Caderno de Pesquisa

Https://online.unisc.br/seer/index.php/cadpesquisa
ISSN on-line: 1677-5600
Doi: 10.17058/cp.v32i2.15083
Universidade de Santa cruz do Sul - Unisc

Recebido em 31 de Agosto de 2020 Aceito em 18 de Agosto de 2021 Autor para contato: marciodesouzadias2013@gmail.com

A utilização de microrganismo na amenização de estresse abiótico em milho

The use of microorganism in the amenization of abiotic stress in maize

Márcio de Souza Dias
Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais – SEE/MG –Minas Gerais - Brasil
Kleso Silva Franco Júnior
Centro de Ensino e Pesquisa de Machado– CESEP – Minas Gerais - Brasil
Nhayandra Cristina Dias Silva
Universidade José do Rosário Vellano– UNIFENAS – Minas Gerais - Brasil
Warley Santos Cajazeiro
Universidade de Franca – UNIFRAN – Franca - São Paulo - Brasil
Natália Scalco Ferreira
Instituto Federal do Sul de Minas– IFSULDEMINAS – Campus Machado – Minas Gerais - Brasil

Resumo

O milho é a mais importante cultivar comercial no mundo, sendo o Brasil, China e Estados Unidos os maiores produtores mundiais. Dentre os vários fatores que limitam a produção vegetal, destacam-se o estresse hídrico e o estresse salino, os quais atuam negativamente nos processos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos da planta. Tanto a falta quanto o excesso de água, e o aumento na concentração de sais no solo e na água de irrigação devido ao uso excessivo de fertilizantes, podem atuar sobre diferentes fases de desenvolvimento da cultura do milho, como na condutância estomática, transpiração, fotossíntese, entre outros. Como alternativa para amenização desses efeitos negativos, surge a utilização de microrganismos do solo (bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos), que são capazes de formar interações benéficas com as plantas. Neste sentido, o objetivo deste estudo é abordar a importância da utilização de microrganismos mitigação dos efeitos do estresse abiótico em milho, fornecendo ao leitor informações sobre suas características e apresentar os benefícios da utilização de microrganismos na amenização dos efeitos a plantas submetidas a estresse hídrico e salino.

Palavras-chave

Fertilização. Salinidade. *Zea mays* L.

Abstract

Corn is the most important commercial cultivar in the world, with Brazil, China and the United States being the largest producers in the world. Among the several factors limiting plant production, water stress and saline stress stand out, which act negatively on the plant's morphological, biochemical and physiological processes. Both lack and excess water, and the increase in the concentration of salts in the soil and irrigation water due to the excessive use of fertilizers, can act on different stages of maize crop development, such as stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, among others. As an alternative to amenization these negative effects, the use of soil microorganisms (diazotrophic bacteria and mycorrhizal fungi), which can form beneficial interactions with plants, appears. In this sense, the objective of this study is to address the importance of using microorganisms to mitigate the effects of abiotic stress in maize by providing the reader with information about its characteristics and presenting the benefits of the use of microorganisms in the amenization of effects to plants submitted to water stress and saline.

Keywords

Fertilization. Falinity. *Zea mays* L.

A matéria publicada nesse periódico é licenciada sob forma de uma Licença Creative Commons – Atribuição 4.0 Internacional http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. Introdução

O milho é a mais antiga e importante cultura comercial no mundo, com origem nas américas e cujo cultivo se dá à pelo menos cinco mil anos, sendo cultivado em escala comercial desde a União Soviética (Latitude 58º - Norte) até a Argentina (Latitude 40º - Sul). Brasil, China e Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de milho sendo a estimativa do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda, 2019) para as safras de 2019/2020 para aquele país de 345,6 milhões de toneladas, já para o Brasil o mesmo departamento estima que o Brasil terá uma safra aproximada de 123 milhões de toneladas. É importante destacar que no Brasil, especificamente, a grande demanda do milho é impulsionada pelo segmento de produção animal (avicultura, suinocultura e gado de corte), principalmente pela região Centro-oeste, a qual consome 80% da produção do país.

O uso de fertilizantes com índice salino alto é significativo nessa cultura devido a extensa área de plantio, isso afeta efetivamente para o aumento da salinidade do solo, o que afeta a planta nos mecanismos relacionados ao efeito osmótico e ao efeito de íons específicos, além de afetar os microrganismos do solo, os quais participam efetivamente de processos como a nitrificação, amonificação, fixação de nitrogênio e outros processos que atuam sobre a decomposição da matéria orgânica, a transformação de nutrientes e resistência/tolerância das plantas a patógenos. (Yan et al., 2015).

