

Genética e Melhoramento de Plantas e Animais

Magnólia de Araújo Campos
Rafael Trindade Maia
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2019



Genética e Melhoramento de Plantas e Animais

Magnólia de Araújo Campos
Rafael Trindade Maia
(Organizadores)

 **Atena**
Editora

Ano 2019



2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
G328	Genética e melhoramento de plantas e animais [recurso eletrônico] / Organizadores Magnólia de Araújo Campos, Rafael Trindade Maia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-719-2 DOI 10.22533/at.ed.192191710 1. Animais – Melhoramento genético. 2. Genética. 3. Plantas – Melhoramento genético. I. Campos, Magnólia de Araújo. II. Maia, Rafael Trindade. CDD 575
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A área de melhoramento genético é um sub-ramo da genética que visa identificar, aperfeiçoar, selecionar, preservar e utilizar características de interesse produtivo e comercial em plantas e animais. Selecionar genótipos e fenótipos de interesse nos variados organismos vem sendo feito desde o início da agricultura e da pecuária, nos primórdios da civilização, através de seleção artificial.

Atualmente, a área de melhoramento genético conta com inúmeras ferramentas para a seleção de características desejáveis; como marcadores morfológicos e moleculares, criopreservação, transgenia, cruzamentos e construção de germoplasmas.

A obra "**Genética e melhoramento de plantas e animais**" é composta de uma criteriosa seleção de trabalhos científicos e de revisões de literatura organizados em 10 capítulos distintos, elaborados por pesquisadores de diversas instituições que apresentam temas diversificados e relevantes. Este *e-Book* foi cuidadosamente editado para acadêmicos e estudantes de todos os níveis (graduação e pós-graduação) que apresentem interesse nesta área, no qual encontrarão informação e resultados de pesquisas de ponta.

É inegável a crescente demanda de estudos e pesquisas direcionadas ao melhoramento das espécies, especialmente em um país tido como uma das maiores potências agrícolas e pecuárias do mundo. O futuro do melhoramento genético é fascinante e extremamente promissor no Brasil e no mundo, e certamente será uma das forças motrizes da produção animal e vegetal e do desenvolvimento científico, tecnológico e humano.

Magnólia de Araújo Campos
Rafael Trindade Maia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AValiação DO ÍNDICE MEIÓTICO, VIABILIDADE E CARACTERIZAÇÃO POLÍNICA DE <i>Theobroma grandiflorum</i> (WILLD. EX SPRENG.) K. SCHUM	
Uéliton Alves de Oliveira Alex Souza Rodrigues Elisa dos Santos Cardoso Kelli Évelin Müller Zortéa Edimilson Leonardo Ferreira Talles de Oliveira Santos Ana Aparecida Bandini Rossi	
DOI 10.22533/at.ed.1921917101	
CAPÍTULO 2	12
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, CITOGENÉTICA E MOLECULAR DE TRIGO COMO SUBSÍDIO AO MELHORAMENTO GENÉTICO, REGISTRO E PROTEÇÃO DE CULTIVARES	
Gabrieli Scariot Sandra Patussi Brammer Pedro Luiz Scheeren Ricardo Lima de Castro Simone Meredith Scheffer-Basso	
DOI 10.22533/at.ed.1921917102	
CAPÍTULO 3	23
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA EM ESPIGAS DE POPULAÇÕES DE MILHO CRIOULO CULTIVADAS NA REGIÃO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Ariel Rizzardo Bianca Oliveira Machado Cristina Slaviero Marcos Gatti Slaviero Karina da Silva Noryam Bervian Bispo	
DOI 10.22533/at.ed.1921917103	
CAPÍTULO 4	30
VARIABILIDADE DOS GENÓTIPOS DE MILHO DA ZONA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO	
Lucas Carneiro Maciel Weder Ferreira dos Santos Rafael Marcelino da Silva Layanni Ferreira Sodr�e Laura Carneiro Silva Zildiney Dantas da Silva Jefferson da Silva Pereira Fernando Assis de Assunção Benício Lourenço Duarte Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.1921917104	

CAPÍTULO 5 39

DESEMPENHO AGRONÔMICO E DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM MILHO NO ECÓTONO CERRADO-AMAZÔNIA

Rafael Marcelino da Silva
Weder Ferreira dos Santos
Layanni Ferreira Sodré
Adriano Silveira Barbosa
Laina Pires Rosa
Lucas Carneiro Maciel
Igor Moraes dos Reis
Eduardo Tranqueira da Silva
Matheus Rodrigues de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.1921917105

