



O óxido nítrico mitiga o déficit hídrico no milho? Revisão sistemática e metanálise

Alisson Neves Santos¹
Valquiria Mikaela Rabelo²
Gabriela Azevedo Rocha³
Plínio Rodrigues dos Santos Filho⁴
Thiago Correa de Souza⁵
Cléber Moterani Tavares⁶

Tecnologia Ambiental

Resumo

A cultura do milho é uma das mais importantes do cenário agrícola mundial e possui papel fundamental no que se refere à economia de muitos países. Entretanto, alguns fatores bióticos e abióticos podem impactar em resultados negativos sobre esta cultura. Um fator abiótico que se destaca entre os outros, é o déficit hídrico. O Óxido Nítrico é uma molécula que desempenha diversos efeitos fisiológicos nas plantas, e um desses pode estar envolvido no aumento da tolerância ao estresse hídrico. O objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sistemática com metanálise para verificar se o Óxido Nítrico pode atuar como molécula sinalizadora na tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho. Trata-se de uma revisão sistemática com metanálise desenvolvida de acordo com as orientações da recomendação PRISMA sob o registro no International Prospective Register of Ongoing Systematic Reviews (PROSPERO). Ao todo foram identificados 1.843 registros, dentre os quais 67 foram destinados à análise bibliométrica e 6 à metanálise. Para a metanálise foram utilizadas as seguintes variáveis: peroxidação lipídica (MDA), atividade da Superóxido Dismutase (SOD) e a presença do NO.

Palavras-chave: Bioestimulante Vegetal; Peroxidação Lipídica; Zea Mays, Milho

¹Doutorando em Ciências Ambientais – PPGCA, Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, alisson.santos@sou.unifal-mg.edu.br

²Doutorando em Ciências Ambientais – PPGCA, Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, valquiria.rabelo@sou.unifal-mg.edu.br

³Doutoranda em Ciências Ambientais – PPGCA, Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, gabriela.rocha@sou.unifal-mg.edu.br

⁴Professor Dr. Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, plinio.santos@unifal-mg.edu.br

⁵Professor Dr. Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, thiago.souza@unifal-mg.edu.br

⁶ Doutorando em Ciências Ambientais – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade Federal de Alfenas, cleber.tavares@sou.unifal-mg.edu.br



INTRODUÇÃO

O cenário agrícola vem mostrando que as culturas estão continuamente submetidas à diferentes condições de estresses abióticos (Teixeira et al., 2020), que ocorrem quando fatores ambientais prejudicam as condições fisiológicas das plantas, sendo denominados de fatores de estresse ou apenas estresse (Warsi; Howladar; Alsharif, 2023). De todos os fatores de estresse envolvidos no cultivo de cereais, a disponibilidade hídrica é considerado o fator de maior destaque a ser estudado, uma vez que há uma grande busca por alternativas que visam diminuir os impactos causados pela falta de água. Além disso, o desenvolvimento de métodos que ajudem a mitigar os efeitos negativos dos mais diferentes tipos de estresse é indispensável para a evolução das culturas agrícolas (AMARO et al., 2023).

Na cultura do milho os fatores que estão mais ligados à redução da produtividade são abióticos relacionados ao clima (disponibilidade hídrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e irradiação solar), e o fator com maior frequência e intensidade é a disponibilidade de água, gerando conseqüentemente perdas no rendimento da cultura (SANTOS et al., 2022).

Para que novos métodos possam ser idealizados a fim de reverter danos causados por algum tipo de estresse em plantas, torna-se imprescindível o entendimento detalhado (fisiológico e bioquímico) das conseqüências causadas por ele. Pois, é a partir de então que experimentos de várias formas podem ser realizados, com o propósito de gerar resultados que contribuam para culturas em condições de estresse (SILVA et al., 2021).

O Óxido Nítrico (NO) por exemplo, é uma molécula que pode desempenhar vários papéis na fisiologia das plantas, uma vez que não necessita de um transportador para atravessar membranas, e é considerado como lipofílico, diatômico e incolor (KHAN et al., 2023).