Uma das alternativas que podem ser utilizadas para amenizar esse estresse abiótico é a inoculação de bactérias diazotróficas em gramíneas, que tem se mostrado uma tecnologia promissora para amenizar os efeitos ocasionados pela salinidade (Bashan; Bashan, 2005) e também para reduzir a quantidade de fertilizantes químicos aplicados no solo (Viana, 2015; Garcia et al., 2017). Da mesma forma os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), quando se associam simbioticamente com as plantas, aumentam a área de superfície através da qual a planta pode absorver nutrientes devido a maior exploração física do solo, que ocorre graças à elevada capacidade de absorção e eficiência das hifas dos fungos (Garcia-Garrido; Ocampo, 2002). Sob diversas condições de estresse, a maioria das cultivares colonizada por FMAs proporcionam maior adaptação das plantas, reduzindo as perdas provocadas pelo estresse. (Vallino et al., 2006; Munier-Lamy et al., 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é abordar a importância da utilização de microrganismos mitigação dos efeitos do estresse abiótico em milho, fornecendo ao leitor informações sobre suas características e apresentar os benefícios da utilização de microrganismos na amenização dos efeitos a plantas submetidas a estresse hídrico e salino.

2. Desenvolvimento

A cultura do milho

O milho é uma cultura que pertence ao grupo de plantas no qual seu metabolismo fotossintético é classificado como do tipo C4, com elevado potencial produtivo, o que consequentemente está relacionado ao fato da sua área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, o que permite a máxima fotossíntese possível, desde que não

haja déficit hídrico, já que estes fatores elevam o fluxo energético e o processo de evapotranspiração (Renato et al., 2018). Fatores climáticos como radiação solar, pluviosidade e a temperatura interferem, de maneira acentuada, na produção de grãos e matéria seca.

Características específicas de cada região afetam o desenvolvimento da cultura do milho, desta forma estudos regionalizados se fazem necessários para que se possa mensurar o efeito ambiental no desenvolvimento das plantas nas diferentes épocas de semeadura, pois o fotoperíodo, o processo de evapotranspiração do solo, variedades utilizadas, épocas de semeadura, entre outros, irão variar em função das características edafoclimáticas (Sans, 2008).

Todo ano novas cultivares de milho são lançadas nas mais diferentes regiões do mundo, sendo que o principal fator de acréscimo na produtividade está diretamente ligado a escolha do genótipo mais adequado a cada local, quando se considera condições climáticas, manejo e potencial genético da semente, que são fatores responsáveis por 50% do rendimento final da cultura (Cruz et al.,2009).

O milho tanto na produtividade quanto no que se refere à qualidade é, provavelmente, uma da espécies cultivadas com maior diversidade genética, porém a disponibilidade das informações relacionadas as características e o comportamento dos diversos genótipos ainda são de difícil acesso para os produtores, o que dificulta a escolha das cultivares adequadas as diferentes condições edafoclimáticas, havendo necessidade de se identificar melhor os genótipos mais produtivos de acordo com as condições ambientais de cada região de cultivo (Silva et al., 2012).

O déficit hídrico na cultura do milho

O déficit hídrico se destaca dentre os vários fatores que limitam a produção vegetal, pois altera o metabolismo das plantas, ocorrendo em grandes extensões de áreas agricultáveis, sendo um dos seus primeiros efeitos a consequente diminuição da turgescência celular (Monteiro et al., 2014), que é acompanhada por alterações no crescimento a nível de expansão foliar e alongamento das raízes, o que reduz a transpiração e o suprimento de CO_2, além da diminuição do teor de clorofila, que compromete o processo de fotossíntese (Silva et al., 2015).

Processos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos podem agir de diversas maneiras e, quando combinados, promovem uma interação complexa, o que gera os efeitos ocasionados pelo estresse (Gomes et al., 2011). Entretanto, é necessário ressaltar que as plantas apresentam capacidade de desenvolver mecanismos de tolerância, que incluem a indução de complexos antioxidativos, enzimáticos e não enzimáticos e alterações morfofisiológicas (Barbosa et al., 2014).