CAPÍTULO 6 50

SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE MILHO SUMETIDOS A DEFICIT HÍDRICO NO ESTÁGIO V4

Luiz Augusto Salles das Neves
Kelen Haygert Lencina
Raquel Stefanello

DOI 10.22533/at.ed.1921917106

CAPÍTULO 7 59

BENEFÍCIOS DO SILÍCIO COMO ATENUADOR DE ESTRESSES NAS PLANTAS

Cândido Ferreira de Oliveira Neto
Glauco André dos Santos Nogueira
Luma Castro de Souza
Luciana Ingrid Souza de Sousa
Andressa Pinheiro de Paiva

DOI 10.22533/at.ed.1921917107

CAPÍTULO 8 71

MINIRREVISÃO: CRIOPRESERVAÇÃO DE GAMETAS

Renan Rhonalty Rocha
Maria Vitória Laurindo
Antonio Erivelton Passos Fontenele
Camilla Rodrigues Pinho
Sílvia Helena Tomás
Bárbara Mônica Lopes e Silva
Antônio José Rocha

DOI 10.22533/at.ed.1921917108

CAPÍTULO 9 78

BIOTECNOLOGIA COMO FERRAMENTA PARA O CONHECIMENTO E CONSERVAÇÃO DA FAUNA E FLORA AMAZÔNICA

Marcelo Derzi Vidal
Elba Pereira Chaves
Vilena Aparecida Ribeiro Silva

DOI 10.22533/at.ed.1921917109

CAPÍTULO 10	88
--------------------------	-----------

DIVERSIDADE GENÉTICA DE SEIS RAÇAS CAPRINAS BRASILEIRAS

Bruna Lima Barbosa
Vanessa dos Santos Neri
Abigail Araújo de Carvalho
Débora Araújo de Carvalho
Eliene Pereira de Oliveira
Artur Oliveira Rocha
José Lindenberg Rocha Sarmiento
Fábio Barros Britto
Max Brandão de Oliveira
Soraya Sara Viana Castro
Maria Ivamara Soares Macedo

DOI 10.22533/at.ed.19219171010

SOBRE OS ORGANIZADORES	97
-------------------------------------	-----------

ÍNDICE REMISSIVO	98
-------------------------------	-----------

BENEFÍCIOS DO SILÍCIO COMO ATENUADOR DE ESTRESSES NAS PLANTAS

Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém
– Pará

Glauco André dos Santos Nogueira

Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém
– Pará

Luma Castro de Souza

Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão
Poço– Pará

Luciana Ingrid Souza de Sousa

Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém
– Pará

Andressa Pinheiro de Paiva

Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém
– Pará

RESUMO: O silício (Si) é classificado como elemento benéfico para as plantas, sendo considerado essencial por muitos pesquisadores sob condições de estresse biótico e abiótico, embora essa essencialidade ainda não tenha sido comprovada cientificamente. Uma vez absorvido pelas plantas, o Si proporciona muitos benefícios, tais como barreira física na proteção contra doenças, resistência mecânica a ataques por insetos, imobilização de íons e detoxificação dos metais no interior dos tecidos, aumento da capacidade fotossintética e produtividade das culturas. Estresses como deficiência hídrica, salinidade, metais pesados,

causados por insetos pragas que, geralmente, ocorrem sob diferentes condições climáticas durante o desenvolvimento das plantas, os mecanismos que o Si desenvolve ainda são pouco compreendidos, sendo variável para cada espécie. Contudo, se fazem necessárias pesquisas para as determinações de doses e fontes de Si que serão adequadas para a sua absorção efetiva pelas plantas e como resposta a obtenção dos seus efeitos benéficos sobre as mesmas.

PALAVRAS-CHAVE: Silício, estresse, atenuante.

BENEFITS OF SILICON AS A STRESS ATTENUATOR IN PLANTS

ABSTRACT: The silicon (Si) is classified as a benefic element to the plants, considered essential by many researchers under conditions of biotic and abiotic stress. However, this essentiality has not yet been scientifically proven. Si once absorbed by the plants provides many benefits, being this as a physical barrier in protection against diseases, mechanical resistance to insect attacks, immobilization of ions and detoxification of the metals inside the tissues, increased photosynthetic capacity and crop productivity. Stresses such as water deficiency, salinity, heavy metals, caused by insect pests that usually occur under different

climatic conditions during the development of plants, the mechanisms that the Si develops are still poorly understood, being variable for each species. However, research is needed for dose determinations and sources of Si that will be suitable for their effective uptake by plants and in response to obtaining their beneficial effects on them.

