

**RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
LÍDIA FERREIRA MORAES
FABIOLA LUZIA DE SOUSA SILVA
(ORGANIZADORAS)**

**DESENVOLVIMENTO
DA PESQUISA CIENTÍFICA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
NA AGRONOMIA
2**

**RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS
LÍDIA FERREIRA MORAES
FABIOLA LUZIA DE SOUSA SILVA
(ORGANIZADORAS)**

**DESENVOLVIMENTO
DA PESQUISA CIENTÍFICA,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
NA AGRONOMIA
2**

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^o Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^o Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^o Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^o Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^o Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Lídia Ferreira Moraes
Fabiola Luzia de Sousa Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 2 / Organizadoras Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos, Lídia Ferreira Moraes, Fabiola Luzia de Sousa Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0376-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.760222306>

1. Agronomia. 2. Tecnologia. 3. Inovação. I. Silva-Matos, Raissa Rachel Salustriano da (Organizadora). II. Moraes, Lídia Ferreira (Organizadora). III. Silva, Fabiola Luzia de Sousa (Organizadora). IV. Título.

CDD 630

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O agronegócio brasileiro vem se expandindo cada vez mais, isso se deve ao constante crescimento populacional, com isso tem-se uma demanda maior por alimentos e insumos necessários para os processos produtivos, as importações e exportações também tem a sua influência para tal acontecimento, já que o Brasil se destaca entre os países que mais produzem.

Entretanto, mesmo com toda informação já existente ainda se faz necessário o desenvolvimento de novos estudos, a fim de capacitar e minimizar alguns entraves existentes no sistema de produção, considerando o cenário atual a demanda por informações de boa qualidade é indispensável.

Com isso, o uso de tecnologias, técnicas e pesquisas necessitam estar atreladas na produção agrícola para desde modo obter sucesso e alta produtividade. Com base nisso a obra “Desenvolvimento da pesquisa científica, tecnologia e inovação na agronomia 2” vem com o intuito de trazer aos seus leitores informações essenciais para o sistema agrícola.

Apresentando trabalhos desenvolvidos e resultados concretos, com o objetivo de informatização e capacitação acerca deste setor, oferecendo a possibilidade do leitor de agregar conhecimentos sobre pesquisas desenvolvidas para a agricultura. Pesquisas que buscam contribuir para o aprimoramento dos pequenos, médios e grandes produtores. Desejamos a todos, uma excelente leitura!

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos

Lídia Ferreira Moraes

Fabiola Luzia de Sousa Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A BIOACESSIBILIDADE COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DOS RISCOS ASSOCIADOS AO CONSUMO DE PESCADO

Fabiola Helena dos Santos Fogaça

Antônio Marques

Ricardo N. Alves

Ana L. Maulvault

Vera L. Barbosa

Patrícia Anacleto

Maria L. Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223061>

CAPÍTULO 2..... 14

SISTEMA ANFIGRANJA PARA PRODUÇÃO DE RÃS

Eduardo Pahor-Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223062>

CAPÍTULO 3..... 20

CHANGES IN THE CHEMICAL QUALITY OF PINK PEPPER FRUITS DURING STORAGE

Ygor Nunes Moreira

Talis da Silva Rodrigues Lima

Isabela Pereira Diegues

Diego de Mello Conde de Brito

Pedro Corrêa Damasceno-Junior

Marco Andre Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223063>

CAPÍTULO 4..... 35

DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE SEMENTES EM RESPOSTA À SEMEADURA CRUZADA E CONVENCIONAL NA CULTURA DA SOJA

Glaucia Cristina Ferri

Alessandro Lucca Braccini

Renata Cristiane Pereira

Silas Maciel de Oliveira

Alvadi Antônio Balbinot Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223064>

CAPÍTULO 5..... 47

BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL COMO MITIGADORAS DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS

Roberto Cecatto Júnior

Lucas Guilherme Bulegon

Vandair Francisco Guimarães

Rodrigo Risello

Athos Daniel Fidler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223065>

CAPÍTULO 6..... 74

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DE CHERNOSSOLOS NO ESTADO DO PIAUÍ

Herbert Moraes Moreira Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223066>

CAPÍTULO 7..... 81

FERMENTAÇÃO DE CAFÉS ESPECIAIS: UMA REVISÃO DE LITERATURA EM BENEFÍCIO DA SUSTENTABILIDADE SOCIAL E ECONÔMICA DA ATIVIDADE CAFEIEIRA

Amara Alice Cerqueira Estevam

Ana Paula Lelis Rodrigues de Oliveira

Gabriel Henrique Horta de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223067>

CAPÍTULO 8..... 95

EFEITO CLONAL SOBRE O ENRAIZAMENTO DE ESTACAS DE MURUCIZEIRO

Walnice Maria Oliveira do Nascimento

Jennifer Carolina Oliveira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223068>

CAPÍTULO 9..... 100

DINÂMICA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA ADEQUAÇÃO DO CONJUNTO TRATOR-PLANTADORA DE CANA

Victor Augusto da Costa Escarela

Rodrigo Silva Alves

Thiago Orlando Costa Barboza

José Augusto Neto da Silva Lima

Carlos Alessandro Chioderoli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7602223069>

CAPÍTULO 10..... 105

PRODUÇÃO DE MUDAS DE MARACUJAZEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA, DIFERENTES SUBSTRATOS E VOLUMES DE RECIPIENTES

Gabriel Pinheiro Silva

Eduardo Mamoru Takakura

Adrielly Costa Souza

Dênmore Gomes de Araújo

Marcos André Piedade Gama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230610>

CAPÍTULO 11..... 117

IMPACTO DO MOMENTO DE APLICAÇÃO DE FUNGICIDA SOBRE O CONTROLE DE

DOENÇAS FOLIARES EM CULTIVARES DE TRIGO

Gustavo Castilho Beruski

André Belmont Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230611>

CAPÍTULO 12..... 130

LA PLURIACTIVIDAD CARACTERISTICA EN LA AGRICULTURA CAMPESINA FAMILIAR Y COMUNITARIA EN COLOMBIA

Ruben Dario Ortiz Morales

Arlex Angarita Leiton

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230612>

CAPÍTULO 13..... 150

PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE FEIJÃO-CAUPI POR *TRICHODERMA* sp. E FERTIACTYL GZ®

Maria Luiza Brito Brito

Tamirys Marcelina da Silva

Klayver Moraes de Freitas

Roberto Augusto da Silva Borges

Danielle Pereira Mendonça

Maria Carolina Sarto Fernandes Rodrigues

Gledson Luiz Salgado de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230613>

CAPÍTULO 14..... 157

CRESCIMENTO, CONCENTRAÇÃO E CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES EM *Pueraria phaseoloides* L., E SEUS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO EM UM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO

Jessivaldo Rodrigues Galvão

Ismael de Jesus Matos Viégas

Odete Kariny Souza Santos

Vanessa Melo de Freitas

Victor Hugo Tavares

Valdecyr da Costa Rayol Neto

Matheus Vinícius da Costa Pantoja

Naiane Franciele Barreira De Melo

Joel Correa de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230614>

CAPÍTULO 15..... 172

AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X EM SUCO DE UMBU OBTIDO POR CO-CRISTALIZAÇÃO

Milton Nobel Cano-Chauca

Claudia Regina Vieira

Kelem Silva Fonseca

Marcos Ferreira dos Santos

Gabriela Fernanda da Cruz Santos

Heron Ferreira Amaral
Livia Aparecida Gomes Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230615>

CAPÍTULO 16..... 179

SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE MELÃO E MELANCIA

Amália Santos da Silva Veras
Antonio Emanuel Souta Veras
Aldenice Oliveira Conceição
João Ítalo Marques Carvalho
Valdrickson Costa Garreto
Daniela Abreu de Souza
Fabiola Luzia de Sousa Silva
Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230616>

CAPÍTULO 17..... 187

ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL EM MILHO SEGUNDA SAFRA

Rogério Alessandro Faria Machado
Salette Lúcia Cótica Chapla
Marlus Eduardo Chapla
Márcio Roggia Zanuzo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230617>

CAPÍTULO 18..... 200

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UNA MÁQUINA SEMBRADORA
AGROFORESTAL AUTOMATIZADA**

Lizardo Reina Castro
Belisario Candia Soto
Fernando Reyes
Eduardo Peña

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.76022230618>

SOBRE AS ORGANIZADORAS 212

ÍNDICE REMISSIVO..... 213

BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL COMO MITIGADORAS DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS

Data de aceite: 01/06/2022

Roberto Cecatto Júnior

Lucas Guilherme Bulegon

<http://lattes.cnpq.br/3540883855097340>

Vandeir Francisco Guimarães

Rodrigo Risello

<http://lattes.cnpq.br/8464611082286772>

Athos Daniel Fidler

<http://lattes.cnpq.br/5022910592232000>

RESUMO: A ocorrência de déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam a produtividade vegetal, sendo constante a busca por inovações para minimizar as perdas ocasionadas pela limitação hídrica. Assim, objetivou-se demonstrar os efeitos da deficiência hídrica e os mecanismos envolvidos na mitigação da deficiência hídrica em plantas via a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV's). As BPCV's, podem ser aplicadas via inoculação das sementes, no sulco de semeadura ou via pulverização foliar, podendo atuar de forma a maximizar os mecanismos de defesa vegetal contra a deficiência hídrica e outros tipos de estresse. A mitigação da deficiência hídrica por parte das BPCV's envolve estímulos em diferentes sítios de ação nos vegetais, como a produção de hormônios vegetais, promoção de crescimento radicular, ação no sistema antioxidante vegetal auxiliando na remoção ou evitando a produção de espécies reativas de oxigênio, redução na

concentração de etileno pela ação da enzima ACC deaminase, estímulos na produção e proteção de pigmentos fotossintéticos, sinalização para o fechamento estomático e produção de compostos osmoticamente ativos. Esses mecanismos atuam nas plantas conjuntamente, o que resulta na mitigação dos efeitos da deficiência hídrica. O uso de BPCV's pode mitigar os efeitos do déficit hídrico de forma a minimizar as perdas na produção vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Promoção de crescimento vegetal, hormônios vegetais, mitigação da deficiência hídrica, adaptações vegetais.