Martins et al. (2010) e Heinemann (2010), consideram que o estresse hídrico é o tipo de estresse ambiental que mais interfere nas culturas agrícolas, sendo a disponibilidade de água um dos fatores que mais influenciam no rendimento da cultura. Apenas dois dias de estresse hídrico na fase de florescimento comprometem o rendimento em mais de 20% e que persistindo o estresse por até oito dias esse comprometimento será superior a 50% (Magalhães et al., 2002).

A escassez de água afeta, de maneira acentuada, três estágios do desenvolvimento da planta de milho: na fase de desenvolvimento da inflorescência, no período de fertilização, onde deve ser evitada a desidratação do grão de pólen e na fase de enchimento de grãos, quando ocorre aumento na deposição da matéria seca (Magalhães; Durães, 2006).

Wu et al. (2011), estudando o crescimento e a transpiração do milho cultivado em vasos conduzidos em casa de vegetação, observaram que a umidade, nos vasos, inferior a 90% reduziu a formação de fitomassa e o processo de transpiração. Também Bonfim-Silva et al. (2011) e Rufino et al. (2012), destacam que a redução da umidade no solo promove nas gramíneas, a redução no número de folhas, na altura da planta, na fitomassa e na área foliar.

O estresse hídrico na cultura do milho

A produção de alimento é, sem dúvida, um fator que gera muita atenção do setor produtivo, uma vez que a estimativa mundial é que ocorra um crescimento populacional em torno de 30% até o ano de 2030, o que consequentemente, implica em maior demanda por alimentos, havendo necessidade de aumento considerável na produção, o que irá gerar uma maior demanda pela água. A adoção de estratégias racionais se faz necessárias para que se aumente a eficiência do uso da água, minimizando o desperdício da água utilizada na agricultura e priorizando também ações concomitantes que evitem não contaminação do solo pelo uso excessivo de fertilizantes, o que pode contaminar o lençol freático e os cursos de água (Paz et al., 2000).

O consumo de água na agricultura, principalmente no que se refere a irrigação das culturas, é da ordem de 70% de toda a água captada (Parada-Puig, 2012). Quando se analisa o uso da água na agricultura, principalmente em sistemas de irrigação mal projetados e mal manejados, observa-se que há uma grande perda de água na cadeia produtiva de alimentos.

A aplicação de pouca água ou a sua utilização de forma excessiva podem ser considerados formas de desperdício na cadeia produtiva, uma vez que a utilização de pouca água irá acarretar perda da produtividade esperada, já o uso excessivo irá promover a saturação do solo comprometendo assim sua aeração, favorecendo a lixiviação de nutrientes (ALBUQUERQUE, 2010).

Compreender as relações hídricas no que se refere ao sistema solo-planta-atmosfera é importante para que se possa quantificar as necessidades hídricas das diferentes culturas durante todo o seu ciclo de desenvolvimento e, desta forma, planejar e efetuar o correto manejo da água nas lavouras, visando o melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis. Conhecer as necessidades hídricas da cultura nos seus diferentes estágios ou fases fenológicas do seu ciclo se fazem necessários para um manejo eficiente da irrigação (Souza et al., 2011).

É importante ressaltar que a absorção, o transporte e a transpiração de água pelas plantas estão diretamente relacionados com a evapotranspiração potencial, a resistência estomática, a difusão do vapor, a disponibilidade de água no solo e a densidade das raízes, desta forma, o processo de absorção de água do solo pela planta visa a atender suas necessidades fisiológicas suprindo suas necessidades nutricionais. Destaca-se que, do total de água absorvida pela planta aproximadamente cerca de 1% é retida pela mesma (Magalhães; Durães, 2006).

A quantidade de água consumida pelo milho durante todo o seu ciclo está em torno de 600 mm, e a falta dela está diretamente associada à produção de grãos, estando diretamente relacionada a três importantes estágios do desenvolvimento da planta, como a fase de iniciação floral e de desenvolvimento da inflorescência o que irá determinar o potencial de grãos produzidos; o período de fertilização, fase em que a água atua evitando a desidratação dos grãos de pólen, garantindo o seu desenvolvimento e consequente penetração do tubo polínico; e a fase de enchimento dos grãos, momento em que ocorre o aumento no que se refere a deposição

de matéria seca (MS), onde o estresse irá atuar na redução da produção de carboidratos o que consequentemente irá reduzir o volume de MS nos grãos (Magalhães; Durães, 2006). Dessa forma destaca-se a importância da água nas diferentes fases de desenvolvimento do milho (Tabela 1).

