with potassium chloride (60 kg ha⁻¹). The base system was supplemented with foliar micronutrients at complete fertilization at V4, R1, and R5. Growth-related variables such as height, leaf area, dry mass of the stem and root systems were evaluated, nodule dry mass, leaf nitrogen content, percentage of mycorrhizal colonization, leaf phosphorus content, and grain yield at the end of the cycle. The data were submitted to variance analysis and Tukey's test (p=0.05). The application of dicamba and 2,4-D can negatively influence nodulation and arbuscular mycorrhizal colonization relationships in tolerant soybean, although plant growth-related characteristics suffer little or no effect from the application of these herbicides and fertilization systems. The accumulation of leaf N and P was also little responsive to the treatments; however, there may be reductions in grain yield of both materials depending on fertilization conditions and interactions between foliar fertilizers and herbicides.

Keywords: Dicamba, 2,4-D, Soil microorganisms, Transgenic crops

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

De acordo com dados levantados pelo *The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications* – ISAAA, (2018) no Brasil foram cultivados 34,86 milhões de hectares de soja com algum tipo de evento biotecnológico, o que corresponde a 97,1% da área total cultivada, sendo que se destacam os eventos de tolerância a herbicidas isolados ou aliados com característica de resistência a insetos.

Em razão da grande taxa de adoção de tais tecnologias, há relatos na literatura que avaliam os possíveis efeitos dos herbicidas, cuja tolerância foi inserida na planta, têm sobre microrganismos simbiotes do solo. Neste sentido, Fan et al. (2017) verificaram que em soja tolerante ao herbicida glifosato, sua aplicação resultou na redução da atividade de fixação de N₂, e no crescimento da planta, além de inibir o crescimento de rizóbios isolados de nódulos radiculares. Já em soja tolerante ao herbicida glufosinato de amônio, Franzoni (2018) não observou efeito da aplicação dele sobre a massa seca de nódulos nas plantas estudadas.

Outra importante associação microbiana que se estabelece com a soja são as micorrizas. A resposta da colonização micorrízica arbuscular frente a aplicação de defensivos agrícolas é bastante variável, visto que Franzoni (2018) verificou que em soja tolerante ao herbicida glufosinato de amônio, após sua aplicação houve uma discreta redução na porcentagem de colonização micorrízica, enquanto que em soja tolerante ao glifosato Reis et al. (2014) observaram que as aplicações de glifosato que continham adjuvantes na formulação reduziram a colonização micorrízica arbuscular apenas no segundo ano de experimento.

É sabido também que as condições ambientais e nutricionais do solo podem afetar o processo de infecção por parte dos microrganismos fixadores de nitrogênio e dos fungos micorrízicos arbusculares. Cerezini et al. (2016) constataram que condições de seca e altas temperaturas ocasionaram uma acentuada diminuição na nodulação da soja, assim como na produtividade de grãos. Além disso, práticas como a adubação nitrogenada podem inibir a formação de nódulos, dependendo da dosagem fornecida (PANNECOUCQUE et al., 2022). Quanto a colonização micorrízica, Ahmed; Yagoub; Elsheikh, (2000) observaram que em condições de solo seco, e com baixa concentração de fósforo, houve alta colonização.

Nos últimos anos, novos eventos transgênicos vêm recebendo liberação comercial no país, como por exemplo as cultivares de soja tolerantes aos herbicidas auxínicos dicamba e 2,4-D, estaqueados ou não ao glifosato e/ou glufosinato de amônio (CTNBio, 2017; CTNBio, 2018). Originalmente, os herbicidas 2,4-D e dicamba eram recomendados para aplicação em pré-plantio ou dessecação (RODRIGUES; ALMEIDA, 2018), mas com a introdução dos genes de tolerância tornou-se possível aplicá-los sobre a soja em pós-emergência durante o estágio vegetativo (AGROFIT, 2018; AGROFIT, 2019).

Os herbicidas 2,4-D e dicamba são pertencentes ao grupo dos auxínicos, com atividade específica sobre plantas eudicotiledôneas e algumas monocotiledôneas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Christoffoleti et al. (2015) relatam a existência de dois receptores de auxinas, o receptor ABP1 (Auxin Binding Protein 1), que atua alterando o arranjo de filamentos de actina e microtúbulos gerando o sintoma de epinastia. Já o segundo receptor consiste na via de transcrição gênica regulada pelo complexo de ubiquitinação SCF^{Tir/AFB}, que após uma série de processos de repressão e expressão gênicos resultam na alta produção de espécies reativas de oxigênio, e consequente morte dos tecidos vegetais.