PROMOTING BACTERIA OF PLANT GROWTH AS MITIGATING THE EFFECTS OF DROUGHT IN PLANTS

ABSTRACT: The occurrence of drought is one of the main limitations of plant productivity, and the search for innovations to minimize losses caused by constant water limitation. The objective was to demonstrate the effects of drought and the mechanisms involved in the mitigation of water deficiency in plants through the use of plant growth promoting bacteria (PGPB's). PGPB 's can be applied in seed inoculation, in the sowing groove and via foliar spraying, acting in a way to maximize the mechanisms of vegetal defense against drought, which results in the mitigation of negative effects. Mitigation of drought by PGPB's involves stimuli at different sites of action in plants, such as the production of phytohormones; root growth promotion; action in the vegetal antioxidant system assisting in the removal or avoiding the production of reactive oxygen species; reduction in ethylene concentration

by the action of the enzyme ACC deaminase; stimuli in the production and protection of photosynthetic pigments; signaling for stomatal closure and production of active osmolyte compounds. These mechanisms act on plants together which results in mitigation of the effects of water deficiency. The use of PGPB's has the capacity to mitigate the effects of the water deficit in order to minimize the losses in the vegetal production.

KEYWORDS: Plant growth promotion, plant hormones, mitigation of water deficiency, plant adaptations.

1 | INTRODUÇÃO

As plantas estão sujeitas a ocorrência de estresses durante seu desenvolvimento, dentre os quais, destaca-se a deficiência hídrica. O déficit hídrico causa nas plantas uma série de respostas negativas que refletem em menor desenvolvimento vegetal, incrementos na produção de espécies reativas de oxigênio, maior degradação de clorofilas, maior produção de etileno, abortamento de órgãos vegetais e menor produção final de plantas.

Em razão da limitação hídrica, os vegetais desenvolveram estratégias de tolerância que se relacionam a encurtar o ciclo, manter seu potencial fisiológico, ou manter-se hidratado mesmo em condições de seca. Estas estratégias são ligadas a adaptações de respostas mais rápidas, como o fechamento estomático, redução da área foliar ou abortamento de órgãos em condições mais severas.

Visto a importância da deficiência hídrica como limitante da produção vegetal, muitos estudos são empregados buscando formas de minimizar seus danos. Dentre esses destaca-se a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV's), que apresentam mecanismos que levam a mitigar os danos da seca, como a produção de hormônios vegetais, promoção de crescimento radicular, incrementos no sistema antioxidante vegetal reduzindo os efeitos negativos das espécies reativas de oxigênio (ERO's), presença da ACC deaminase que utiliza o substrato precursor do etileno minimizando a produção e concentração de etileno nos tecidos vegetais, proteção e estímulos na produção de moléculas de clorofila e carotenoides, produção e estímulos na produção de compostos osmólitos que sinalizam a incidência de estresse hídrico resultando em fechamento estomático. Assim, as BPCV's são utilizadas em diversas espécies vegetais como mitigadoras da deficiência hídrica.

Desta forma, a presente revisão objetivou demonstrar os efeitos da deficiência hídrica e os mecanismos envolvidos na mitigação da deficiência hídrica em plantas via a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal.

2 | DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS CULTIVADAS

A água é um composto essencial para a manutenção da vida e a capacidade produtiva das culturas agrícolas. Essa condição está ligada às suas propriedades químicas e físicas que lhe garante particularidades exclusivas, nas quais destaca-se as propriedades térmicas como alto ponto de fusão e ebulição, calor latente de fusão e vaporização e alto

calor específico, que possibilitam a manutenção da água na forma líquida em condições ambientes, salvo algumas exceções (LARCHER, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Nos vegetais a água exerce funções chave, como a manutenção do turgor da planta favorecendo o alongamento celular, as trocas gasosas e o transporte nos vasos condutores. Em condições estressantes como a deficiência hídrica ocorre a perda do turgor que desencadeia uma desorganização celular e interrupção do fluxo nos vasos condutores pela formação de cavitações (CATUCHI et al., 2012). Nas trocas gasosas, a água tem papel fundamental, no resfriamento vegetal, na troca de gases pelos estômatos e no transporte eletrônico fornece os primeiros elétrons com a fotólise da água (SLAMA et al., 2015).

Em culturas agrícolas a água representa entre 40% a 80% da massa fresca total de acordo com o estágio de desenvolvimento. Todavia, grande parte dessa água é perdida para a atmosfera, através da evapotranspiração, sendo essa perda variável de acordo com a anatomia vegetal e fisiologia vegetal. No comparativo entre plantas C_3 e C_4 em condições de campo, observa-se taxas fotossintéticas próximas, contudo em C_3 a transpiração é elevada com valores de $8,816 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ frente a $4,673 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ da C_4 , o que resulta em uma eficiência no uso da água de $3,71 \text{ mg g}^{-1}$ nas C_3 sendo 50,4% inferior às plantas C_4 (YU; WANG; ZHUANG, 2004).

Visto a importância fundamental da água, a limitação hídrica ocorre em decorrência de um balanço hídrico negativo nos vegetais, ou seja, a água absorvida via sistema radicular é menor que a água perdida via trocas gasosas (CARLESSO, 1995; SANTOS; CARLESSO, 1998; NASCIMENTO et al., 2011). A deficiência hídrica é classificada em quatro estágios: I - ligeira deficiência hídrica; II – deficiência hídrica moderada; III – deficiência hídrica severa e IV - deficiência hídrica letal (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; PIMENTEL, 2004).

Visando superar a ocorrência da deficiência hídrica as plantas desenvolveram estratégias que minimizam os efeitos da limitação hídrica sobre sua atividade fisiológica. Para superar essa condição as plantas fazem o uso de alguns mecanismos distintos; *Evitar a seca*: mantendo o seu status hídrico mesmo em ambientes secos; *Tolerar a seca*: as funções essenciais são mantidas em equilíbrio mesmo com a falta de água; e *Escapar a seca*: a planta completa seu ciclo antes de ocorrer o déficit hídrico (KRAMER, 1980). Tais estratégias envolvem modificações/adaptações a níveis fisiológicos, morfológicos e estruturais, e diferenciam de acordo com cada espécie vegetal (SOUZA; MATTA; FÁVERO, 2014).

Quando se considera as adaptações morfológicas, essas atuam na redução da área foliar, para diminuir a perda de água por transpiração e amenizar os efeitos do aquecimento vegetal (SANTOS; CARLESSO, 1998). Quando considera-se a planta a soja, as mesmas utilizam o paraheliotropismo que resulta na modificação do ângulo da folha, ficando estas paralelas aos raios solares minimizando o aquecimento e as taxas de transpiração foliar (CASAROLI et al., 2007; GAVA et al., 2015). Por sua vez, as plantas que possuem folhas do tipo lanceoladas como as poaceae, possibilitam a redução da área foliar por meio do

enrolamento das folhas (KUNZ et al., 2007).

Mesmo com as estratégias de defesa e adaptação a deficiência hídrica, a ocorrência dessa resulta em uma série de respostas negativas no sistema fisiológico, bioquímico e na morfologia vegetal, resultando em perdas significativas na produtividade agrícola. Entre as respostas negativas desencadeadas pelo déficit hídrico destaca-se a redução da taxa fotossintética (VIEIRA et al., 2013; BULEGON et al., 2017a), degradação da ultraestrutura celular pelo aumento da produção de radicais livres que ocasionam a peroxidação lipídica (BARBOSA et al., 2014; BAXTER; MITTLER; SUZUKI, 2014; SCHIEBER; CHANDEL, 2014), degradação das moléculas de clorofila devido a fotooxidação e peroxidação lipídica (BULEGON; GUIMARÃES; LAURETH, 2016), aumento na produção e concentração de etileno nos tecidos (MAYAK; TIROSH; GLICK, 2004b), redução do crescimento de estruturas vegetativas e reprodutivas (KUNZ et al., 2007), abortamento de estruturas vegetativas e reprodutivas (CATUCHI et al., 2011; FIOREZE et al., 2011) e por consequência redução da produtividade (GAVA et al., 2015).

Em soja cultivada sob déficit hídrico a manutenção do teor de água nas folhas é essencial para a produtividade (FIOREZE et al., 2011). Chavarria et al. (2015), citam a redução na capacidade fotossintética máxima em plantas de soja sob déficit hídrico, e devido a essa condição são reportadas reduções na produção da cultura (NADERI et al., 2013; FAROOQ et al., 2016). Em plantas forrageiras são demonstrados redução da expansão foliar, aumento da senescência foliar e diminuição da emissão de perfilhos (MATTOS; GOMIDE; HUAMAN, 2005; SILVA et al., 2005b; ZHOU; LAMBRIDES; FUKAI, 2013). Na cultura do milho sob déficit hídrico, a redução da área foliar e consequentemente menor aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa, apresentaram produtividade de 334 kg ha⁻¹, enquanto as plantas irrigadas, que não tiveram limitação da área foliar obtiveram produtividade de 9295 kg ha⁻¹ (KUNZ et al., 2007). No trigo, o déficit hídrico imposto no início do florescimento da cultura ocasionou redução dos componentes da produção da cultura, e consequentemente menor produtividade final (SANTOS et al., 2012), enquanto na cultura do arroz a limitação hídrica resultou em menores taxas de trocas gasosas (LAUTERI et al., 2014).

Assim, a deficiência hídrica se torna um dos fatores mais limitantes da produtividade que incide sobre as culturas agrícolas, principalmente em áreas onde o fornecimento de água depende das precipitações. A pesquisa tem voltado sua atenção para reduzir os efeitos do déficit hídrico sobre as plantas cultivadas, de forma pontual, surgindo como opção uma série de tecnologias, destacando-se o uso de reguladores vegetais (FAHAD et al., 2014; RADEMACHER, 2015), nutrientes via aplicação foliar (FIOREZE et al., 2013; MAGHSOUDI; EMAM; ASHRAF, 2015; NAWAZ et al., 2015) e o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal, que será exemplificada e discutida no decorrer desta revisão.

3 I FORMAS DE UTILIZAÇÃO DAS BPCV'S

A principal forma de utilização das BPCV's atualmente se dá via inoculação das sementes. Essa prática é feita realizada pela aplicação do inoculante diretamente sobre a massa de sementes onde as bactérias se aderem à superfície e ao iniciar o processo de germinação estas colonizam as raízes e se proliferam nessa região, dando início a colonização do sistema radicular. Todavia, essa prática apresenta algumas limitações relatadas na literatura como: para sementes pequenas tem-se uma limitação do número de células por sementes; sementes peletizadas dificultam a chegada das bactérias e favorecem a desidratação das células bacterianas; algumas espécies produzem naturalmente compostos antibióticos, tendo morte das bactérias e por fim nas grandes culturas o tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas reduzem a capacidade de colonização das bactérias (BASHAN; DE-BASHAN, 2010, 2015; CASSÁN; OKON; CREUS, 2015).