Tabela 1. Estágios de desenvolvimento da planta milho.

Vegetativo	**Reprodutivo**
VE- Emergência	R1- Embonecamento
V1- 1ª Folha desenvolvida	R2- Bolha d'água
V1 - 2ª Folha desenvolvida	R3- Leitoso
V3 - 3ª Folha desenvolvida	R4- Pastoso
V4 - 4ª Folha desenvolvida	R5- Formação de dente
V(n)- nº de folas desenvolvida	R6- Maturidade Fisiológica
VT - Pendoamento	

FONTE: Fisiologia da Produção de Milho – Magalhães & Durães (2006).

O estresse salino na cultura do milho

O excesso de sais solúveis no solo pode acarretar o processo de salinização na solução solo, conhecido como salinização secundária, que pode ser causado pelo manejo inadequado da irrigação associado à uma drenagem ineficiente do solo e à presença de águas subsuperficiais ricas em sais solúveis localizadas em baixa profundidade (Coelho, 2013). A intensificação deste processo é otimizada pela aplicação excessiva de fertilizantes, com pouco parcelamento ao longo do ciclo da cultura, o que acaba induzindo uma condição de estresse salino altamente prejudicial para o desenvolvimento das plantas (Oliveira et al, 2010; Hoshiba Kawavata, 2017). O potássio (K) é um nutriente exigido em grande quantidade pelas culturas, sendo que a principal fonte usada pelos produtores é o KCl, que possui elevado índice salino, sendo uma das principais fontes de salinização de solos cultivados (Nogueira et al., 2001).

De acordo com Sá et al. (2013), Brito et al. (2014) e Araújo et al. (2016), as plantas são diretamente afetadas em seus diferentes estágios do desenvolvimento pela salinidade, sendo as fases de germinação, emergência e crescimento inicial as mais afetadas. Na grande maioria das culturas agrícolas, isso se deve ao acúmulo de sais no solo, especialmente sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), que afetam o potencial osmótico e a capacidade de absorção de nutrientes minerais das raízes devido ao desequilíbrio iônico no solo, ocorrendo principalmente a redução na absorção de K^+ e Ca^+. Estas alterações variam entre as espécies e entre as cultivares de uma mesma espécie.

Vários estudos destacam o efeito da salinidade na cultura do milho, destacando-se que o aumento da salinidade do solo reduz, de forma expressiva, as taxas de assimilação líquida, o crescimento (absoluto e relativo), área foliar (total e útil), a condutância estomática, a transpiração, a fotossíntese, a eficiência no uso de água que, consequentemente, reduzem a produtividade (Carvalho et al., 2012; Silva et al., 2014). Portanto, um maior teor de clorofila, elevação na condutância estomática, aumento do teor de água no apoplasto e maior produção de biomassa amenizam os efeitos causados pelo estresse hídrico (Huergo, 2008; Dartora et al., 2013). Em relação a cultura do milho de pipoca, Oliveira et al. (2009) e Barbieri et al. (2014) destacam que ainda são poucos os estudos sobre os efeitos da salinidade nesta cultura específica.

Sob condições de estresse salino ocorre a diminuição da área foliar das plantas, sendo este processo um mecanismo importante no controle da perda de água pela planta, interferindo no processo de fotossíntese que depende da água, da interceptação de energia luminosa e da sua posterior conversão em energia química nas folhas, afetando a formação de carboidratos e sua respectiva alocação nos órgãos vegetativos e reprodutivos da planta (Gomes et al., 2011).

Arif et al. (2014), demostraram que uma melhora no vigor das sementes contribui para a expressão do seu potencial fisiológico, além de aumentar a taxa de germinação e de crescimento das mudas submetidas a condições de elevada salinidade.

Inoculação de microrganismos

Estudos referentes as interações entre planta e microrganismos estão se intensificando nos últimos anos, cuja finalidade é avaliar os fatores que estão envolvidos na seleção de estirpes bacterianas que sejam eficientes na promoção do crescimento vegetal (Ferreira et al.,2014; Bordignon et al., 2017). Moreira e Siqueira (2006), destacam a importância das bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) juntamente com os fungos arbusculares que atuam na promoção do desenvolvimento vegetal através de diferentes mecanismos.