Apesar do 2,4-D e dicamba serem produtos presentes no mercado há bastante tempo, sua utilização sobre soja ainda em estágio vegetativo é recente. Estudos a respeito do possível impacto destes herbicidas auxínicos sobre microrganismos do solo são escassos, ainda mais considerando os efeitos conjuntos de práticas de manejo como a adubação. Deste modo, o objetivo desta pesquisa foi verificar os efeitos sobre a fixação biológica de nitrogênio, colonização micorrízica arbuscular e produção de grãos em cultivares de soja tolerante aos herbicidas dicamba e 2,4-D após aplicação sob diferentes condições nutricionais.

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há indicativos de que a aplicação de dicamba e 2,4-D podem influenciar negativamente as relações de nodulação e colonização micorrízica arbuscular em soja tolerante, apesar de características relacionadas ao crescimento vegetal terem sofrido pouco ou nenhum efeito decorrente da aplicação destes herbicidas e dos sistemas de adubação. O acúmulo de N e P foliar também foi pouco responsivo aos tratamentos, no entanto, pode haver reduções na produção de grãos de ambos os materiais a depender de condições de adubação e interações entre fertilizantes foliares e herbicidas.

Sugere-se ainda que seja testada a hipótese de que a inserção do transgene de tolerância aos herbicidas auxínicos em soja pode gerar uma diferença na interação entre a planta e a microbiota associada, além dos efeitos atribuídos a aplicação de dicamba e 2,4-D, já que algo neste sentido foi relatado na literatura para soja tolerante ao glifosato.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. Aectra. 2018. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- AGROFIT. Enlist Colex-D. 2019. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; DE FARIA, R. T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 1053–1058, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/brag/a/gjNwhGKRyn8488B43gMSRRp/?lang=pt>>. Acesso em: 3 maio. 2022.
- AHMED, F. E.; YAGOUB, S. O.; ELSHEIKH, E. A. E. Effects of Mycorrhizal Inoculation and Phosphorus Application on the Nodulation, Mycorrhizal Infection and Yield Components of Faba Bean Grown Under Two Different Watering Regimes. **University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences**, v. 8, p. 107–117, 1 jan. 2000.
- ANTUNES JUNIOR, M. Z. **Avaliação fisiológica da produção de soja Roundup Ready com aplicação de herbicida glyphosate em campo**. 2014. Universidade Federal de Mato Grosso, 2014. Disponível em: <https://www.ufmt.br/ppgat/imagens/uploads/Dissertações-Teses/Teses/2014/MARIO_ZORTÉA_ANTUNES_JUNIOR_-_TESE.pdf>. Acesso em: 9 out. 2019.
- BRUNDRETT, M. C.; TEDERSOO, L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1108–1115, 1 dez. 2018. Disponível em: <<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.14976>>. Acesso em: 30 dez. 2019.
- BULGARELLI, R. G.; MARCOS, F. C. C.; RIBEIRO, R. V.; DE ANDRADE, S. A. L. Mycorrhizae enhance nitrogen fixation and photosynthesis in phosphorus-starved soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Environmental and Experimental Botany**, v. 140, p. 26–33, 1 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847217301296>>. Acesso em: 30 set. 2019.
- CARTER, A. M.; TEGEDER, M. Increasing Nitrogen Fixation and Seed Development in Soybean Requires Complex Adjustments of Nodule Nitrogen Metabolism and Partitioning Processes. **Current Biology**, v. 26, n. 15, p. 2044–2051, 8 ago. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982216306157>>. Acesso em: 30 dez. 2019.
- CARVALHO, L. B.; PEREIRA, M. D. C.; BORGES, P. E. V.; SILVA, F. J.; COSTA, F. R.; CARVALHO, L. B.; PEREIRA, M. D. C.; BORGES, P. E. V.; SILVA, F. J.; COSTA, F. R. RESPOSTA DIFERENCIAL DAS CULTURAS DE MILHO RR E SOJA RR À EXPOSIÇÃO A GLYPHOSATE E ADUBAÇÃO FOSFATADA. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 751–758, 1 out. 2015. Disponível em: <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582015000400751&lng=en&nrm=iso&lng=pt>. Acesso em: 5 jun. 2022.
- CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. ASPECTOS DA SIMBIOSE MICORRÍZICA ARBÚSCULAR. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5, n. 0, p. 180–208, 21 out. 2013. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/179>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- CECCON, C. C.; CAVERZAN, A.; MARGIS, R.; SALVADORI, J. R.; GRANDO, M. F. Gene stacking as a strategy to confer characteristics of agronomic importance in plants by genetic engineering. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, 27 abr. 2020. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cr/a/j3nSp5yjZBRJvkQVkhRyxLj/>>. Acesso em: 21 maio. 2022.