Outra forma, conhecida e difundida, principalmente para bactérias nodulantes é a aplicação via solo (BASHAN; DE-BASHAN, 2015), mas também pode ser aplicada as demais BPCV's. Contudo, os mesmos autores não recomendam a técnica para algumas BPCV, como a *A. brasilense*, por exemplo. O princípio desta técnica consiste na capacidade de sobrevivência das bactérias no solo. Assim, após o processo de germinação e emissão das raízes, através de liberação de compostos químicos pelas plantas, as bactérias são atraídas e colonizam as raízes iniciando o processo de reprodução. Estudos envolvendo, a aplicação de *A. brasilense* e *B. japonicum* via semente e via solo na cultura da soja, citam que a soja não foi responsiva a inoculação de *A. brasilense* via solo, todavia, apresentou elevação no número de nódulos, área foliar e massa seca de parte aérea, quando o *A. brasilense* foi inoculado na semente e o *B. japonicum* via solo (BULEGON et al., 2016), corroborando com a os relatos apresentados por autores anteriormente no texto.

Mais recentemente passou a se explorar a aplicação das BPCV's através da pulverização foliar em grandes culturas anuais. Tal técnica ainda tem os princípios de ação pouco explorados e pode variar a eficiência de acordo com a espécie de BPCV's em utilização, sendo relatado a eficiência no uso para as BPCV's que são endofíticas. Essas, BPCV's possuem capacidade de colonizar os tecidos vegetais e se multiplicam disponibilizando fatores de crescimento para o vegetal (OLIVARES et al., 2017).

Os produtos contendo BPCV's utilizados para aplicação foliar na literatura internacional são denominados de “*biofertilizer*”, ou, biofertilizante. Para se enquadrar nessa condição, os biofertilizantes devem conter organismos vivos, que aplicados nas sementes, na superfície foliar ou no solo, colonizam as plantas e promovem o crescimento pelo incremento de fatores produtivos ou na habilidade de fornecer nutrientes para as plantas (VESSEY, 2003).

Alguns trabalhos citados por Sudhakar et al. (2000), a aplicação via foliar de BPCV's

apresenta as seguintes vantagens: proximidade com os sítios de ação; menor competição com outros microrganismos e fatores de crescimento no filopiano das folhas e potencial de reduzir a presença de bactérias e fungos patogênicos.

Nesse sentido, estudos envolvendo a aplicação foliar de BPCV's evidenciam respostas positivas ou negativas sobre a produção das culturas agrícolas. Ausência de efeitos significativos são demonstrados em soja submetidas a doses crescente (0 a 700mL ha⁻¹) de *A. brasilense* (ZUFFO et al., 2016). No trigo a mesma bactéria não se mostrou responsiva a inoculação foliar com doses de 300 a 400 mL ha⁻¹ (PEREIRA et al., 2017), bem como na cultura do milho com aplicação de 250 mL ha⁻¹ (KAPPES; SILVA; FERREIRA, 2017).

Uma série de respostas positivas também são demonstradas, como no arroz irrigado onde o uso da aplicação foliar de *A. brasilense* incrementa o pH e produtividade, sendo a dose de 200 mL ha⁻¹ a de maior resposta (GARCIA et al., 2016). Em frutíferas como a amora (*Morus alba*), o fornecimento de *Azotobacter* spp. no florescimento elevou a produção de folhas e frutos (SUDHAKAR et al., 2000). Para o damasco (*Prunus armeniaca*), e a cereja doce (*Prunus avium* L.) a o uso de *Bacillus* spp. aplicado no florescimento da cultura incrementou o acúmulo de nutrientes no fruto (ESITKEN et al., 2003, 2006).

Para a inoculação das BPCV's uma série de possibilidades e formas de aplicação se apresentam. Todavia, a aplicação via foliar ainda necessita de maiores estudos em relação à sua eficácia, pois essa etapa é fundamental para garantir a eficiência do uso das BPCV's nas mais diversas espécies vegetais, seja visando mitigação de efeitos da deficiência hídrica, incrementos em acúmulo de massa ou maior produtividade.

4 | UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO

A forma mais eficiente de minimizar este efeito é através do melhoramento genético, que resulta na seleção de plantas com características desejáveis para a maior tolerância à deficiência hídrica. Como exemplo pode-se citar, na cultura do milho, uma característica desejável que é o "stay-green" associado à produção de grãos, prolificidade e o florescimento feminino (CÂMARA et al., 2007). Todavia, na mesma cultura, foi demonstrado que outros fatores estão envolvidos na tolerância como o desenvolvimento radicular (HEINEMANN et al., 2009).

Acurto prazo são buscadas formas de minimizar os efeitos da ocorrência da deficiência hídrica, se mostrando como opção o uso de reguladores vegetais (RADEMACHER, 2015), e as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV's). As BPCV's apresentam uma série de mecanismos que auxiliam as plantas em condições de deficiência hídrica, sejam aplicadas via semente (FIGUEIREDO et al., 2008; BANO et al., 2013; KUMAR et al., 2016), ou via foliar (ZAKIKHANI et al., 2012; BULEGON; GUIMARÃES; LAURETH, 2016; BULEGON et al., 2017a).

A mitigação dos efeitos da deficiência hídrica sobre plantas ocorre devido a estímulos e/ou proteção que as mesmas exercem no vegetal. Contudo, destaca-se que os estímulos são variados de acordo com a espécie de bactéria utilizada e a cultura que está sendo estudada. Considerando o exposto, a seguir serão listados os principais mecanismos estimulados pelas BPCV's envolvidos na mitigação dos efeitos causados pela deficiência hídrica.

4.1 Produção de hormônios vegetais

A produção e/ou estímulos à produção de hormônios vegetais foi um dos primeiros efeitos a serem estudados em função do uso das BPCV's, sendo que grande parte dos efeitos dessas bactérias estão direta ou indiretamente ligadas aos hormônios vegetais.

Quando se considera a produção de hormônios vegetais, as BPCV's podem ou não apresentar produção de hormônios vegetais, e quando apresentam podem ser um ou vários compostos. Todavia, destaca-se que o principal hormônio produzido pelas BPCV's é o ácido indol-acético (AIA), uma auxina, sendo esse demonstrado para diversas bactérias. Quando se considera as diversas espécies de BPCV's, as que apresentam maior gama na produção de hormônios são a *Azospirillum brasilense* e a *Bacillus* sp., com destaque para o *Bacillus subtilis* (Tabela 9).

Estudos que envolveram hormônios vegetais, apontam a efetividade para a mitigação dos efeitos da deficiência hídrica em plantas. O aumento na concentração de auxinas nos tecidos (dentro de um nível adequado) incrementa o desenvolvimento radicular de plantas e promove melhor arquitetura radicular, o que culmina em maior capacidade de exploração do solo e absorção de água e nutrientes (LI et al., 2018). Também é relatado na literatura que a redução na produção de espécies reativas de oxigênios (ERO's) ocorre pela aplicação exógena de auxina, na forma AIA, e quando em níveis mais baixos de auxina tem-se um aumento das ERO's e uma menor tolerância à seca, em *Arabidopsis* sp. (KINOSHITA et al., 2012). Portanto, a presença de auxina nos tecidos vegetais auxiliou na manutenção do status hídrico, classificando cultivares de soja com maiores teores de auxina, em grupos tolerantes ao déficit hídrico (VIEIRA et al., 2013).

BPCV	Auxina	Giberelina	Citocinina	Ácido abscísico	Fonte
<i>Azospirillum brasilense</i>	+	+	+	+	Bottini et al. (1989); Radwan et al. (2005); Kuss et al. (2007); Perrig et al. (2007); Cohen et al. (2008); Cassán et al. (2009); Cohen et al. (2009)
<i>Burkholderia sp</i>	+	+	--	--	Halda-Alija (2003); Joo et al. (2009); Kang et al. (2010)
<i>Bacillus sp.</i>	+	+	+	+	Gutiérrez-Mañero et al. (2001); Araújo et al. (2005); Arkhipova et al. (2005); Grover et al. (2014); Reetha et al. (2014)
<i>Pseudomonas sp</i>	+	+	--	--	Akiyoshi et al. (1987); Patten & Glick (2002); Kang et al. (2014); Reetha et al. (2014)
<i>Sinorhizobium meliloti</i>	+	--	--	--	Bianco & Defez (2009); Golubev et al. (2011)

+ representa a produção do hormônio; -- representa que não foram encontrados relatos na literatura da produção do respectivo hormônio para a BPCV.

Tabela 1. Resultados quanto a produção de auxina, giberelina, citocinina e ácido abscísico por parte das bactérias promotoras de crescimento vegetal.

A giberelina, em condições de deficiência hídrica atua incrementando o conteúdo de cloroplastos e de ácidos nucleicos, além de alongamento e divisão celular. A aplicação exógena de giberelina incrementou a atividade antioxidante em plantas de canola as quais apresentaram menores efeitos da limitação hídrica (LI et al., 2010).

Na cultura do arroz a ocorrência de deficiência hídrica levou a incremento na síntese de citocinina de forma coordenada ao sistema de síntese de carbono e nitrogênio, o que acarretou em manutenção da atividade fisiológica, e maior tolerância ao déficit hídrico (REGUERA et al., 2013). Na espécie *Agrostis stolonifera* a aplicação exógena de citocinina de forma quinzenal, associada com fertilizante nitrogenado, incrementou a capacidade de tolerância a deficiência hídrica, devido a aumentar a atividade das enzimas do sistema antioxidante, resultando em menor acúmulo de ERO's (CHANG et al., 2016). De forma similar, a aplicação exógena de citocinina elevou a tolerância do trigo a deficiência hídrica (KUMARI; KUMAR; PRAKASH, 2018).

O ácido abscísico (ABA) está diretamente ligado ao processo de fechamento estomático quando em condições de deficiência hídrica. Portanto, a aplicação exógena de ABA resultou em menor peroxidação lipídica, por estímulos na atividade antioxidante e manutenção de maiores teores de água nas folhas de plantas de Kiwi (WANG et al., 2011). Em *Cotinus cogglyria*, além dos efeitos citados anteriormente foi observado menor abertura estomática e maior taxa fotossintética (LI et al., 2011).

Visto serem relatados várias respostas positivas dos hormônios vegetais quando em condições de deficiência hídrica, as BPCV's, quando inoculadas, trazem resultados

semelhantes, pois estas levam ao aumento dos níveis de hormônios nos tecidos vegetais. Assim, os efeitos se mostram benéficos e são descritos na tabela 10, para diferentes espécies de BPCV's e culturas.