De acordo com Santos et al. (2014), a utilização de microrganismos pode contribuir positivamente no que se refere ao desempenho de plantas sob condições de estresse e, consequentemente, aumentar a produtividade das culturas. As bactérias diazotróficas têm sido isoladas nas raízes e parte aérea de gramíneas (Magalhães; Döbereiner, 1984; Döbereiner, 1992; Baldani et al., 1997) e o uso destas na formulação de biofertilizantes vem sendo estudadas em várias partes do mundo, destacando que estas tecnologias podem reduzir os custos de produção, no impacto ambiental e no aumento da produtividade das culturas (Bhattacharyya; Jha, 2012). De acordo com Kasim et al. (2013), a presença de BCPV promove tolerância às condições de estresse, já que estes microrganismos podem aumentar a produção os genes relacionados com estresse hídrico.

Além disto as bactérias diazotróficas ou bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN), auxiliam no desenvolvimento vegetal por meio de mecanismos relacionados a solubilização de fosfatos devido a liberação de ácidos orgânicos (Moreira et al., 2010). Santos et al. (2014), destacam que os microrganismos benéficos podem contribuir positivamente para a tolerância ao estresse o que, consequentemente, poderia aumentar a produtividade das culturas. Estas bactérias podem elevar a produção de substâncias osmorreguladoras pela planta, intermediando mudanças quanto a elasticidade das paredes das células radiculares, aumentando a tolerância ao estresse hídrico (Dimkpa et al., 2009). As bactérias mais conhecidas pertencem ao gênero *Azospirillum, Enterobacter, Burkholderia, Herbaspirillum,* sendo que algumas delas são encontradas na superfície das raízes, enquanto outras invadem os tecidos das plantas sem ocasionar sintomas de doenças (Rosenblueth; Martinez-Romero, 2006).

O nitrogênio (N) está presente abundantemente na atmosfera, em sua forma mais estável (N_2), graças à presença da ligação tripla entre suas moléculas, mas infelizmente os vegetais não conseguem assimilar o N nesta forma, sendo necessário romper esta ligação tripla para o N ser absorvido na forma de íons amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-). Os organismos que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) são capazes de promover a redução do N_2 a NH_4^+, catalisando este processo de redução e quebrando esta tríplice ligação, graças a presença, nestes organismos, da enzima nitrogenase. Atualmente se conhecem três tipos de nitrogenase:

a que possui molibdênio e ferro (nitrogenase-1), outra em que o vanádio substitui o molibdênio (nitrogenase-2) e a nitrogenase-3 que só possui ferro (Diniz, 2011). Além da fixação de nitrogênio, os organismos FBN são capazes de produzir hormônios vegetais, que promovem o desenvolvimento do sistema radicular e, consequentemente, aumenta a capacidade de absorção de nutrientes e água pelas plantas (Hungria, 2011).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), encontrados no solo, são organismos formadores de simbióticos, cuja associação ocorre no sistema radicular, promovendo melhorias tanto no desenvolvimento quanto no crescimento da planta, aumentando sua tolerância e resistência a vários agentes ambientais adversos (Tang et al., 2009; Campos et al., 2015). A capacidade de formar micorrízas arbusculares está restrito a cinco famílias (*Acaulosporaceae, Archaeosporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae e Paraglomaceae*) da ordem *Glomerales*, sendo conhecidas 140 espécies distribuídas em 7 gêneros. (Stürmer; Siqueira, 2006; Invam, 2012).

Os FMAs alteram as características físico-químicas do solo, dessa forma favorecem a agregação de partículas do solo por meio de suas hifas, de seus exsudados e de resíduos. Rilling (2004) e Bedini et al. (2009) relatam que os fungos micorrízicos produzem e secretam a glomalina, uma proteína que desempenha papel importante na estabilidade do solo.

Estudos realizados por Munkvold et al. (2004), evidenciaram grandes diferenças quanto ao desenvolvimento e crescimento das plantas e na absorção de fósforo dentre diferentes espécies de FMAs. Segundo Oliveira et al. (1999), o uso FMAs induz o aumento na capacidade das plantas em absorver nutrientes do solo. Há grande interesse na aplicação de FMAs no que se refere a recuperação de áreas impactadas ou degradadas, pois diversas pesquisas apontam sua eficiência como papel de biocontrolador e na recuperação de áreas degradadas ou solos com problema com a salinidade (Requena et al., 2001; Kennedy et al., 2007; Zuquette et al., 2013; Colodete et al., 2014).