KEYWORDS: Silicon, stress, attenuation.

1 | INTRODUÇÃO

A produção agrícola mundial frequentemente é afetada por fatores bióticos e abióticos, que comumente verificam-se perdas na produção de biomassa, assim como no rendimento, crescimento e desenvolvimento dos vegetais (LI ET AL., 2018).

Alguns elementos químicos participam na resistência a estresses causados por esses fatores, o silício é um exemplo. Na agricultura é tratado como um elemento “quase essencial” devido aos resultados promissores no desenvolvimento de resistência a diferentes tipos de estresses, principalmente em monocotiledôneas (Liang et al., 2015). Os principais estresses que são amenizados pelo silício são: à deficiência hídrica, salinidade, toxidez por metais, desequilíbrio nutricional, patógenos nas plantas e pragas de insetos (REYNOLDS et al., 2016).

O silício é considerado o segundo elemento em maior quantidade no solo (CHEN et al., 2018). Sua presença nos solos é distinta em três fases: a fase sólida, a fase adsorvida e a fase líquida. Na fase sólida, está presente como minerais de sílica, silicatos primários e secundários. Por causa dos processos pedogênicos, quanto maior forem às frações de areia e silte, predomina-se o silicato primário, e quanto maior for fração argilosa, predominarão os silicatos secundários (IMTIAZ et al., 2016). Enquanto que na fase adsorvida, o silício está unido aos sítios de troca de ligantes em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, o que varia a concentração de Si na solução do solo. Na fase líquida, encontra-se solúvel no solo principalmente na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (DEBONA et al. 2017).

Nos vegetais, aproximadamente 99% do silício está presente na forma sílica e menos de 1% na forma de colóide ou iônica. Além disso, todas as plantas na Terra apresentam silício na composição dos seus tecidos, porém, o teor deste elemento varia expressivamente entre as espécies, com uma variação de 0,1 a 10% de silício com base no peso seco (SAHEBI et al., 2015).

A absorção de silício pelas plantas da solução do solo ocorre na forma de ácido monossilícico, molécula não carregada também denominada de ácido ortossilícico (H_4SiO_4). Essa absorção ocorre por meio de dois mecanismos classificados como ativo e passivo. A absorção passiva de Si ocorre juntamente com o fluxo de transpiração, ou seja, com a corrente de água e nutrientes puxadas durante a transpiração. Enquanto que a absorção ativa ocorre por meio de transportadores de efluxo e influxo, localizados na membrana plasmáticas das células da raiz (RIZWAN et al., 2015).

Estima-se que em várias espécies vegetais, mais de 90% do silício absorvido pelas raízes é transportado para as epidermes das folhas e por fim, é depositado como sílica amorfa, principalmente nos órgãos envolvidos na transpiração, onde não é remobilizada (COOKE; LEISHMAN, 2016)

O acúmulo de silício nas paredes das células pode provocar efeitos benéficos (CUNHA et al., 2008). Esse acúmulo ocorre devido à existência de um eficiente sistema de captação através de transportadores de canal e de efluxo, que exercem funções relacionadas ao transporte efetivo deste elemento do solo para as raízes e para a planta como um todo (MA & YAMAJI, 2015).

De forma geral, os transportadores de canal e de efluxo parecem apresentar características essenciais que possibilitam as plantas obterem vantagens na absorção de silício (PONTIGO et al., 2017). O diferencial de absorção pode ser atribuído às variadas taxas de expressão gênica e a localização das aquaporinas que facilitam a absorção de silício (MA; YAMAJI, 2015). Alguns fatores como o intemperismo, a lixiviação, a acidez do solo e a baixa saturação de bases estão envolvidos na limitação de absorção do silício solúvel no solo. Usualmente, as plantas absorvem mais esse elemento em solos menos intemperizados, ou solo geologicamente mais novo em relação a solos ácidos, desgastados. (IMTIAZ et al., 2016).

Estudo realizado por Ramouthar (2009) mostra a distribuição da área coberta com Si na epiderme inferior, na epiderme superior e no mesófilo das folhas de cana-de-açúcar cultivada com doses de até 2.000 mg L⁻¹ de Si (Figura 1). Esses dados evidenciam o promissor sistema de captação de silício em alguns vegetais.