O NO pode ser chamado também de monóxido de hidrogênio, e pertence às moléculas do tipo radical livre por possuir um elétron não emparelhado em um de seus orbitais. Outro aspecto do NO e derivados da molécula é que, direta ou indiretamente, eles podem estar envolvidos em modificações pós-traducionais, incluindo ligação a centros

Realização



metálicos, a S-nitrosilação de grupos tiol e a nitração da tirosina, que por sua vez pode estar envolvida na sinalização celular em situações de estresse (CORPAS et al., 2011).

O óxido nítrico endogenamente nas plantas pode ser gerado tanto por mecanismos enzimáticos quanto não enzimáticos (NEILL; DESIKAN; HANCOCK, 2003). Os mecanismos enzimáticos foram descritos a partir do uso e eficácia de uma série de inibidores de NOS, dos quais a aminoguanidina foi considerada a mais eficaz. Essas moléculas catalisam a formação de NO a partir da L-arginina, que sofre uma oxidação de cinco elétrons, sendo indispensáveis para a reação NADPH e oxigênio molecular. Já a nitrato redutase gera NO usando como substratos o NO₂⁻ e NADH (YAMASAKI; SAKIHAMA; TAKAHASHI, 1999).

As revisões sistemáticas são evidências de alta qualidade, que resumem em um único estudo os resultados de pesquisas originais desenvolvidas em uma determinada área, no qual são construídas de forma metódica, transparente e reaplicável (DONATO; DONATO, 2019). Em alguns casos, a metanálise, que consiste em um método estatístico empregado através da combinação dos resultados originais com intuito de elucidar questões sobre o tema proposto, pode ser realizada junto com a revisão sistemática (BALDUZZI; RUCKER; SCHWARZER, 2019).

Considerando a relevância da cultura do milho no âmbito mundial e a potencialidade do óxido nítrico enquanto sinalizador, o objetivo do presente estudo foi conduzir uma revisão sistemática com metanálise para verificar se o Óxido Nítrico pode atuar como molécula sinalizadora na tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho.

METODOLOGIA

A revisão sistemática foi realizada de acordo com as orientações da recomendação PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses) (MOHER et al., 2015), sob o registro no International Prospective Register of Ongoing Systematic Reviews (PROSPERO) de número CRD42022335324. A busca foi realizada com os termos: *nitric oxide*, *maize Zea mays*, *drought* e *water stress* nas bases de dados PubMed, Scielo e ScienceDirect. Foram feitas buscas com e sem os operadores booleanos. As buscas

Realização





foram realizadas com o filtro no intervalo de tempo de 1 de janeiro de 2002 a 13 de maio de 2022.

A estatística da análise bibliográfica foi feita no BioEstat 5.0, no qual para classificar a tendência do número de publicação por ano, tanto geral, quanto da China, foi adotado o método proposto por Antunes e Cardoso (2015). Na análise utiliza-se a fórmula $y = b_0 + b_1X$, onde y equipara-se ao valor da série temporal, x ao ano, b_0 ao intercepto da reta com eixo vertical e b_1 à inclinação da reta. A linha de tendência, assim como o valor de b_1 e a diminuição da heterogeneidade de variância dos resíduos foram executados mediante software estatístico. Segundo Antunes e Cardoso (2015), a tendência é dada como crescente quando o valor de B_1 é positivo e o nível de significância $<0,05$, decrescente quando negativo com significância $<0,05$ e estacionária quando p for maior que $0,05$.