BPCV	Espécie	Resultados encontrados	Fonte
<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Incrementos nos níveis de ácido abscísico	Cohen et al. (2015)
	<i>Zea mays</i>	Incrementos nos níveis de giberelina e ácido abscísico.	Cohen et al. (2009)
<i>Bacillus sp.</i>	<i>Zea mays</i>	Produção de ácido indol-acético (auxina), giberelina e citocinina,	Vardharajula et al. (2011)
	<i>Lactuca sativa</i>	Produção de citocinina, sendo que em condições de deficiência hídrica foi obtido na testemunha menor teor de citocinina.	Arkhipova et al. (2007)
<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Zea mays</i>	Os resultados sugeriram incrementos na concentração de jasmonatos e ácido salicílico em plantas de soja.	Kang et al. (2014)
<i>Sinorhizobium meliloti</i>	<i>Medicago sativa</i>	Incrementos na síntese de citocinina que atuou como sinalizador, incrementando a atividade do sistema de defesa vegetal a deficiência hídrica, sem afetar a fixação biológica da espécie.	Xu et al. (2012)

Tabela 2. Resumo dos resultados obtidos para bactérias promotoras de crescimento vegetal quanto a produção de hormônios vegetais em condições de déficit hídrico.

Desta forma, de acordo com o demonstrado na tabela 9, associado com os resultados por parte das BPCV's pela produção de hormônios (Tabela 10), fica evidenciado que os hormônios vegetais são fundamentais na manutenção do status hídrico vegetal, sendo as BPCV's uma opção para amenizar os efeitos da deficiência hídrica em plantas.

4.2 Promoção de crescimento radicular

A promoção de crescimento radicular é um efeito relacionado com a produção de hormônios vegetais por parte das BPCV's. Esta atua em condições de deficiência hídrica amenizando os efeitos devido a maior capacidade de exploração do solo pelo sistema radicular, o que resulta em maior possibilidade de absorção de água.

A maior exploração do solo, quando a planta "identifica" a limitação hídrica é uma resposta já conhecida dos vegetais. Em soja cultivada com ausência de limitação hídrica, 97% do sistema radicular se concentra na camada de 0 a 23 cm (BENJAMIN; NIELSEN, 2006). Os mesmos autores relatam que em ervilha e grão de bico, 80% do sistema radicular se concentra de 0 – 23 cm em condição irrigadas. Todavia, em condições de limitação hídrica apenas 66% do sistema radicular se concentra nessa camada do solo. Condição semelhante foi demonstrada em plantas de milho sob déficit moderado, que tiveram um aumento do sistema radicular se desenvolvendo em camadas mais profundas do solo para buscar água (EGHBALL; MARANVILLE, 1993).

Para o *Bacillus* spp. são relatados na cultura do feijoeiro incrementos entre 58% a 71% em massa fresca de raízes, comparado ao tratamento controle (LÓPEZ-BUCIO et al., 2007). O mesmo é demonstrado para as *Pseudomonas* spp. onde observou-se incrementos de 35% no sistema radicular de canola, associado à produção de AIA (PATTEN; GLICK, 2002). Na tabela 11 são demonstrados mais resultados por parte das BPCV's no desenvolvimento radicular e na mitigação da deficiência hídrica.

BPCV	Espécie	Resultados encontrados	Fonte
<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Zea mays</i>	Incrementos no desenvolvimento do sistema radicular, que resultaram no incremento da massa de planta de milho.	Rodríguez-Salazar et al. (2009)
<i>Bacillus</i> sp.	<i>Sorghum bicolor</i>	Foram observados que plantas inoculadas mantiveram maiores valores de umidade do solo, pela formação de uma película na rizosfera, que auxilia na manutenção da umidade incrementando o acúmulo de massa e o conteúdo de pigmentos foliares.	Grover et al. (2014)
	<i>Retama sphaerocarpa</i>	Maior desenvolvimento radicular, associando a inoculação do <i>Bacillus</i> sp. e micorriza, o que em déficit hídrico manteve a absorção de água e nutrientes e como resultado maior desenvolvimento da planta.	Marulanda et al. (2006)
<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Catharanthus roseus</i>	Desenvolvimento radicular, resultou em incrementos de acúmulo de massa fresca e seca de parte aérea, bem como em altura de plantas.	Jaleel et al. (2007)

Tabela 3. Resumo dos resultados obtidos para bactérias promotoras de crescimento vegetal quanto ao desenvolvimento radicular em condições de déficit hídrico.

Nesse sentido, relatos na literatura evidenciam a capacidade de incrementos no sistema radicular, principalmente em condições de desenvolvimento inicial de culturas com o uso das BPCV's. Na cultura do trigo a inoculação das sementes com *A. brasilense* resultou em maior comprimento do sistema radicular, com valores variando entre 11% a 50%, de acordo com a cultivar em estudo, no desenvolvimento inicial da cultura (RAMPIM et al., 2012). Em plantas de arroz o *A. brasilense* promoveu incrementos em comprimento de raízes variando de 7% a 24%, dependendo da estirpe em questão (GUIMARÃES et al., 2013).

Visto a eficiência de promoção do crescimento radicular em função do uso de BPCV's, e o levantado sobre a exploração radicular do solo quando na presença da deficiência hídrica, o uso das BPCV's apresenta potencial para mitigar os efeitos da deficiência hídrica através desse mecanismo.

4.3 Atividade antioxidante

Quando a planta é submetida à condição de deficiência hídrica, desencadeia-se uma desordem fisiológica (ZHOU; LAMBRIDES; FUKAI, 2013), ocasionando uma sobra de O₂ e

culminando na formação do superóxido, ainda nessa condição ocorre a fotorrespiração e fotooxidação resultando também na formação de ERO's. Essas ERO's podem ser do tipo superóxido ($O_2^{\bullet-}$), radicais hidroperoxila (HO_2^{\bullet}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais hidroxila (HO^{\bullet}) (ESTEVEES; SUZUKI, 2008; ASHRAF, 2009).

O sistema antioxidativo vegetal é composto por uma série de enzimas, com destaque para as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e as peroxidases (POD). Embora o sistema de defesa das plantas seja eficiente, é prejudicado em condições de déficit hídrico severo, onde tem-se o rompimento da relação entre a atividade das enzimas antioxidativas e a produção de ERO's, ficando a planta exposta a degradação e morte celular (CAO et al., 2015).

Vários trabalhos indicam a elevação na atividade das enzimas do estresse oxidativo em condições de déficit hídrico (AIMAR et al., 2014; AHMED et al., 2015; HENDGES et al., 2015; KUMAR et al., 2015). Contudo, os resultados mostram que o sistema não necessariamente se eleva como um todo, sendo relatado em alguns momentos maior importância da SOD (LI et al., 2015b), em outros da POD (LIU; CHAN, 2015; NAWAZ et al., 2015) e também maior importância da CAT (CAMPOS et al., 2011; AIMAR et al., 2014).

Quando se considera as BPCV's, essas atuam em duas vias distintas dentro do sistema antioxidativo, aumentando a atividade desse sistema ou reduzindo a atividade desse sistema, conforme demonstrado na Tabela 12.

BPCV	Espécie	Resultados encontrados	Fonte
<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Urochloa ruziziensis</i>	Incremento na atividade antioxidante vegetal, resultando em menor degradação de clorofilas e carotenoides.	Bulegon et al. (2016)
	<i>Glycine max</i>	Enzimas antioxidantes desempenham um papel importante no alívio dos efeitos prejudiciais do estresse hídrico.	Zakikhani et al. (2012)
<i>Burkholderia sp</i>	<i>Zea mays</i>	Menor produção de ERO's que aliviou o efeito do déficit hídrico, pelo aumento na capacidade antioxidante. Menor abertura estomática, mantendo a taxa fotossintética em condições de seca, levando ao aumento na eficiência no uso da água.	Fan et al. (2015)
<i>Bacillus sp.</i>	<i>Zea mays</i>	Redução da atividade antioxidante das enzimas ascorbato peroxidase, catalase, glutathione peroxidase. Como resultado, as plântulas apresentaram resposta fisiológica que podem aliviar os efeitos negativos do estresse hídrico.	Vardharajula et al. (2011)
<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Zea mays</i>	Em comparação com plantas não inoculadas, as inoculadas apresentaram atividades significativamente menores da ascorbato peroxidase, catalase e glutathione peroxidase sob estresse hídrico, indicando que as inoculadas sofreram menores estresse em comparação com as não inoculadas.	Sandhya et al. (2010)

Tabela 4. Resumo dos resultados obtidos para bactérias promotoras de crescimento vegetal quanto ao sistema antioxidante em condições de déficit hídrico.

Os resultados que indicam o incremento na atividade antioxidante se mostram como uma resposta direta, pois de acordo com os relatos, em deficiência hídrica ocorre incrementos na produção de ERO's. O aumento da atividade antioxidante ameniza os efeitos negativos da peroxidação de proteínas e lipídeos. Para, a redução da atividade antioxidante, essa passa a ser uma resposta com tendência indireta, visto as mesmas atuarem sinalizando a incidência de estresse vegetais (ARKHIPOVA et al., 2005; BULEGON et al., 2017a), possibilitando a ativação das defesas vegetais de forma antecipada reduzindo a formação de ERO's e conseqüentemente menor necessidade da atividade de enzimas antioxidantes.

Desta forma, o uso de BPCV's que apresentam ação sobre o sistema antioxidante vegetal mostra-se fundamental para a mitigação dos efeitos desencadeados pelo déficit hídrico vegetal, devido a proteção exercida nas moléculas providas pelos danos causados pela produção de espécies reativas de oxigênio.

4.4 Atividade da ACC deaminase

Durante a ocorrência do déficit hídrico tem-se o incremento da síntese de etileno que leva a redução ou até inibição do desenvolvimento vegetal. Em níveis mais severos leva ao abortamento de estruturas vegetais (LARCHER, 2003). A síntese de etileno em vegetais de forma resumida ocorre na rota da metionina, que é transformado em S-adenosilmetionina (SAM), que via a enzima ACC sintase é convertido em ácido 1-aminociclopropano carboxílico (ACC), que sofre a ação da ACC oxidase sendo convertido em etileno (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A biossíntese de etileno pela ACC oxidase é reduzida pela alta concentração de CO₂; anaerobiose e temperatura acima de 35 °C. Outra forma de limitar a síntese de etileno é reduzindo a produção da ACC, nos vegetais, assim a enzima ACC oxidase terá limitação do substrato e por conseqüência menor síntese de etileno. Nesse sentido, as BPCV's tem um papel importante pela produção da enzima ACC deaminase, que sequestra a ACC e a utiliza como substrato para o fornecimento de nitrogênio e energia (GLICK, 2014). Os mesmos autores, ainda citam que o incremento em auxinas, como relatado na seção produção de hormônios vegetais, também reduzem a atividade da ACC oxidase.