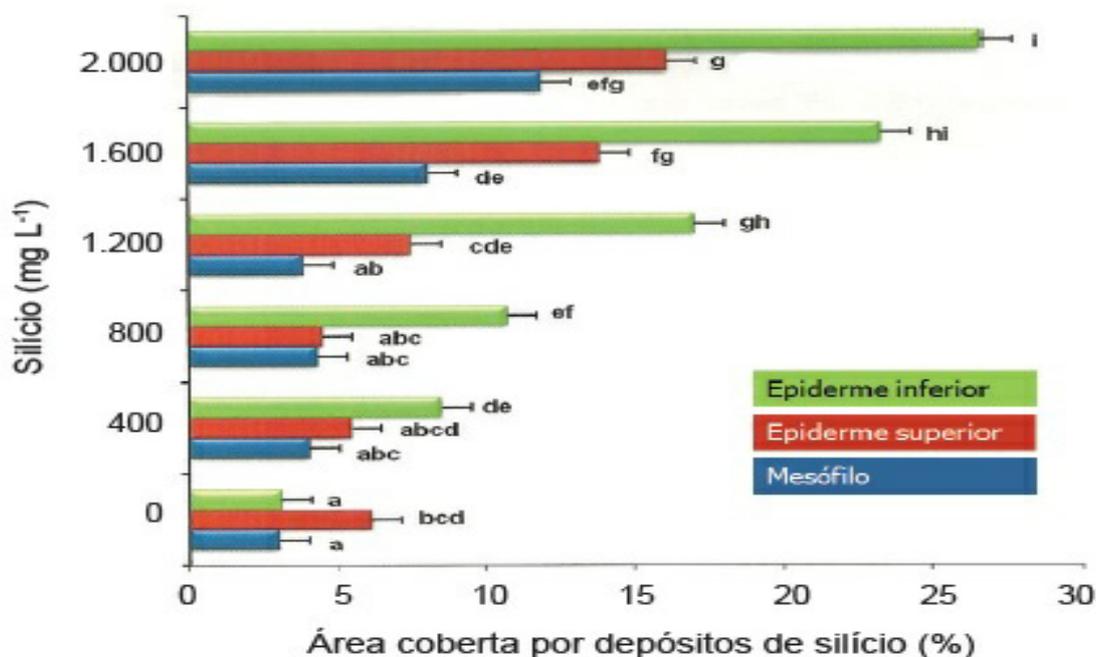


Figura 1. Área coberta por depósitos de silício na epiderme inferior, na epiderme superior e no mesófilo da folha de cana-de-açúcar.

Fonte: Ramouthar (2009).

Em virtude de conhecer como esse elemento beneficia os vegetais em condições de estresse, diversas pesquisas vêm sendo realizadas para entender como os mecanismos biológicos se comportam evidenciando características como: potencial máximo de produtividade de grãos na soja, no feijão e no amendoim (CRUSCIOL et al., 2013); diminuição da antracnose pela aplicação do silício na cultura do sorgo (SANTOS et al., 2014); diminuição dos efeitos prejudiciais da salinidade em mamona (FERRAZ et al., 2015), decréscimo na concentração salina em *Aloe* (XU et al., 2015). Além disso, o silício pode regular a resistência das plantas ou mesmo a tolerância à toxidez causada por metal pesado através de mecanismos externos ou internos (TRIPATHI et al., 2016).

2 | METAIS PESADOS E SILÍCIO

O silício desempenha um papel importante na toxicidade relacionada aos metais pesados, dentre eles o cromo, o alumínio, o cádmio, o zinco, o níquel, o chumbo, e (PONTIGO et al., 2015). Recentemente, a poluição ambiental com o cromo (Cr) através da industrialização e das atividades humanas tornou-se um problema sério. A emissão global de Cr excede a de outros metais pesados como Cd, Hg e Pb (Kabata-Pendias e Mukherjee, 2007). O cromo induz efeitos nocivos ao crescimento das plantas e reduz a germinação de sementes, induz danos oxidativos que afetam a absorção de nutrientes, os processos de fotossíntese, o balanço hídrico e o metabolismo de nitrogênio (SINGH et al., 2013). O crescimento das plantas, assim como o rendimento de grãos e a produção de biomassa são prejudicados pela toxicidade do cromo nas plantas (GILL et al., 2015).