3. Considerações Finais

A cultura do milho é muito sensível aos estresses abióticos, sendo o uso de microrganismos (bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos) uma alternativa para amenizar dos efeitos negativos, principalmente, do estresse hídrico e do estresse salino nos solos, podendo favorecer o desenvolvimento e a produtividade.

Agradecimentos

À Fapemig pela concessão de bolsa de doutorado.

Referências

1. ALBUQUERQUE, P.E.P. Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo. Circular Técnica 136.**Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG. 2010.

2. ARAUJO, E.B.G. et al. Crescimento inicial e tolerância de cultivares de meloeiro à salinidade da água. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 462-471, June 2016. Disponível em:
3. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2016000200462>. Acesso em 23 Jun. 2019. doi.org/10.413 6/ambi-agua.1726.

4. ARIF, M. et al. Evaluating the impact of osmopriming varying with polyethylene glycol concentrations and durations on soybean. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 16, n. 2, p. 359-364, 2014.

5. BALDANI, J. I. et al. Recent advances in BNF with non legumes plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, p.922-928, 1997.

6. BARBIERI, A. P. P. et al. Tratamento de sementes de milho sobre o desempenho de plântulas em condições de estresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 305-311, 2014.

7. BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARAL, T.R. Plant generation and enzymatic detoxification of reactive oxygen species. **Ciência Rural**, 44(3), 453–460, 2014.

8. BASHAN, Y. & de-BASHAN, L.E. Plant growth-promoting. In: HILLEL, D. **Encyclopedia of soil in the environment**. Oxford, Elsevier, p.103-115, 2005.

9. BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E. & GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. **Soil Biol. Biochem**., 41:1491-1496, 2009.

10. BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal Microbiology Biotechnology**, Dordrecht, v. 28, n. 4, p. 1327–1350, 2012

11. BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.E.A.; KROT, B.E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.2, p.180-186, 2011.

12. BORDIGNON, S.R.; KIRITANI, C.; GIASSI, V. **Microbiolização de sementes com bactérias diazotróficas isoladas de milho**. In: VIII Simpósio de Microbiologia Aplicada, 2017, Rio Claro. VIII Simpósio de Microbiologia Aplicada, 2017.

13. BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; MELO, A. S.; SOARES FILHO, W. S.; SANTOS, R. T. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 17-27, 2014.

14. CAMPOS, A.A.B; SCOTTON, J.C.; PINTO, D.F.P.; PICARELI, B.; LONGARESI, R.H.; HOMMA, S.K. Fungos micorrízicos arbusculares em dois sistemas de cultivo de milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 1, p.137-142, 2015.

15. CARVALHO, J. F. et al. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 368-374, 2012.

16. COELHO, D. S. **Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológico de genótipos de sorgo forrageiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, 85f. Juazeiro, 2013.

17. COLODETE, C.M.; DOBBSS, L.B.; RAMOS, A.C. Aplicação das micorrízas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, 12 (1), p. 31-37, 2014.

18. CRUZ, C.C; PERREIRA FILHO, I.A.; CORREA, L.A.; PERREIRA, F.T.F.; OLIVEIRA, M.R. Milho: Cultivares para 2008/2009 (em linha). (2009). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php/>. Acesso em: 14 Dez. 2010.

19. DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MARINI, D.; SANDER, G.Adubação nitrogenada associada à inoculação com Azospirillum brasilensee Herbaspirillum seropedicaena cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1023-1029, 2013.

20. DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell and Environment,** Germany, v.32, n.1, p.1682–1694, 2009.

21. DINIZ, S.P. S. S. Bioquímica da Fixação do Nitrogênio. Fixação Biológica do Nitrogênio, 2011. Disponível em: <http://goo.gl/86zvcI>.Acesso em 20/06/2015. Acesso em 13 Ago 2019.

22. DÖBEREINER, J. History and new perspectives of diazotrophs in association with non-leguminous plants. **SYMBIOSIS** 13: 1-13, 1992.

23. FERREIRA, E. P. B.; KNUPP, A. M.; MARTIN-DIDONET, C. C. G.; Crescimento de cultivares de arroz (Oryza sativa L.) influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal,** Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 655-665, 2014.