CEREZINI, P.; KUWANO, B. H.; DOS SANTOS, M. B.; TERASSI, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. **Field Crops Research**, v. 196, p. 160–167, 1 set. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429016302039>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; FIGUEIREDO, M. R. A. de; PERES, L. E. P.; NISSEN, S.; GAINES, T. Auxinic herbicides, mechanisms of action, and weed resistance: A look into recent plant science advances. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 356–362, ago. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162015000400356&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 27 dez. 2019.

CIAMPITTI, I. A.; SALVAGIOTTI, F. New Insights into Soybean Biological Nitrogen Fixation. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 4, p. 1185–1196, 1 jul. 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.06.0348>>. Acesso em: 2 jun. 2022.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Glyphosate e adubação foliar com manganês na cultura da soja transgênica. **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 721–727, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/pd/a/6BMsCqMVrmdKgFpWWfDZ48S/?lang=pt>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

CTNBio. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Parecer técnico nº 5500/2017. 2017. Disponível em: <<http://ctnbio.mctic.gov.br/>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

CTNBio. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Parecer técnico nº 5832/2018. 2018. Disponível em: <<http://ctnbio.mctic.gov.br/>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

DROUIN, P.; SELLAMI, M.; PRÉVOST, D.; FORTIN, J.; ANTOUN, H. Tolerance to agricultural pesticides of strains belonging to four genera of Rhizobiaceae. <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2010.515168>, v. 45, n. 8, p. 757–765, 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601234.2010.515168>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

DRUILLE, M.; CABELLO, M. N.; OMACINI, M.; GOLLUSCIO, R. A. Glyphosate reduces spore viability and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 99–103, 1 fev. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139312002466#bib0105>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

DUMITRU, R.; JIANG, W. Z.; WEEKS, D. P.; WILSON, M. A. Crystal Structure of Dicamba Monooxygenase: A Rieske Nonheme Oxygenase that Catalyzes Oxidative Demethylation. **Journal of Molecular Biology**, v. 392, n. 2, p. 498–510, 18 set. 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas**. 2ª edição. Londrina, PR. Editora Planta. 2006. p. 180-329.

FAN, L.; FENG, Y.; WEAVER, D. B.; DELANEY, D. P.; WEHTJE, G. R.; WANG, G. Glyphosate effects on symbiotic nitrogen fixation in glyphosate-resistant soybean. **Applied Soil Ecology**, v. 121, p. 11–19, 1 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139317303384>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

FERNANDEZ, V.; EICHERT, T. Uptake of Hydrophilic Solutes Through Plant Leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>, v. 28, n. 1–2, p. 36–68, jan. 2009. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352680902743069>>. Acesso em: 3 jun. 2022.

FRANZONI, M. M. **Aspectos do glufosinato de amônio como principal ferramenta de controle no manejo de plantas daninhas na soja**. 2018. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25072018-171606/>>. Acesso em: 23 fev. 2019.

GHORAI, A. K.; PATSA, R.; JASH, S.; DUTTA, S. Microbial secondary metabolites and their role in stress management of plants. **Biocontrol Agents and Secondary Metabolites**, p. 283–319, 1 jan. 2021.

GOMES, G. L. B.; SCORTECCI, K. C. Auxin and its role in plant development: structure, signalling, regulation and response mechanisms. **Plant Biology**, v. 23, n. 6, p. 894–904, 1 nov. 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/plb.13303>>. Acesso em: 17 maio. 2022.

GROSSMANN, K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action. **Pest Management Science**, v. 66, n. 2, p. n/a-n/a, 1 fev. 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ps.1860>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

HANSEL, F. D.; AMADO, T. J. C.; RUIZ DIAZ, D. A.; ROSSO, L. H. M.; NICOLOSO, F. T.; SCHORR, M. Phosphorus Fertilizer Placement and Tillage Affect Soybean Root Growth and Drought Tolerance. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 6, p. 2936–2944, 1 nov. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.04.0202>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

HERMAN, P. L.; BEHRENS, M.; CHAKRABORTY, S.; CHRASTIL, B. M.; BARYCKI, J.; WEEKS, D. P. A Three-component Dicamba O-Demethylase from *Pseudomonas maltophilia*, Strain DI-6. **Journal of Biological Chemistry**, v. 280, n. 26, p. 24759–24767, 1 jul. 2005. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021925820656265>>. Acesso em: 17 maio. 2022.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; NAKATANI, A. S.; DOS REIS-JUNIOR, F. B.; MORAIS, J. Z.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; FERNANDES, M. F. Effects of the glyphosate-resistance gene and herbicides on soybean: Field trials monitoring biological nitrogen fixation and yield. **Field Crops Research**, v. 158, p. 43–54, 1 mar. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842901300436X>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

ISAAA. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2018**. 54. ed. Ithaca, NY: ISAAA, 2018.