Foram removidos os registros desenvolvidos sem estresse abiótico, ou seja, os classificados como “outros” e também foram excluídos os artigos que não apresentavam nenhum tipo de doador, ou quantificação do NO. Além disso, foi verificado ainda cautelosamente se cada documento relatava metodologias consistentes e adequadamente referenciadas, contendo pelo menos a descrição do delineamento experimental, material vegetal utilizado e condições experimentais de cada análise executada. Os critérios de análise de risco de viés foram avaliados segundo as orientações de Sterne et al. (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa de busca foram encontrados 1.843 títulos. Como esperado, a maior parte dos artigos foi encontrada na base Science Direct (1.457), seguido da PubMed (340) e da Scielo (31). Nesse momento é importante esclarecer a escolha dessas três bases de dados. Os critérios para o recorte temporal foram baseados na trajetória das pesquisas com Óxido Nítrico em plantas.

A descoberta do óxido nítrico é relativamente recente Koshland Jr (1992), embora alguns efeitos dessa molécula fossem conhecidos anteriormente. Em 1992 o NO foi considerado a molécula do ano pela Revista Science. A partir disso, os estudos se intensificaram também nos vegetais, já que havia indícios de que o NO atuava também nas

Realização



plantas. Ao final dessa década, diferentes trabalhos demonstraram que, de fato, o NO é uma molécula sinalizadora importante nos vegetais. Desde então, o número de estudos associando o NO às plantas só aumentou. Embora houvesse, ainda, muitas controvérsias, principalmente sobre os mecanismos de síntese do NO em plantas, a partir dos anos 2000 não havia mais dúvida que o NO é um importante sinalizador em plantas.

A partir da identificação dos estudos seguiram-se as etapas de seleção e elegibilidade. Estudos duplicados e que não atenderam aos critérios de inclusão foram excluídos. Foram selecionados então 67 artigos para a revisão bibliométrica. Os critérios de inclusão foram a descrição da metodologia e do delineamento experimental, e a experimentação associando óxido nítrico, milho e estresses abióticos. Assim, na etapa de inclusão, restaram 32 artigos que foram divididos em 6 grupos, considerando o tipo de estresse estudado em cada um deles.

A tendência no número de publicações a respeito do Óxido Nítrico e a planta de milho sob algum tipo de estresse abiótico ou como modelo de estudo, apresentou-se crescente entre os anos de 2002 a 2021 (anos completos usado para levantamento neste estudo), com b_1 de 0,1584 (IC95% 0.049; 0.0068) ($p = 0.0068$). Ao todo foram selecionados para análise de publicações 67 artigos, sendo o ano de 2020 o que mais se destacou, tendo 7 publicações. Nenhuma publicação foi evidenciada em 2005.

O óxido nítrico é uma molécula multifacetada e a primeira demonstração de sua produção em organismos vivos ocorreu há 68 anos (BAALSRUD; BAALSRUD, 1954). Com a descoberta de que o NO é responsável pela vasodilatação da musculatura lisa de vasos sanguíneos, houve intensa pesquisa a respeito do tema naquela época e o NO foi designado a molécula do ano em 1992 pela revista Science (FURCHGOTT; ZAWADZKI, 1980; IGNARRO et al., 1987). Um pouco antes, em 1979, surgiu a evidência da produção de NO em folhas de soja tratadas com herbicida (KLEPPER, 1979).

Em milho, um dos trabalhos pioneiros com óxido nítrico foi realizado por Gouvêa e colaboradores em 1997, que demonstraram efeito dependente do NO no crescimento de segmentos de raízes. Esse efeito foi ainda relacionado a vias de sinalização comuns a auxina. Considerando a importância da cultura do milho como fonte de alimento, biocombustível e modelo de estudo Li et al. (2013), não surpreende que o número de

Realização



trabalhos relacionando essa cultura ao óxido nítrico seja crescente. Inclusive, esse número pode até ser considerado modesto.

Quanto aos locais de realização dos estudos, os documentos selecionados foram resultantes do desenvolvimento de pesquisas em 18 países diferentes, sendo a China o país destaque no que diz respeito ao maior número de investigações. A China só não publicou estudos nos anos de 2002, 2005, 2009 e 2014 observando assim uma constância nas pesquisas executadas no país.