Estudos envolvendo deficiência hídrica mostram incrementos na síntese de etileno (ARRAES et al., 2015; VALLURU et al., 2016). Na cultura *Brassica rapa* subsp. *Chinensis* foi explanado que o aumento do etileno nos tecidos vegetais, levou a redução das taxas fotossintéticas, pela menor atividade da RUBISCO (HUANG et al., 2014). Incrementos no etileno também levam à degradação das clorofilas (STREIT et al., 2005).

Todavia, os resultados adversos por parte do etileno são observados apenas em elevadas concentrações no tecido vegetal. Uma série de estudos relata que em concentrações mais baixas o hormônio gasoso atua na sinalização para o fechamento estomático (TANAKA et al., 2005; IQBAL et al., 2011b), na modulação do crescimento radicular (SHARP & LENOBLE, 2001), atuando de forma conjunta com o ABA (VALLURU

et al., 2016).

Quando se considera os resultados por parte das BPCV's várias são as que apresentam essa capacidade, sendo que em condições de deficiência hídrica alguns estudos associam esse mecanismo com a mitigação dos efeitos da deficiência hídrica (Tabela 13). Além das BPCV's já citadas, outras possuem essa capacidade, como a *Azospirillum brasilense* (LI; SALEH-LAKHA; GLICK, 2005).

BPCV	Espécie	Resultados encontrados	Fonte
<i>Bacillus</i> sp.	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Redução da concentração da ACC em 39%, sendo observado que plantas inoculadas demonstraram menor redução da clorofila e menor peroxidação lipídica.	Barnawal et al. (2013)
<i>Pseudomonas</i> sp.	<i>Pisum sativum</i>	Maior crescimento das plantas e eficiência do uso da água sob deficiência hídrica, pela redução do etileno, o qual em níveis elevados demonstrou efeitos inibitórios no crescimento de raízes e brotos.	Arshad et al. (2008); Zahir et al. (2008)
<i>Achromobacter piechaudii</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Redução na concentração de etileno em plantas inoculadas, resultando no incremento de massa seca e fresca de plantas.	Mayak et al. (2004)

Tabela 5. Resumo dos resultados obtidos para bactérias promotoras de crescimento vegetal quanto a ação via ACC deaminase em condições de deficiência hídrica.

Assim, BPCV's que apresentam o mecanismo relacionado à atividade da enzima ACC deaminase são eficientes como mitigadores dos efeitos da deficiência hídrica, reduzindo a síntese e a concentração de etileno nos tecidos em condições de seca, ou ainda, reduzindo a concentração em condições iniciais de seca, fazendo com que o etileno atue como sinalizador, e não como hormônio ligado a senescência vegetal.

4.5 Pigmentos fotossintéticos e fotoprotetores

Quando se tem ocorrência de deficiência hídrica o sistema fisiológico passa a ser limitado, ou seja, a eficiência da utilização da luz nos cloroplastos é reduzida devido à falta de água (CHAVARRIA et al., 2015; BULEGON et al., 2017a). Quando da ocorrência dessa limitação, ocorre uma sobra de energia e os pigmentos clorofilados são degradados pelo excesso de energia luminosa pela fotooxidação (STREIT et al., 2005), a qual também ocorre em condições normais, contudo, em menor intensidade.

Para proteger a clorofila da fotodegradação os pigmentos carotenoides dissipam o excesso de energia luminosa (CASAROLI et al., 2007). Assim, a manutenção dos teores de carotenoides é fundamental para a manutenção dos teores de clorofilas nos tecidos foliares.

Nesse sentido, é relatado na literatura que o uso de *Azospirillum brasilense* incrementa a síntese de clorofila em plantas de trigo (BASHAN et al., 2006). Em condições

de deficiência hídrica severa a mesma BPCV auxiliou na proteção das moléculas de clorofila, associado à manutenção das moléculas de carotenoides (BULEGON; GUIMARÃES; LAURETH, 2016). Esses autores associaram tal resposta à capacidade antioxidativa, visto a elevação do teor de carotenoides auxiliar na manutenção das clorofilas pois sequestram oxigênio singlet (GILL; TUTEJA, 2010). Nesta mesma linha, a incidência de deficiência hídrica em *Cicer arietinum* reduziu os níveis de clorofila, todavia quando inoculadas com *Pseudomonas putida* e *Bacillus amyloliquifaciens* a redução foi minimizada, auxiliando na mitigação dos efeitos da seca (KUMAR et al., 2016).

Ao se considerar a BPCV *Bacillus* sp. plantas de sorgo inoculadas e submetidas a condições de seca tiveram incrementos nos teores de clorofila quando comparadas ao controle não inoculado (GROVER et al., 2014), representando um melhor desempenho fisiológico, ou seja, uma importante variável para caracterização de tratamentos que elevam a tolerância das plantas em deficiência hídrica. Corroborando com essa afirmação, vários autores relatam que a manutenção de elevados teores de clorofila nos tecidos foliares é uma característica para a tolerância a deficiência hídrica (ARUNYANARK et al., 2008; HOMAYOUN; DALIRI; MEHRABI, 2011).

Portanto, o uso de BPCV's atua nos pigmentos de duas formas, estimulando a síntese de clorofilas, ou protegendo as clorofilas da degradação, estando altamente correlacionado à preservação dos teores de carotenoides, o que torna a planta mais tolerante à seca, bem como acelerada sua recuperação após o alívio do estresse.

4.6 Fechamento estomático e compostos osmoticamente ativos

A abertura e fechamento dos estômatos é uma das primeiras linhas de defesa vegetal para a deficiência hídrica. Quando da falta de água no solo, ocorre a variação de turgescência das células da zona meristemática das extremidades das raízes, iniciando-se uma série de respostas, pela síntese de ácido abscísico (ABA) que é translocado para a parte aérea, e juntamente com a descompartimentalização de ABA na parte aérea, induzem o fechamento estomático por atuar na inibição da atividade de ATPases na membrana plasmática das células-guarda. A transpiração estomática representa a principal perda de água pelos vegetais, sendo o fechamento estomático fundamental para evitar a perda de água, tendo relação direta com a manutenção do conteúdo de água nos tecidos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Ao se considerar o item 4.1 desta revisão, sobre hormônios vegetais, onde as BPCV's apresentam potencial em sintetizar ABA (ARAÚJO; HENNING; HUNGRIA, 2005; COHEN; BOTTINI; PICCOLI, 2008; COHEN et al., 2009), essas possuem ação que levam ao fechamento estomático, evitando a perda excessiva de água, mitigando os efeitos da deficiência hídrica.

Em estudos com a cultura do milho existem relatos que plantas inoculadas com *A. lipoferum* apresentaram teores de ABA de 3013 ng g⁻¹ de massa fresca, enquanto as

plantas controle demonstravam 1846 ng g⁻¹ (COHEN et al., 2009). Em *Arabidopsis thaliana* os níveis endógenos de ABA em plantas inoculadas com *A. brasilense* foram de 3,55 ng g⁻¹ de massa fresca, frente a 1,52 ng g⁻¹ de massa fresca nas plantas controle (COHEN; BOTTINI; PICCOLI, 2008), sendo essas respostas associadas à mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

Outro processo fisiológico que pode resultar no fechamento estomático é a sinalização, ou seja, a sinalização da limitação hídrica no solo, que resulta na produção de compostos pela planta para se aclimatar a tal condição. Essa sinalização é dada em grande parte via compostos osmólitos, que são produzidos em maiores quantidades em condições de deficiência hídrica. Deste modo, em plantas de *Urochloa ruziziensis* inoculadas com *A. brasilense* o fechamento estomático ocorreu de forma antecipada em relação ao controle, acarretando em redução da taxa fotossintética nesse momento. Todavia, com o aumento da intensidade do déficit hídrico as plantas inoculadas mantiveram certa abertura estomática e taxa fotossintética, enquanto plantas do controle tiveram a assimilação de CO₂ nula, tendo iniciado a respiração vegetal e consumo de reservas (BULEGON et al., 2017a). Esses compostos osmólitos podem ser representados por prolina, açúcares, poliaminas, betainas, compostos de amônio e alguns aminoácidos (VURUKONDA et al., 2016).

Todavia, alguns relatos da literatura associam a produção destes compostos osmólitos à mitigação de efeitos negativos da deficiência hídrica. Em plantas de milho, a inoculação de *A. lipoferium* resultou em incrementos nos teores de aminoácidos livres, destacando-se a prolina, açúcares solúveis e proteínas, o que levou à conclusão que a BPCV mostrou resultados promissores e pode ser um inoculante eficiente para auxiliar a cultura a suportar a limitação na disponibilidade de água (BANO et al., 2013). Em *Sorghum bicolor* a maior concentração de açúcares solúveis e prolina nas plantas inoculadas com *Bacillus* sp. resultou em plantas com maior massa seca de sistema radicular e parte aérea e maior teor de clorofila, além de maior teor de umidade do solo nos tratamentos inoculados quando comparado ao tratamento controle (GROVER et al., 2014). Esses autores, citam a produção de exopolissacarídeo e a formação de biofilme pelos microrganismos inoculados que auxiliam na conservação da umidade na rizosfera e na superfície radicular.

Diante do exposto, no decorrer desta seção, fica evidenciado as potencialidades das BPCV's em amenizar os efeitos da deficiência hídrica em plantas através de uma série de mecanismos, via estímulos nas defesas vegetais, destacando-se ainda que esses mecanismos ocorrem de forma simultânea no vegetal, originando os resultados aqui relatados.

51 NOVOS ESTUDOS E POTENCIALIDADES PARA A UTILIZAÇÃO DAS BPCV'S

Mais recentemente, alguns trabalhos relatam que os fatores de crescimento

produzidos pelas BPCV's no meio de cultura, que ao entrar em contato com as folhas são absorvidos e assimilados passando a atuar no metabolismo vegetal.