24. GARCIA-GARRIDO, J.M.; OCAMPO, J.A. Regulation of the plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **J. Exper. Bot**., 53:1377-1386, 2002.

25. GARCIA, M.M. et al. Effects of Azospirillum brasilense on growth and yield compounds of maize grown at nitrogen limiting conditions. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 40, n. 2, p. 41-52, jun. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16101>. Acesso em: 23 jun. 2019.

26. GOMES, K.R.; AMORIM, A.V.; FERREIRA, F.J.; FILHO, F.L.A.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(4), 365-370, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000400006> Acesso em: 15 jan, 2019.

27. HEINEMANN, A.B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência & Agrotencologia**, Lavras, v.34, n.1, p.29-36, 2010.

28. HOSHIBA KAWAVATA, C.K. et al. Influência de doses e de duas fontes de potássio no sistema radicular do milho e na condutividade elétrica no solo. **Investig. Agrar.**, San Lorenzo, v. 19, n. 1, p. 28-34, jun. 2017. Disponível em:
29. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.junio.28-34>. Acesso em: 23 jun. 2019.

30. HUERGO, L.F.; MONTEIRO, R.A.; BONATTO, A.C.; RIGO, L.U.; STEFFENS, M.B.R.; CRUZ, L.M.; CHUBATSU, L.S.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. **Regulation of nitrogen fixation in Azospirillum brasilense**. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. Azospirillumsp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiologia, Argentina, p.17-35, 2008.

31. HUNGRIA, M. **Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2011. 36-37p. (Documentos EMBRAPA SOJA, ISSN 1516-781X, n.325

32. INVAM - International culture colletion of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Disponível em: < https://invam.wvu.edu/ >. Acesso em: 8 de fev. de 2012.

33. KASIM, W. A.; OSMAN, M. E.; OMAR, M. N.; EL-DAIM, I. A. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, Egypt, v.32, n.1, p. 122-130, 2013.

34. KENNEDY, B.K.; STEFFEN, K.K.; KAEBERLEIN, M. Ruminations on dietary restriction and aging. **Cell Molecules in Life Science**, 64: 1323–1328, 2007.

35. MAGALHÃES, F.M.M., DÖBEREINER, J. Ocorrência de *Azospirillum amazonense* em alguns ecossistemas da Amazônia. **Revista deMicrobiologia** 15: 246-252, 1984.

36. MAGALHÃES, P.C.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2002. (Circular Técnica, 22)

37. MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho.** Circular Técnica n. 76, Embrapa - CNPUV, Dez. 2006.

38. MARTINS, J.D; CARLESSO, R.; KNIES, A.E.; OLIVEIRA, Z.B.; BROETTO, T.; RODRIGUES, G.J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.3, p.324-334, 2010.

39. MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa agropecuária brasileira,** Brasília, v.49, n.1, p.18-25, 2014.

40. MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biologica de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2ª ed., Lavras: Editora UFLA, p.449-542, 2006

41. MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae,** Piauí, v. 1, n. 2, p. 74-99. 2010.

42. MUNIER-LAMY, C.; DENEUX-MUSTIN, S.; MUSTIN, C.; MERLET, D.; BERTHELIN, J.; LEYVAL, C. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. **J. Environ. Radioactiv**., 97:148-158, 2007.

43. MUNKVOLD, L.; KJOLLER, R.; VESTBERG, M.; ROSENDAHL, S.; JAKOBSEN, I. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytol**., 164:357-364, 2004.

44. NOGUEIRA, M. A. **Interações entre micorriza arbuscular, rizobactérias, fósforo e silício na manifestação da toxidez de manganês em soja**. 2002. 195 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

45. NOGUEIRA, F. D.; SILVA, E. B. E GUIMARÃES, P. T. G. **Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio**. Washington, DC: SOPIB, 2001. 81 p.

46. OLIVEIRA, L. A.; GUITTON, L. T.; MOREIRA, F. W. Relações entre as colonizações por fungos micorrízicos arbusculares e teores de nutrientes foliares em oito espécies florestais da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 29, p. 183-193, 1999.

47. OLIVEIRA, F. A. et al. Desenvolvimento inicial do milho pipoca irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 149-155, 2009.

48. OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E.; ENÉAS FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, centro científico conhecer - Goiânia, v.6, n.11; 2010.

49. PARADA-PUIG, G. El agua virtual: conceptos e implicaciones. In: Orinoquiavol.2012. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89625076001> Acesso em: 28 Jun. 2019.

50. PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONCA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Rev. bras. ng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, Dec. 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>. Acesso em: 18 June 2019.

51. RENATO, N.S.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, J.B.L.; PEREIRA, E.G. Modelo fotossintético para simulação da produtividade do milho em condições de temperatura e CO2 elevados. **Revista de Ciências Agrárias**, 41(4), 211-220, 2018. Disponível em:
52. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA18047> Acesso em 11 Ago 2019.

53. REQUENA, N.; PÉREZ-SOLIS, E.; AZCÓN-AGUILAR, C.; JEFFRIES, P.; BAREA, J.M. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. **Applied Environmental Microbiology**, 67: 495-498, 2001.

54. RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil quality. Can**. J. Soil Sci**., 84:355-363, 2004.

55. ROSENBLUETH, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, México, v.19, n.8, p.827-837, 2006.

56. RUFFINO, C.A; TAVRES, L.C.; VIEIRA, J.F.; DOR, C.S.; VILLELA, F.A.; SOUZA, A.C.; BARROS, A.C.S.A. Desempenho de genótipos de milho submetidos ao déficit hídrico no estádio vegetativo. **Magistra**, Cruz das Almas, v.24, n.3, p.217-225, 2012.

57. SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; MELO, A. S.; ANTÔNIO NETO, P.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, I. B. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1047-1054, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001000004>

58. SANS, L. M. A.. Zoneamento agricola- riscos climaticos para a cultura do milho. In: Jose Carlos Cruz; Décio Karan; Marcio A.R. Monteiro; Paulo Cesar Magalhães. (Org.). A cultura do milho. 1ed.Brasilia**: Embrapa**, 2008, v. 1, p. 89-97.

59. SANTOS, D.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; OLIVEIRA, G. P.; MACHADO, D. L. M.; ZUCOLOTO, M. Teores de carboidratos e

fluorescência da clorofila *a* em folhas de limeiras ácidas 'Tahiti' submetidas ao anelamento e incisão anelar de ramos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1725-1731, 2014.

60. SILVA, M.R. et al. Desempenho agronômico de genótipos de milho sob condições de restrição hídrica. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 202-212, jun. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2012000100020&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 21 abr. 2019.

61. SILVA, J. L. A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. S66-S72, 2014. Suplemento

62. SILVA, F.G. et al. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of eggplant grown under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 946-952, 2015. Disponível em:
63. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952> Acesso em 21 Ago. 2019.

64. SOUZA, C.H.E.; MACHADO, V.J.; NETO, I.P.; BENEDETTI, T.C.; LANA, R.M.Q. Extratores para fósforo disponível em Latossolos e eficiência de fontes fosfatadas para milho cultivado em vaso. **Revista Brasileira de milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.10, n.1, p.38-46, 2011.

65. STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L., eds. Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems. Wallingford, CABI-Pub., p.206-236, 2006

66. TANG, M.; CHEN, H.; HUANG, J.C. & TIAN, Z.Q. AM fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* seedlings under diesel stress. **Soil Biol. Biochem**, 41:936-940, 2009.

67. USDA. United States Department of Agriculture. World agricultural production. (2019). Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em: 20 jun. 2019.

68. VALLINO, M.; MASSA, N.; LUMINI, E.; BIANCIOTTO, V.; BERTA, G. & BONFANTE, P. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal diversity in roots of *Solidago gigantea* growing in a polluted soil in Northern Italy**. Appl. Environ. Microbiol**., 8:971-983, 2006.

69. VIANA, G. Bactérias aumentam produtividade do milho e reduzem adubos químicos. Agrolink. 2015. Disponível em:
70. <http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/artigo/bacterias-aumentam-produtividad
71. e-do-milho-e-reduzem-adubos-quimicos_212384.html>. Acesso em: 15 Jan 2018.

72. WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D.N. Growth and transpiration of maize and winter in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**. Paris, v.71, p.65-71, 2011.

73. YAN, et al. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, 3, p. 316–323, 2015.

74. ZHANG, C. et al. Long-term effects of exogenous silicone on cádmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, p. 300-307, 2008.

75. ZUQUETTE, L.V., RODRIGUES, V.G.S; PEJON, O.J. Recuperação de áreas degradadas. **Revista Engenharia Ambiental**: Conceitos, Tecnologia e Gestão 13: 589-619, 2013.