No entanto, quando analisada isoladamente, a China não apresenta tendência crescente relacionada ao número de publicações, mas sim estacionária com b1 de -0,0351 (IC95% -0,110; 0,040) ($p = 0.3410$), inferindo dessa forma que, o aumento do número de publicações por ano é devido à aderência de novos países às pesquisas sobre o Óxido Nítrico/planta de milho.

Liderando o ranking do número de publicações, a China apresentou 38,81% do total de documentos selecionados, em seguida a Itália (8,96%), África do Sul (7,46%), Argentina (5,97%) e Brasil com 4,48% das publicações. Grande parte dos estudos foram produzidos utilizando o milho como modelo para investigação de interações do Óxido Nítrico, não possuindo estes quaisquer tipos de estresse sobre a planta de milho ou inferências de produção. Em relação às revistas, ao todo foram encontrados registros em 36 periódicos diferentes, tendo a maioria apenas um artigo relacionando o Óxido Nítrico à planta de milho sob algum tipo de estresse ou como modelo de estudo. Alguns periódicos apresentaram dois ou até mais artigos sobre o tema, como por exemplo o Journal of Plant Physiology e o Plant Physiology and Biochemistry que se destacaram com 6 artigos cada. Os fatores de impacto variaram entre 0,175 a 25,617.

Os autores mais citados de cada categoria de estresse foram: Kaya et al. (2020) com 84 citações em estresse por metal, Zhang et al. (2006) com 418 em estresse salino, Zhang et al. (2011) com 186 em déficit hídrico, Tossi, Lamattina e Cassia (2009) com 186 em radiação UV, Li et al. (2013) com 212 em estresse térmico. Com a confirmação do NO como um importante sinalizador em plantas, o grande desafio da comunidade científica passou a ser desvendar os vários mecanismos de produção dessa molécula, bem como sua homeostase. Em animais, está bem esclarecida que há uma enzima responsável pela síntese

Realização



de NO a partir do aminoácido arginina. Essa enzima, denominada óxido nítrico sintase (NOS), foi devidamente caracterizada, tanto nas suas isoformas constitutivas quanto indutivas (WANG; HIGGINS, 2005).

Era de se esperar, com isso, que houvesse uma intensa busca por uma enzima semelhante nas plantas. Contudo, o que se observou nos anos subsequentes foi que os mecanismos geradores de NO nas plantas eram amplamente variados. Embora muitos trabalhos demonstrem a influência de inibidores do óxido nítrico sintase na produção e/ou efeitos do NO, não foi caracterizada nas plantas até o momento, uma enzima semelhante à NOS presente em animais, apesar de ter sido publicado o mutante de Arabidopsis AtNOS1 como sendo uma planta deficiente em NO sintase. Esse mutante, porém, foi posteriormente renomeado para ATNOA1 (associado ao NO) diante da impossibilidade de caracterização da enzima (CRAWFORD et al. 2006).

Os artigos incluídos na metanálise foram oriundos de estudos realizados no Canadá, China e Paquistão, sendo que a maioria (66,67%) foi desenvolvida na China, país que é um dos maiores produtores de milho no mundo. Os Estados Unidos que também são um grande produtor de milho e possuem grande impacto na ciência mundial, não apresentaram até o momento nenhuma pesquisa associada diretamente a esse tema. Entretanto, há registros na literatura de pesquisas envolvendo outros tipos de mecanismos que visam promover a tolerância à estresses abióticos em plantas de milho (NODARI; GUERRA, 2003). Os periódicos nos quais os manuscritos foram publicados possuem fatores de impacto que variam de 3.686 a 9.106, mostrando dessa forma que são revistas renomadas no âmbito científico. Através da extração dos dados de cada estudo e execução da metanálise, pode-se obter novos resultados mediante o cruzamento de duas ou mais pesquisas.

Quando uma planta está em condições de estresse hídrico, um dos danos que ocorre é a peroxidação lipídica, isso, devido a produção descontrolada de espécies reativas de oxigênio (ROS) (ZHANG et al., 2011). Um dos marcadores da produção de ROS é o malondialdeído (MDA).