Nesse sentido, estudos buscando identificar a produção de hormônios vegetais por parte das BPCV's, demonstram na cultura do milho e do arroz, que a produção de ácido indol-acético (AIA) interfere no desenvolvimento inicial das culturas (RADWAN; MOHAMED; REIS, 2004). Em estudos na cultura do soja e milho, a produção de ácido indolacético (AIA), giberelina (GA_3) e citocinina (CK), melhoram o desenvolvimento inicial das plantas (CASSÁN et al., 2009). Esses autores, citam que para melhor explorar a capacidade de produção hormonal das BPCV's, se faz necessário o conhecimento na capacidade de produção de compostos promotores de crescimento, para melhor identificar as potencialidades de cada espécie.

Visado identificar as potencialidade envolvendo a produção de compostos promotores de crescimento nos meios de cultivo das BPCV's, *Azospirillum brasilense* estirpe Az39 e Cd e *Bradyrhizobium japonicum* E109, evidencia-se que essas possuem comportamento diferenciado na produção de fatores de crescimento vegetal, em meio de cultivo (PERRIG et al., 2007; CASSÁN et al., 2009), para isso, foi compilado na Tabela 14, os níveis de produção de compostos promotores de crescimento de cada uma dessas bactérias.

BPCV	AIA	GA_3	CK	ABA	Et	Poliaminas totais
	$\mu\text{g mL}^{-1}$	$\mu\text{g mL}^{-1}$	$\mu\text{g mL}^{-1}$	$\mu\text{g mL}^{-1}$	$\text{ng mL}^{-1} \text{h}^{-1}$	nmoles mL^{-1}
<i>A. brasilense</i> Az39 ¹	2,9	0,30	0,75	7,70	2,32	201,11
<i>A. brasilense</i> Az39 ²	13,16	0,39	0,88	--	--	--
<i>A. brasilense</i> Cd ¹	10,8	0,66	2,37	0,65	3,94	141,55
<i>B. japonicum</i> E109 ²	6,62	0,95	0,65	--	--	--

Tabela 6. Produção de compostos promotores de crescimento vegetal em meio de cultura por parte das principais espécies de bactérias promotoras de crescimento vegetal.

Fonte: ¹Perrig et al. (2007); ²Cassán et al. (2009); Adaptação: Bulegon (2018).

Nota: AIA: ácido indol-acético (auxina); GA_3 : ácido giberélico (giberelina); CK: zeatina (citocinina); ABA: ácido abscísico; Et: etileno; Poliaminas totais: somatório entre putrescina, espermidina, espermina e precursor da L-lisina.

Por fim, vale ressaltar que embora as BCPV sejam amplamente estudadas e exploradas, em diversas culturas, os avanços nas pesquisas levam a descobertas que necessitam serem estudadas para melhor entendimento. Essa condição é semelhante à citada para a aplicação foliar de BPCV que foi estudada em frutíferas (SUDHAKAR et al., 2000; ESITKEN et al., 2006) e recentemente passou a ser explorada em culturais anuais com efeitos de promoção de crescimento vegetal e mitigação de estresses abiótico causado pela deficiência hídrica, principalmente pela facilidade de utilização via pulverização em área total. Todavia, vale destacar que os resultados positivos ainda são inconstantes,

principalmente pela falta de estudos ligados ao modo de ação dessas BPCV quando aplicadas via foliar.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se todos os aspectos apresentados e discutidos no decorrer desta revisão, fica evidenciado que as BPCV's agem reduzindo os efeitos negativos da deficiência hídrica em diversas espécies vegetais, através de uma série de mecanismos, que embora nesta revisão foram explorados de forma individualizada para melhor entendimento, agem em de forma conjunta (Tabela 15).

Déficit hídrico sem BPCV	Déficit hídrico com BPCV
Menor teor de água foliar	Promoção de crescimento radicular e/ou sinalização da seca, leva a maior área de absorção de água ou menores perdas de água provida pelo fechamento estomático
Menor desenvolvimento vegetal	Maior desenvolvimento vegetal, associado a uma série de fatores de crescimento, como hormônios vegetais, desenvolvimento radicular, pigmentos foliares e sistema antioxidante
Maior degradação de membranas	Sistema antioxidante atua de forma a evitar a formação de ERO's, assim a peroxidação de proteínas e lipídeos é reduzida.
Maiores níveis de etileno	Ação da ACC deaminase remete menor síntese de etileno.
Menores taxas fotossintéticas	Os fatores de crescimento produzidos pelas BCPV's, favorece maiores taxas fotossintéticas e consequentemente o crescimento vegetal
Maior efeito residual da deficiência hídrica, após reidratação	Devido a atividade fisiológica e a manutenção de pigmentos clorofilados, pela proteção exercida pelos carotenoides e o sistema enzimático, as plantas recuperam mais rapidamente sua atividade

Tabela 7. Resumo dos efeitos observados em plantas sobre condição de deficiência hídrica e com a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) atuam na mitigação da deficiência hídrica via os mecanismos exemplificados.

Desta forma, as plantas apresentam uma série de respostas positivas, principalmente na manutenção do desenvolvimento vegetal, o que ao final do ciclo das culturas culmina em maiores produtividade, ao se comparar com plantas controle, confirmando a capacidade de mitigação por parte destes microrganismos, que associado aos novos estudos evidenciam novos potenciais de exploração, tendo as BPCV's crescente importância no cenário agrícola nacional e mundial.

REFERÊNCIAS

AHMED, I. M.; NADIRA, U. A.; BIBI, N.; CAO, F.; HE, X.; ZHANG, G.; WU, F. Secondary metabolism and antioxidants are involved in the tolerance to drought and salinity, separately and combined, in Tibetan wild barley. **Environmental and Experimental Botany**, v. 111, p. 1–12, 2015.

AIMAR, D.; CALAFAT, M.; ANDRADE, A. M.; CARASSAY, L.; BOUTEAU, F.; ABDALA, G.; MOLAS, M. L. Drought effects on the early development stages of *Panicum virgatum* L.: Cultivar differences. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, n. 7, p. 49–59, 2014.

AKIYOSHI, D. E.; REGIER, D. A.; GORDON, M. P. Cytokinin production by *Agrobacterium* and *Pseudomonas* spp. **Journal of bacteriology**, v. 169, n. 9, p. 4242–4248, 1987.

ARAÚJO, F. F.; HENNING, A. A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 21, n. 9, p. 1639–1645, 2005.

ARKHIPOVA, T. N.; PRINSEN, E.; VESELOV, S. U.; MARTINENKO, E. V.; MELENTIEV, A. I.; KUDOYAROVA, G. R. Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. **Plant and Soil**, v. 292, n. 1–2, p. 305–315, 2007.

ARKHIPOVA, T. N.; VESELOV, S. U.; MELENTIEV, A. I.; MARTYNENKO, E. V.; KUDOYAROVA, G. R. Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. **Plant and Soil**, v. 272, n. 1, p. 201–209, 2005.

ARRAES, F. B. M.; BENEVENTI, M. A.; LISEI DE SA, M. E.; PAIXAO, J. F. R.; ALBUQUERQUE, E. V. S.; MARIN, S. R. R.; PURGATTO, E.; NEPOMUCENO, A. L.; GROSSI-DE-SA, M. F. Implications of ethylene biosynthesis and signaling in soybean drought stress tolerance. **BMC Plant Biology**, v. 15, n. 1, p. 1–20, 2015.

ARSHAD, M.; SHAHAROONA, B.; MAHMOOD, T. Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea. **Pedosphere**, v. 18, n. 5, p. 611–620, 2008.

ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, N.; KESMALA, T.; NAGESWARA RAO, R. C.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 2, p. 113–125, 2008.

ASHRAF, M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 84–93, 2009.

BANO, Q.; ILYAS, N.; BANO, A.; ZAFAR, N.; AKRAM, A.; HASSAN, F. U. L. Effect of Azospirillum inoculation on maize (*Zea mays* L.) under drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 1, p. 13–20, 2013.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453–460, 2014.

BARNAWAL, D.; MAJI, D.; BHARTI, N.; CHANOTIYA, C. S.; KALRA, A. ACC deaminase-containing *Bacillus subtilis* reduces stress ethylene-induced damage and improves mycorrhizal colonization and rhizobial nodulation in trigonella foenum-graecum under drought stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 4, p. 809–822, 2013.

BASHAN, Y.; BUSTILLOS, J. J.; LEYVA, L. A.; HERNANDEZ, J. P.; BACILIO, M. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, n. 4, p. 279–285, 2006.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum* Promotes Plant Growth - A Critical Assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, n. 1, p. 77–136, 2010.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. Inoculant Preparation and Formulations for *Azospirillum* spp. In: CASSÁN, F. D.; OKON, Y.; CREUS, C. M **Handbook for Azospirillum: Technical Issues and Protocols**. Springer International Publishing, 2015. p. 469–486.

BAXTER, A.; MITTLER, R.; SUZUKI, N. ROS as key players in plant stress signalling. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 5, p. 1229–1240, 2014.

BENJAMIN, J. G.; NIELSEN, D. C. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. **Field Crops Research**, v. 97, n. 2–3, p. 248–253, 2006.

BIANCO, C.; DEFEZ, R. *Medicago truncatula* improves salt tolerance when nodulated by an indole-3-acetic acid-overproducing *Sinorhizobium meliloti* strain. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 11, p. 3097–3107, 2009.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. P. Identification of Gibberellins A1, A3, and Iso-A3 in Cultures of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiology**, v. 90, p. 45–47, 1989.

BULEGON, L. G.; BATTISTUS, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; INAGAKI, A. M.; OFFEMANN, L. C.; SOUZA, A. K. P.; OLIVEIRA, P. S. R. Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1283–1289, 2017.

BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; EGEWARTH, V. A.; SANTOS, M. G.; HELING, A. L.; FERREIRA, S. D.; WENGRAT, A. P. G. S.; BATTISTUS, A. G. Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Nativa**, v. 4, n. 5, p. 277–286, 2016.

BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; LAURETH, J. C. U. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 343–349, 2016.

CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V.; ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V.; JÚNIOR, C. L. D. S. Genetic parameters of drought tolerance related traits in tropical maize. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 595–603, 2007.

CAMPOS, M. K. F.; CARVALHO, K.; SOUZA, F. S.; MARUR, C. J.; PEREIRA, L. F. P.; FILHO, J. C. B.; VIEIRA, L. G. E. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 2, p. 242–250, 2011.

CAO, B.; MA, Q.; ZHAO, Q.; WANG, L.; XU, K. Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 194, p. 53–62, 2015.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, n. 1, p. 183–188, 1995.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D.; LIER, Q. J. van; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja - uma revisão. **Revista FZVA**, v. 14, n. 2, p. 102–120, 2007.