JENKINS, M.; LOCKE, M.; REDDY, K.; MCCHESENEY, D. S.; STEINRIEDE, R. Glyphosate Applications, Glyphosate Resistant Corn, and Tillage on Nitrification Rates and Distribution of Nitrifying Microbial Communities. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 6, p. 1371–1380, 1 nov. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2017.02.0063>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Soybean: Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 179–186, 2001.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B. de; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1–16, fev. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000100001&lng=pt&lng=pt>. Acesso em: 31 dez. 2019.

KREMER, R. J.; MEANS, N. E. Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. **European Journal of Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 153–161, 1 out. 2009. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030109000641>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

KREMER, R.; MEANS, N.; KIM, S.; KREMER, R. J.; MEANSZ, N. E.; KIMZ, S. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere micro-organisms. **http://dx.doi.org/10.1080/03067310500273146**, v. 85, n. 15, p. 1165–1174, 20 dez. 2007. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03067310500273146>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

KWEON, O.; KIM, S. J.; BAEK, S.; CHAE, J. C.; ADJEI, M. D.; BAEK, D. H.; KIM, Y. C.; CERNIGLIA, C. E. A new classification system for bacterial Rieske non-heme iron aromatic ring-hydroxylating oxygenases. **BMC Biochemistry**, v. 9, n. 1, p. 1–20, 3 abr. 2008. Disponível em: <<https://bmcbiochem.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2091-9-11>>. Acesso em: 17 maio. 2022.

LANG, M.; ZHANG, C.; SU, W.; CHEN, X.; ZOU, C.; CHEN, X. Long-term P fertilization significantly altered the diversity, composition and mycorrhizal traits of arbuscular mycorrhizal fungal communities in a wheat-maize rotation. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104261, 1 fev. 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092913932100384X>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

LIN, J.; FRANK, M.; REID, D. No home without hormones: how plant hormones control legume nodule organogenesis. **Plant Communications**, v. 1, n. 5, p. 100104, 14 ago. 2020.

MEROTTO, A.; WAGNER, J.; MENEGUZZI, C. Efeitos do herbicida glifosato e da aplicação foliar de micronutrientes em soja transgênica. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 499–508, 25 fev. 2015. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22307>>. Acesso em: 3 jun. 2022.

NADZIEJA, M.; KELLY, S.; STOUGAARD, J.; REID, D. Epidermal auxin biosynthesis facilitates rhizobial infection in *Lotus japonicus*. **The Plant Journal**, v. 95, n. 1, p. 101–111, 1 jul. 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/tpj.13934>>. Acesso em: 28 set. 2020.

NANDULA, V. K.; TYLER, H. L.; NANDULA, V. K.; TYLER, H. L. Effect of New Auxin Herbicide Formulations on Control of Herbicide Resistant Weeds and on Microbial Activities in the Rhizosphere. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 17, p. 2429–2439, 8 dez. 2016. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=72704>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de. Mecanismos de ação dos herbicidas. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Ed.). **Biologia de Plantas Daninhas**. 1ª ed. Curitiba: ONMIPAX Editora, 2011. p. 141–191.

ORTAS, I. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. **Field Crops Research**, v. 125, p. 35–48, 18 jan. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429011002693>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; BIFFE, D. F.; OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; BIFFE, D. F. SPECTRUM OF WEED CONTROL WITH 2,4-D AND DICAMBA HERBICIDES ASSOCIATED TO GLYPHOSATE OR NOT. **Planta Daninha**, v. 35, n. 0, 4 set. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582017000100251&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 29 dez. 2019.

PANNECOUCQUE, J.; GOORMACHTIGH, S.; CEUSTERS, N.; BODE, S.; BOECKX, P.; ROLDAN-RUIZ, I. Soybean response and profitability upon inoculation and nitrogen fertilisation in Belgium. **European Journal of Agronomy**, v. 132, 1 jan. 2022.