Além disso, há uma grande correlação entre a peroxidação lipídica com a atividade de enzimas antioxidantes, na qual outros trabalhos relacionam o aumento da atividade de enzimas antioxidantes como mecanismo de defesa, degradando espécies reativas de

Realização



oxigênio e favorecendo a diminuição da peroxidação lipídica (Anjum et al., 2015). O radical superóxido é uma das primeiras EROs produzidas nos sistemas biológicos devido à redução incompleta do oxigênio molecular.

Em plantas, a produção do radical superóxido está amplamente relacionada a diferentes estresses abióticos. O radical superóxido, em si, não é muito nocivo visto que sua reatividade é relativamente baixa. Contudo, a partir dessa molécula são produzidos o peróxido de hidrogênio e o radical hidroxila, este último altamente reativo e deletério. As plantas possuem um amplo e sofisticado sistema de defesa para evitar os efeitos danosos das EROs (ANJUM et al. 2015).

A linha de frente desse sistema de proteção é formada pela superóxido dismutase (SOD), que remove o radical superóxido convertendo-o em peróxido de hidrogênio. Para completar o trabalho de detoxificação existem nas plantas diferentes peroxidases que removem o peróxido de hidrogênio e evitam o aumento dos níveis do radical hidroxila. Sendo assim, a atividade da SOD é um importante indicativo da resposta da planta ao estresse. (TAN et al. 2023).

Resultados trazidos por diversos autores como Hao et al. (2008), Majeed et al. (2020) e Sang et al. (2008), mostram que, em qualquer alteração que ocorra com a planta, a SOD aumenta a sua atividade, e tal fato está relacionado com os mecanismos de preparo que a planta adquire para se defender de possíveis condições de estresse.

A presença do NO é o fator principal de análise nos estudos, e sua concentração também foi mensurada por alguns autores. Majeed et al. (2020) e Shao et al. (2018), verificaram a eficácia do doador SNP em amostras estressadas. A concentração do NO aumentou significativamente nas amostras em que o SNP foi aplicado.

Os mesmos autores e também Sang, Wang e Shanguan (2008), examinaram a concentração do NO comparando amostras controle com amostras estressadas, o resultado mostrou que, o estresse hídrico é capaz de aumentar a concentração de NO endogenamente, apontando dessa forma que o NO possui algum papel no processo fisiológico da planta em condição de estresse.

Realização



Desta forma, pode se dizer que, o fator estresse, juntamente com a aplicação de SNP promove uma concentração maior de NO, pois nessa condição há duas variáveis importantes, que juntas favorecem tal resultado.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que, o Óxido Nítrico (NO) pode atuar como molécula sinalizadora na tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho, pois, há diferenças significativas nos resultados referentes às condições que indicam tal resultado. A diminuição no teor de MDA, e o aumento da atividade SOD após a aplicação de SNP são situações que revelam o poder de ação do NO. Apenas o estado de estresse hídrico na planta, também é um fator que influencia na produção de NO endogenamente, mostrando assim, que a planta também tem seus próprios mecanismos de defesa.

O número de publicações a respeito de pesquisas sobre o Óxido Nítrico e planta de milho sob algum tipo de estresse abiótico ou como modelo de estudo, vem crescendo nos últimos anos, mostrando dessa forma que existe interesse por parte de determinados grupos em utilizar o NO como alternativa para redução de perdas na produção de grãos relacionadas a esses tipos estresse. Por se tratar de um gás de difícil manuseio, se destacam alguns doadores de NO, como por exemplo o SNP, que consegue desempenhar um papel eficiente.

Os resultados obtidos foram condizentes com o objetivo proposto pelo estudo e diante dos mesmos, podemos dizer que, o Óxido Nítrico (NO) pode atuar como molécula sinalizadora na tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho.