CASSÁN, F. D.; OKON, Y.; CREUS, C. M. **Handbook for azospirillum: technical issues and protocols**. Springer International Publishing, 2015. 514 p.

CASSÁN, F.; PERRIG, D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; LUNA, V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Soil Biology**, v. 45, n. 1, p. 28–35, 2009.

CATUCHI, T. A.; VIEIRA, F.; GUIDORIZZI, C.; GUIDORIZI, K. A. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 519–527, 2012.

CATUCHI, T. A.; VÍTOLO, H. F.; BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars : transgenic versus conventional. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 373–378, 2011.

CHANG, Z.; LIU, Y.; DONG, H.; TENG, K.; HAN, L.; ZHANG, X. Effects of cytokinin and nitrogen on drought tolerance of creeping bentgrass. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, p. 1–19, 2016.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387–1393, 2015.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in arabidopsis plants. **Plant Growth Regulation**, v. 54, n. 2, p. 97–103, 2008.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PONTIN, M.; BERLI, F. J.; MORENO, D.; BOCCANLANDRO, H.; TRAVAGLIA, C. N.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiologia Plantarum**, v. 153, n. 1, p. 79–90, 2015.

COHEN, A. C.; TRAVAGLIA, C. N.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. **Botany**, v. 87, n. 5, p. 455–462, 2009.

EGHBALL, B.; MARANVILLE, J. W. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 1, p. 147, 1993.

ESITKEN, A.; KARLIDAG, H.; ERCISLI, S.; TURAN, M.; SAHIN, F. The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hacıhaliloglu). **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 4, p. 377–380, 2003.

ESITKEN, A.; PIRLAK, L.; TURAN, M.; SAHIN, F. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. **Scientia Horticulturae**, v. 110, n. 4, p. 324–327, 2006.

ESTEVEZ, S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 662–679, 2008.

FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; BANO, A.; SAUD, S.; HASSAN, S.; SHAN, D.; KHAN, F. A.; KHAN, F.; CHEN, Y.; WU, C.; TABASSUM, M. A.; CHUN, M. X.; AFZAL, M.; JAN, A.; JAN, M. T.; HUANG, J. Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 7, p. 4907–4921, 2014.

FAN, X.; HU, H.; HUANG, G. Soil inoculation with Burkholderia sp . LD-11 has positive effect on water-use efficiency in inbred lines of maize. **Plant Soil**, v. 390, n. 1, p. 337–349, 2015.

FAROOQ, M.; GOGOI, N.; BARTHAKUR, S.; BAROOWA, B.; BHARADWAJ, N.; ALGHAMDI, S. S.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 2, p. 1–22, 2016.

FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; MARTÍNEZ, C. R.; CHANWAY, C. P. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. **Applied Soil Ecology**, v. 40, n. 1, p. 182–188, 2008.

FIOREZE, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACHADO, F. R.; GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 342–349, 2011.

FIOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D.; CARNEIRO, J. P. C.; SILVA, A. D. A.; LIMA, M. B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 11, p. 1432–1439, 2013.

GARCIA, N. F. S.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, M.; PENTEADO, M. S. Doses and application methods of *Azospirillum brasilense* in irrigated upland rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 990–995, 2016.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JR, E. F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 349–359, 2015.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909–930, 2010.

GLICK, B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological Research**, v. 169, n. 1, p. 30–39, 2014.

GOLUBEV, S. N.; MURATOVA, A. Y.; WITTENMAYER, L.; BONDARENKOVA, A. D.; HIRCHE, F.; MATORA, L. Y.; MERBACH, W.; TURKOVSKAYA, O. V. Rhizosphere indole-3-acetic acid as a mediator in the *Sorghum bicolor* phenanthrene *Sinorhizobium melloti* interactions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 6, p. 600–608, 2011.

GROVER, M.; MADHUBALA, R.; ALI, S. Z.; YADAV, S. K.; VENKATESWARLU, B. Influence of *Bacillus* spp . strains on seedling growth and physiological parameters of sorghum under moisture stress conditions. **Journal of Basic Microbiology**, v. 54, n. 9, p. 951–961, 2014.

GUIMARÃES, S. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLIZEL, A. C.; MOREIRA, J. C. F.; REZENDE, D. Crescimento inicial de plantas de arroz inoculadas com *Azospirillum* spp . **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 45–50, 2013.

GUTIÉRREZ-MAÑERO, F. J.; RAMOS-SOLANO, B.; PROBENZA, A.; MEHOUACHI, J.; TADEO, F. R.; TALON, M. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. **Physiologia Plantarum**, v. 111, n. 2, p. 206–211, 2001.

HALDA-ALIJA, L. Identification of indole-3-acetic acid producing freshwater wetland rhizosphere bacteria associated with *Juncus effusus* L. **Canadian journal of microbiology**, v. 49, n. 12, p. 781–787, 2003.

HEINEMANN, A. B.; ANDRADE, C. L. T.; GOMIDE, R. L.; AMORIM, A. O.; DA PAZ, R. L. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no estado de goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 33, n. 4, p. 1026–1033, 2009.

HENDGES, F. B.; RAMBO, C. R.; ALCASSA, L. P.; LIEBL, J.; VENDRUSCOLO, E. C. G.; COSTA, A. C. T. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 2, p. 52–63, 2015.

HOMAYOUN, H.; DALIRI, S.; MEHRABI, P. Effect of drought stress on leaf chlorophyll in corn cultivars (*Zea mays*). **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 9, n. 3, p. 418–420, 2011.

HUANG, X.; ZHOU, G.; YANG, W.; WANG, A.; HU, Z.; LIN, C.; CHEN, X. Drought-inhibited ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity is mediated through increased release of ethylene and changes in the ratio of polyamines in pakchoi. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 15, p. 1392–1400, 2014.

IQBAL, N.; NAZAR, R.; SYEED, S.; MASOOD, A.; KHAN, N. A. Exogenously-sourced ethylene increases stomatal conductance, photosynthesis, and growth under optimal and deficient nitrogen fertilization in mustard. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 14, p. 4955–4963, 2011.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, n. 1, p. 7–11, 2007.

JOO, G. J.; KANG, S. M.; HAMAYUN, M.; KIM, S. K.; NA, C. I.; SHIN, D. H.; LEE, I. J. *Burkholderia* sp. KCTC 11096BP as a newly isolated gibberellin producing bacterium. **Journal of Microbiology**, v. 47, n. 2, p. 167–171, 2009.

KANG, S. M.; HAMAYUN, M.; JOO, G. J.; KHAN, A. L.; KIM, Y. H.; KIM, S. K.; JEONG, H. J.; LEE, I. J. Effect of *Burkholderia* sp. KCTC 11096BP on some physiochemical attributes of cucumber. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, n. 3, p. 264–268, 2010.

KANG, S. M.; RADHAKRISHNAN, R.; KHAN, A. L.; KIM, M. J.; PARK, J. M.; KIM, B. R.; SHIN, D. H.; LEE, I. J. Gibberellin secreting rhizobacterium, *Pseudomonas putida* H-2-3 modulates the hormonal and stress physiology of soybean to improve the plant growth under saline and drought conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 84, p. 115–124, 2014.

KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. N. Aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* E doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p. 366–373, 2017.

KINOSHITA, N.; WANG, H.; KASAHARA, H.; LIU, J.; MACPHERSON, C.; MACHIDA, Y.; KAMIYA, Y.; HANNAH, M. A.; CHUA, N.-H. IAA-Ala resistente, an evolutionarily conserved target of mir167, mediates arabidopsis root architecture changes during high osmotic stress. **The Plant Cell**, v. 24, n. 9, p. 3590–3602, 2012.

KRAMER, P. J. Drought stress, and the origins of adaptations. In: TUNER, N. C.; KRAMER, P. J. (Ed.). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: Wiley publ, 1980. p. 7–22.

KUMAR, M.; MISHRA, S.; DIXIT, V.; KUMAR, M.; AGARWAL, L.; CHAUHAN, P. S.; NAUTIYAL, C. S. Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Signaling & Behavior**, v. 11, n. 1, p. e1071004, 2016.

KUMAR, M. S. S.; ALI, K.; DAHUJA, A.; TYAGI, A. Plant physiology and biochemistry role of phytosterols in drought stress tolerance in rice. **Plant Physiology et Biochemistry**, v. 96, p. 83–89, 2015.

KUMARI, S.; KUMAR, S.; PRAKASH, P. Exogenous application of cytokinin (6-BAP) ameliorates the adverse effect of combined drought and high temperature stress in wheat seedling. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 1, p. 1176–1180, 2018.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1511–1520, 2007.

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1459–1465, 2007.

LARCHER, W. **Physiological planta ecology**. 4. ed. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

LAUTERI, M.; HAWORTH, M.; SERRAJ, R.; MONTEVERDI, M. C.; CENTRITTO, M. Photosynthetic diffusional constraints affect yield in drought stressed rice cultivars during flowering. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, p. e109054, 2014.

LI, J.; CANG, Z.; JIAO, F.; BAI, X.; ZHANG, D.; ZHAI, R. Influence of drought stress on photosynthetic characteristics and protective enzymes of potato at seedling stage. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, p. 1–7, 2015.

LI, Q.; SALEH-LAKHA, S.; GLICK, B. R. The effect of native and ACC deaminase-containing *Azospirillum brasilense* Cd1843 on the rooting of carnation cuttings. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 51, n. 6, p. 511–514, 2005.

LI, Y.; ZHAO, H.; DUAN, B.; KORPELAINEN, H.; LI, C. Effect of drought and ABA on growth, photosynthesis and antioxidant system of *Cotinus coggygia* seedlings under two different light conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, n. 1, p. 107–113, 2011.

LI, Z.; LU, G. Y.; ZHANG, X. K.; ZOU, C. S.; CHENG, Y.; ZHENG, P. Y. Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA₃) in rapeseed (*Brassica napus* L.). **Seed Science & Technology**, v. 38, n. 1, p. 432–440, 2010.