PETTER, F. A.; PROCÓPIO, S. O.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BARROSO, A. L. L.; PACHECO, L. P. Manejo de herbicidas na cultura da soja Roundup Ready®. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 557–566, jul. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/pd/a/T6GNxCZYMVGxGdwwmg3pdjC/?lang=pt>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

PRUDENT, M.; SALON, C.; SMITH, D. L.; EMERY, R. J. N. Nod factor supply under water stress conditions modulates cytokinin biosynthesis and enhances nodule formation and N nutrition in soybean. **Plant signaling & behavior**, v. 11, n. 9, p. e1212799, 2016. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27454159>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

REIS, M. R.; REIS, R. M.; ALMEIDA, W. L.; CARVALHO, A. M. X.; RONCHI, C. P.; DIAS, R. C. Micorrização, nodulação e produção da soja roundup ready após a aplicação de diferentes formulações de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 563–569, set. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582014000300012&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 8 out. 2019.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 7^a ed. [s.l.] Produção independente, 2018.

RODRÍGUEZ-SERRANO, M.; PAZMIÑO, D. M.; SPARKES, I.; ROCHETTI, A.; HAWES, C.; ROMERO-PUERTAS, M. C.; SANDALIO, L. M. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid promotes S-nitrosylation and oxidation of actin affecting cytoskeleton and peroxisomal dynamics. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 17, p. 4783–4793, 1 set. 2014. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/eru237>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

SANTACHIARA, G.; SALVAGIOTTI, F.; ROTUNDO, J. L. Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 240, p. 106–115, 1 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429018316757>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

SILVA, A. F. M.; LUCIO, F. R.; RAFAEL DE MARCO, L.; GIRALDELI, A. L.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; FILHO, R. V.; NUNES, F. A. Herbicides in agronomic performance and chlorophyll indices of Enlist E3 and Roundup Ready soybean. **AJCS**, v. 15, n. 02, p. 305–311, 2021.

SMITH, P. M. C.; ATKINS, C. A. Purine Biosynthesis. Big in Cell Division, Even Bigger in Nitrogen Assimilation. **Plant Physiology**, v. 128, n. 3, p. 793 LP – 802, 1 mar. 2002. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/content/128/3/793.abstract>>.

SOARES, D. J.; OLIVEIRA, W. S.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; CHRISTOFFOLETI, P. . Control of glyphosate resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) with dicamba and 2,4-D. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 401–406, jun. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582012000200020&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 29 dez. 2019.

STREETER, J. G. Carbohydrates in Soybean Nodules: II. DISTRIBUTION OF COMPOUNDS IN SEEDLINGS DURING THE ONSET OF NITROGEN FIXATION. **Plant physiology**, v. 66, n. 3, p. 471–6, 1 set. 1980. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16661458>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

TROGNITZ, F.; HACKL, E.; WIDHALM, S.; SESSITSCH, A. **The role of plant-microbiome interactions in weed establishment and control** **FEMS Microbiology Ecology** Oxford University Press, , 1 out. 2016. .

TYLER, H. L. Foliar Dicamba Application Has No Lasting Effects on Microbial Activities in the Soybean Rhizosphere. **American Journal of Plant Sciences**, v. 11, n. 11, p. 1706–1713, 12 nov. 2020. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=104169>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

VANNESTE, S.; FRIML, J. Auxin: A Trigger for Change in Plant Development. **Cell**, v. 136, n. 6, p. 1005–1016, 20 mar. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009286740900258X>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

WANG, H. W.; MA, C. Y.; XU, F. J.; LU, F.; ZHANG, W.; DAI, C. C. Root endophyte-enhanced peanut-rhizobia interaction is associated with regulation of root exudates. **Microbiological Research**, v. 250, 1 set. 2021.

WANG, L.; SUN, Z.; SU, C.; WANG, Y.; YAN, Q.; CHEN, J.; OTT, T.; LI, X. A GmNINa-miR172c-NNC1 Regulatory Network Coordinates the Nodulation and Autoregulation of Nodulation Pathways in Soybean. **Molecular Plant**, v. 12, n. 9, p. 1211–1226, 2 set. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674205219302035#bib23>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

XIAO, P. ying; LIU, Y.; CAO, Y. ping. Overexpression of G10-EPSPS in soybean provides high glyphosate tolerance. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 8, p. 1851–1858, 1 ago. 2019.

ZOBIOLE, L. H. S.; KREMER, R. J.; OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J. Glyphosate affects microorganisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. **Journal of Applied Microbiology**, v. 110, n. 1, p. 118–127, 1 jan. 2011. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2672.2010.04864.x>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JR, R. S. de; KREMER, R. J.; MUNIZ, A. S.; OLIVEIRA JR, A. de. Nutrient accumulation and photosynthesis in glyphosate-resistant soybeans is reduced under glyphosate use. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 12, p. 1860–1873, 2010.