REFERÊNCIAS

AMARO, H. T. R.; FERNANDES, H. M. F., ALMEIDA, P. M. A., PORTO, E. M. V., DAVID, A. M. S. S. Tratamento de sementes com bioestimulante e disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial do milho. **Magistra**, [S.L], v. 23, [S.n], p.2-9, 2023.

Realização





ANJUM, N. A.; SOFO, A.; SCOPA, A.; ROYCHOUDHURY, A. et al. Lipids and proteins— major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 4099-4121, 5 dez. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3917-1>.

ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s.l.], v. 24, n. 3, p. 565-576, set. 2015.

BALDUZZI, S.; RÜCKER, G.; SCHWARZER, G. How to perform a meta-analysis with R: a practical tutorial. **Evidence Based Mental Health**, [S.l.], v. 22, n. 4, p. 153-160, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/ebmental-2019-00117>.

BAALSRUD, K.; BAALSRUD, Kjellrun S. Studies on Thiobacillus denitrificans. **Archiv für Mikrobiologie**, v. 20, p. 34-62, 1954.

CORPAS, F. J. LETERRIER, M.; VALDERRAMA, R.; AIRAKI, M. et al. Nitric oxide imbalance provokes a nitrosative response in plants under abiotic stress. *Plant Science*, [S.l.], v. 181, n. 5, p. 604–611, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.04.005>.

CRAWFORD, A. Networked governance and the post-regulatory state? Steering, rowing and anchoring the provision of policing and security. **Theoretical criminology**, v. 10, n. 4, p. 449-479, 2006.

DONATO, H.; DONATO, M. Stages for Undertaking a Systematic Review. **Acta Médica Portuguesa**, [s.l.], v. 32, n. 3, p. 227-235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20344/amp.11923>.

FURCHGOTT, R.F.; ZAWADZKI, J.V. The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. **nature**, v. 288, n. 5789, p. 373-376, 1980.

HAO, G.; XING, Y.; ZHANG, J. Role of Nitric Oxide Dependence on Nitric Oxide Synthase- like Activity in the Water Stress Signaling of Maize Seedling. **Journal Of Integrative Plant Biology**, [S.L.], v. 50, n. 4, p. 435-442, abr. 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00637.x>.

IGNARRO, L.J. et al. Endothelium-derived relaxing factor produced and released from artery and vein is nitric oxide. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 84, n. 24, p. 9265-9269, 1987.

KAYA, C.; ASHRAF, M.; ALYEMENI, M. N.; CORPAS, F. J. et al. Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate- glutathione cycle and glyoxalase system. *Journal Of Hazardous Materials*, [S.L.], v. 399, p. 123020, nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123020>.

KOSHLAND JR DE (1992). The molecule of the year. *Science* 258:1861-1861.

Realização



KHAN, M.; ALI, S.; AZZAWI, T. N. I. A.; YUN, B. Nitric Oxide Acts as a Key Signaling Molecule in Plant Development under Stressful Conditions. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 24, n. 5, p.2-21, 1 mar. 2023. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms24054782>.

KLEPPER, L. Nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂) emissions from herbicide-treated soybean plants. **Atmospheric Environment** (1967), v. 13, n. 4, p. 537-542, 1979.

LI, Z.; YANG, S.; LONG, W.; YANG, G. et al. Hydrogen sulphide may be a novel downstream signal molecule in nitric oxide-induced heat tolerance of maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 36, n. 8, p. 1564-1572, 8 abr. 2013. <http://dx.doi.org/10.1111/pce.12092>.

NODARI, R.O; GUERRA, M.P. Plantas transgênicas e seus produtos: impactos, riscos e segurança alimentar (Biossegurança de plantas transgênicas). **Revista de Nutrição**, v. 16, p. 105-116, 2003.

MAJEED, S.; NAWAZ, F.; NAEEM, M.; ASHRAF, M. Y. et al. Nitric oxide regulates water status and associated enzymatic pathways to inhibit nutrients imbalance in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. **Plant Physiology And Biochemistry**, [S.L.], v. 155, p. 147-160, out. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.005>.