- LI, Z.; ZHANG, X.; ZHAO, Y.; LI, Y.; ZHANG, G.; PENG, Z.; ZHANG, J. Enhancing auxin accumulation in maize root tips improves root growth and dwarfs plant height. **Plant Biotechnology Journal**, v. 16, n. 1, p. 86–99, 2018.
- LIU, X.; CHAN, Z. Application of potassium polyacrylate increases soil water status and improves growth of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) under drought stress condition. **Scientia Horticulturae**, v. 197, n. 14, p. 705–711, 2015.
- LÓPEZ-BUCIO, J.; CAMPOS-CUEVAS, J. C.; HERNÁNDEZ-CALDERÓN, E.; VELÁSQUEZ-BECERRA, C.; FARIÁS-RODRÍGUEZ, R.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L. I.; VALENCIA-CANTERO, E. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 20, n. 2, p. 207–217, 2007.
- MAGHSOUDI, K.; EMAM, Y.; ASHRAF, M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. **Turkish Journal of Botany**, v. 39, n. 4, p. 625–634, 2015.
- MARULANDA, A.; BAREA, J. M.; AZCÓN, R. An indigenous drought-tolerant strain of *Glomus intraradices* associated with a native bacterium improves water transport and root development in *Retama sphaerocarpa*. **Microbial Ecology**, v. 52, n. 4, p. 670–678, 2006.
- MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Effect of water deficit on the growth of *Brachiaria* species in greenhouse. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 746–754, 2005.
- MAYAK, S.; TIROSH, T.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. **Plant Science**, v. 166, n. 2, p. 525–530, 2004.
- NADERI, A.; NASERI, R.; FATHI, A.; BAHAMIN, S.; MALEKI, R. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, n. 6, p. 38–44, 2013.
- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853–860, 2011.
- NAWAZ, F.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y.; WARAICH, E. A.; KHAN, S. Z. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 113, p. 191–200, 2015.
- OLIVARES, F. L.; BUSATO, J. G.; PAULA, A. M.; DA SILVA LIMA, L.; AGUIAR, N. O.; CANELLAS, L. P. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1–13, 2017.
- PATTEN, C. L.; GLICK, B. R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. **Applied and environmental microbiology**, v. 68, n. 8, p. 3795–3801, 2002.
- PEREIRA, L. C.; PIANA, S. C.; BRACCINI, A. L.; GRACIA, M. M.; GARCIA, M. M.; FERRI, C. C.; FELBER, P. H.; MARTELI, D. C. V.; BIANCHETTI, P. A.; DAMETTO, I. B. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 105–113, 2017.

PERRIG, D.; BOIERO, M. L.; MASCIARELLI, O. A.; PENNA, C.; RUIZ, O. A.; CASSÁN, F. D.; LUNA, M. V. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 75, n. 5, p. 1143–50, 2007.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropedica: Edur, 2004.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015.

RADWAN, T. E. E.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum e Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 987–994, 2004.

RADWAN, T. E. S. E. I. D.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Aeração e adição de sais na produção de ácido indol acético por bactérias diazotróficas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 997–1004, 2005.

RAMPIM, L.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; NACKE, H.; KLEIN, J.; GUIMARÃES, V. F. Qualidade fisiológica de sementes de três cultivares de trigo submetidas à inoculação e diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 678–685, 2012.

REETHA, S.; BHUVANESWARI, G.; THAMIZHINIYAN, P.; MYCIN, T. R. Isolation of indole acetic acid (IAA) producing rhizobacteria of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* and enhance growth of onion (*Allium cepa* L.). **International journal of current microbiology and applied sciences**, v. 3, n. 2, p. 568–574, 2014.

REGUERA, M.; PELEG, Z.; ABDEL-TAWAB, Y. M.; TUMIMBANG, E. B.; DELATORRE, C. A.; BLUMWALD, E. Stress-induced cytokinin synthesis increases drought tolerance through the coordinated regulation of carbon and nitrogen assimilation in rice. **Plant Physiology**, v. 163, n. 4, p. 1609–1622, 2013.

RODRIGEZ-SALAZAR, J.; SUÁREZ, R.; CABELLERO-MELLADO, J.; ITURRIAGA, G. Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. **Microbiological Letters**, v. 296, n. 1, p. 52–59, 2009.

SANDHYA, V.; ALI, S. Z.; GROVER, M.; REDDY, G.; VENKATESWARLU, B. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 1, p. 21–30, 2010.

SANTOS; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 836–842, 2012.

SCHIEBER, M.; CHANDEL, N. S. ROS function in redox signaling and oxidative stress. **Current Biology**, v. 24, n. 10, p. 453–462, 2014.

SHARP, R. E.; LENOBLE, M. E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 33–37, 2001.

SILVA, M. M. P.; VASQUEZ, H. M.; BRESSAN-SMITH, R. E.; SILVA, J. F. C.; ERBESDOBLER, E. D.; ANDRADE JR, P. S. C. Respostas morfológicas de gramíneas forrageiras tropicais sob diferentes condições hídricas do solo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1493–1504, 2005.

SINCLAIR, T.; LUDLOW, M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, n. 3, p. 329, 1986.

SLAMA, I.; M'RABET, R.; KSOURI, R.; TALBI, O.; DEBEZ, A.; ABDELLY, C. Water deficit stress applied only or combined with salinity affects physiological parameters and antioxidant capacity in *Sesuvium portulacastrum*. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 213, n. 1, p. 69–76, 2015.

SOUZA, F. H. D.; MATTA, F. P.; FÁVERO, A. P. **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005.

SUDHAKAR, P.; CHATTOPADHYAY, G. N.; GANGWAR, S. K.; GHOSH, J. K. Effect of foliar application of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Beijerinckia* on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). **The Journal of Agricultural Science**, v. 134, n. 02, p. 227–234, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artemed, 2013.

TANAKA, Y.; SANO, T.; TAMAOKI, M.; NAKAJIMA, N.; KONDO, N. Ethylene Inhibits Abscisic Acid-Induced Stomatal Closure in Arabidopsis. **Plant physiology**, v. 138, n. 8, p. 2337–2343, 2005.

VALLURU, R.; DAVIES, W. J.; REYNOLDS, M. P.; DODD, I. C. Foliar abscisic acid-to-ethylene accumulation and response regulate shoot growth sensitivity to mild drought in wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 4, p. 1–13, 2016.

VARDHARAJULA, S.; ALI, S. Z.; GROVER, M.; REDDY, G.; BANDI, V. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. **Journal of Plant**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2011.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003.

VIEIRA, F. C. F.; SANTOS JUNIOR, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O.; DIAS, A. C. C.; HAMAWAKI, O. T.; BONETTI, A. M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por peg 6000. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 543–552, 2013.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p. 13–24, 2016.

WANG, Y.; MA, F.; LI, M.; LIANG, D.; ZOU, J. Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 64, n. 1, p. 63–74, 2011.

XU, J.; LI, X. L.; LUO, L. Effects of engineered *Sinorhizobium meliloti* on cytokinin synthesis and tolerance of alfalfa to extreme drought stress. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 22, p. 8056–8061, 2012.

YU, G. R.; WANG, Q. F.; ZHUANG, J. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. **Journal of plant physiology**, v. 161, n. 3, p. 303–318, 2004.

ZAHIR, Z.; MUNIR, A.; ASGHAR, H.; SHAHAROONA, B.; ARCHED, M. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. **Journal of Microbiology and Technology**, v. 18, n. 5, p. 958–963, 2008.

ZAKIKHANI, H.; ARDAKANI, M. R.; REJALI, F.; GHOLAMHOSEINI, M.; JOGHAN, A. K.; DOLATABADIAN, A. Influence of diazotrophic bacteria on antioxidant enzymes and some biochemical characteristics of soybean subjected to water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 11, p. 1828–1835, 2012.

ZHOU, Y.; LAMBRIDES, C. J.; FUKAI, S. Drought resistance of bermudagrass (*Cynodon* spp.) ecotypes collected from different climatic zones. **Environmental and Experimental Botany**, v. 85, n. 1, p. 22–29, 2013.

ZUFFO, A. M.; BRUZI, A. T.; REZENDE, P. M.; CARVALHO, MOREIRA, M. L.; ZAMBIAZZI, E. V.; SOARES, I. O.; SILVA, K. B. Foliar application of *Azospirillum brasilense* in soybean and seed physiological quality. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 20, p. 675–680, 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aeração do solo 74

Agricultura familiar 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 140, 145, 146, 147, 148, 149

Água disponível 65, 74, 76, 78, 79

Anfigranja 14, 18, 19

Armazenamento 20, 21, 75, 90

Arranjo espacial de plantas 35, 36

Aspectos físicos-químicos 81

B

Bioacessível 1, 8, 9, 10

Bioestimulante 151, 152

Boa aeração 180, 183

Brotação 95, 97

C

Calos 95

Classificação de solo 74

Cobertura verde 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170

Co-cristalização 172, 173, 174, 176, 177

Compactação 100, 101, 102, 103

D

Densidade de plantas 35, 37, 45

F

Fertilizantes de liberação controlada 105, 107

Fruticultura 105, 116, 179, 212

G

Glycine max (L.) Merrill 35, 36

H

Higroscopicidade 172, 173, 174, 176, 178

Hormônios vegetais 47, 48, 53, 54, 55, 58, 60, 62, 63, 154

L

Leguminosa 150, 157, 158, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 168, 169

Lipídeos 9, 21, 58, 63

M

Microbiolização 151

Minga 130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Mitigação da deficiência hídrica 47, 48, 56, 63

N

Nutrientes 1, 4, 5, 6, 7, 8, 50, 51, 52, 53, 56, 106, 107, 108, 109, 110, 152, 154, 157, 158, 159, 160, 165, 183, 184, 187, 188, 189, 190, 196

O

Óleo essencial 21, 33

P

Pluriactividad 130, 131, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 143, 145, 146, 148, 149

Preparos culinários 1

Produção de mudas 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 212

Produtividade 14, 15, 16, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 52, 63, 65, 105, 112, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 125, 126, 127, 128, 155, 179, 180, 187, 188, 191, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

Promoção de crescimento vegetal 47, 62

Propagação 95, 96, 99, 184, 212

Puccinia triticina E. 117, 118

Pyrenophora tritici-repentis 117, 118

R

Ramos 34, 68, 74, 76, 95, 96, 115, 178, 181, 183, 184, 186

Ranicultura 14, 17, 18, 19

Resíduos orgânicos 180, 181, 189, 195

Riscos 1, 3, 4, 5, 107, 158

S

Saccharum officinarum 100, 101

Sardinha 1, 6, 8, 9, 10

Sobrevivência 14, 37, 51, 107, 111, 112, 173, 179

Solubilidade 4, 165, 173, 174, 176

Substratos 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 212

T

Triple bottom line 81, 89, 91

Triticum aestivum L. 117, 118, 127

V

Velocidade operacional 100, 103

Vigna unguiculata 150, 151

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA CIENTÍFICA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AGRONOMIA

2