MOHER, D. et al. Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: a recomendação prisma. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5123/s1679-49742015000200017>

NEILL, S. J.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J. T. Nitric oxide signalling in plants. **New Phytologist**, [S.l.], v. 159, p. 11–35, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00804.x>.

SANG, J.; JIANG, M.; LIN, F.; XU, S. et al. Nitric Oxide Reduces Hydrogen Peroxide Accumulation Involved in Water Stress-induced Subcellular Anti-oxidant Defense in Maize Plants. **Journal Of Integrative Plant Biology**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 231-243, fev. 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00594.x>.

SANTOS, G. O.; MARTINS, G. R.; BLAT, N. R.; MENDONÇA, L. B. Disponibilidade hídrica e as anomalias climáticas no cultivo de soja e milho no Cerrado. **Journal Of Biotechnology And Biodiversity**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 214-222, 1 out. 2022. <http://dx.doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v10n3.santos>.

SHAO, R.; ZHANG, J.; SHI, W.; WANG, Y. et al. Mercury stress tolerance in wheat and maize is achieved by lignin accumulation controlled by nitric oxide. **Environmental Pollution**, [S.L.], v. 307, p. 119488, ago. 2022. **Elsevier BV**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119488>.

SILVA, T. R. G.; COSTA, M. L. A.; FARIAS, L. R. A.; SANTOS, M. A. et al. Fatores

Realização



abióticos no crescimento e florescimento das plantas. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 1-9, 6 abr. 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13817>.

STERNE, J. A. C.; SAVOVIĆ, J.; PAGE, M. J; ELBERS, R. G. et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. **Bmj**, [S.L.], p. 1-8, 28 ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.l4898>.

TAN, Y.; DUAN, Y.; CHI, Q. et al. The Role of Reactive Oxygen Species in Plant Response to Radiation. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 24, n. 4, p. 3346, 8 fev. 2023. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms24043346>.

TEIXEIRA, L. A. R.; JADOSKI, S. O.; FAGGIAN, R.; SPOSITO, V. Efeito de alterações climáticas na aptidão agrícola para cultivo de milho na microrregião de Guarapuava, Paraná. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1-21, 20 mar. 2020.

TOSSI, V.; AMENTA, M.; LAMATTINA, L.; CASSIA, R. Retracted: nitric oxide enhances plant ultraviolet-b protection up-regulating gene expression of the phenylpropanoid biosynthetic pathway. **Plant, Cell & Environment**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 909-921, 24 mar. 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02289.x>. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2461>.

WANG, J; HIGGINS, V.J. Nitric oxide has a regulatory effect in the germination of conidia of *Colletotrichum coccodes*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 42, n. 4, p. 284-292, 2005.

WARSI, M. K.; HOWLADAR, S. M.; ALSHARIF, M. A. Regulon: an overview of plant abiotic stress transcriptional regulatory system and role in transgenic plants. **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 83, p. 1-14, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.245379>.

YAMASAKI, H.; SAKIHAMA, Y.; TAKAHASHI, S. An alternative pathway for nitric oxide production in plants: new features of an old enzyme. **Trends in Plant Science**, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 128–129, 1999. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s1360-1385\(99\)01393-x](http://dx.doi.org/10.1016/s1360-1385(99)01393-x).

ZHANG, A.; ZHANG, J.; ZHANG, J.; YE, N. et al. Nitric Oxide Mediates Brassinosteroid-Induced ABA Biosynthesis Involved in Oxidative Stress Tolerance in Maize Leaves. **Plant And Cell Physiology**, [S.L.], v. 52, n. 1, p. 181-192, 6 dez. 2011. <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcq187>.

ZHANG, Y.; WANG, L.; LIU, Y.; ZHANG, Q. et al. Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na⁺/H⁺ antiport in the tonoplast. *Planta*, [S.L.], v. 224, n. 3, p. 545-555, 25 fev. 2006. <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-006-0242-z>.

Realização