Sendo assim, diversas pesquisas demonstram que o silício atenuou a toxidez do cromo. De acordo com Ali et al. (2013) o silício diminui de forma significativa a concentração de cromo nas folhas, no caule e nas raízes da cevada submetida ao estresse de cromo. Ashfaque et al. (2017) concluíram em sua pesquisa com Si no alívio do estresse por Cr em *Brassica juncea* L., verificou que a aplicação de Si melhora a toxicidade induzida pela Cr, redução da absorção e acumulação de Cr e melhora a atividade fotossintética nas plantas.

O estresse por alumínio também pode ser atenuado quando submetido a tratamentos com silício. De acordo com Emamverdian et al. (2015), o silício atua na planta, complexando-se com os íons de alumínio, fazendo com que este se torne indisponível para absorção ou para induzir modificações na bioquímica e na fisiologia das plantas. Vários estudos concluem que a interação entre esses dois elementos químicos (silício e alumínio) ocorre preferencialmente no interior da planta (GIONGO & BOHNEN, 2011). Exemplos são encontrados no milho (EMAMVERDIAN et al., 2015), na batata (LIMA et al., 2016). Pontigo et al. (2017) estudando o efeito do silício na toxicidade do alumínio em azevém encontraram os primeiros indícios bioquímicos e

moleculares de que o silício neutraliza os efeitos prejudiciais causados pelo alumínio.

O cádmio (Cd) é considerado um dos elementos mais tóxicos, mesmo em concentrações muito baixas, e pode ser liberado no meio ambiente por fontes geogênicas e antropogênicas. É altamente tóxico para as plantas durante sua vida útil, podendo induzir problemas no seu crescimento e desenvolvimento (IMTIAZ et al., 2016). As plantas podem facilmente assimilar o Cd e acumulá-lo na sua parte aérea e radicular, danificando-as, reduzindo a fotossíntese, diminuindo a concentração de elementos essenciais e inibindo o crescimento (GAO et al., 2018).

Para Bokor et al., (2014) o zinco (Zn) é um micronutriente vegetal que se torna fitotóxico em concentrações supra-ótimas, causando danos à membrana, clorose foliar e escurecimento radicular e baixa produção de massa fresca de folhas, caules e raízes.

O Ni é um dos metais pesados que são descarregados das indústrias e fábricas de Ni, incineração de esgoto, atividades de mineração, queima de combustíveis fósseis, adubação e fertilizantes (RIZWAN et al. 2018). Ashraf et al. (2013) realizaram um experimento em vaso irrigado com águas residuais contendo excesso de Ni mediada por Si, em planta de tomateiro. Verificaram que a suplementação de Si amenizou a toxicidade induzida pelo Ni e reteve mais Ni nas raízes, reduzindo sua translocação para as partes aéreas. Estudo realizado por Khaliq et al. (2015) em plantas de algodão relatou que a aplicação de Si aumentou o crescimento de algodão, biomassa e pigmentos fotossintéticos sob estresse de Ni, reduzindo o estresse oxidativo e intensificou as atividades de enzimas antioxidantes em raízes e folhas, constatando que o Si pode aliviar a toxicidade do Ni no algodão.

3 | SALINIDADE E SILÍCIO

Além dos efeitos benéficos do silício contra estresse por metais pesados, este elemento também atenua o estresse causado pela deficiência hídrica e pela salinidade. De acordo com Zhu e Gong (2014) tanto o estresse causado por acúmulo de sais como por falta de água restringe tanto o crescimento quanto a produtividade das culturas, devido estes estresses impedirem o equilíbrio iônico e osmótico nas células. Segundo o mesmo autor, trabalhando o efeito do silício em relação ao sal, aesse elemento favorece a formação de uma barreira física no sistema radicular dos vegetais promovendo resistência a salinidade, assim como melhorando o teor de água nas plantas. Yin et al. (2013) verificaram que a adição de silício em um período curto de tempo reduziu os níveis de sódio em sorgo, porém não elevou os níveis de potássio, mais elevou os de sacarose e frutose.

Trabalhando com planta de girassol aplicando silício sob estresse salino, Conceição, (2015) verificou que o Si, induziu aumentos consideráveis no conteúdo relativo de água (CRA), assim como possibilitou a diminuição de vazamentos de

eletrólitos (VE) das plantas induzidas por estresse salino. Segundo a autora, o Si mitigou os efeitos deletérios da salinidade, evitando a perda de água e vazamento de componentes citoplasmáticos.

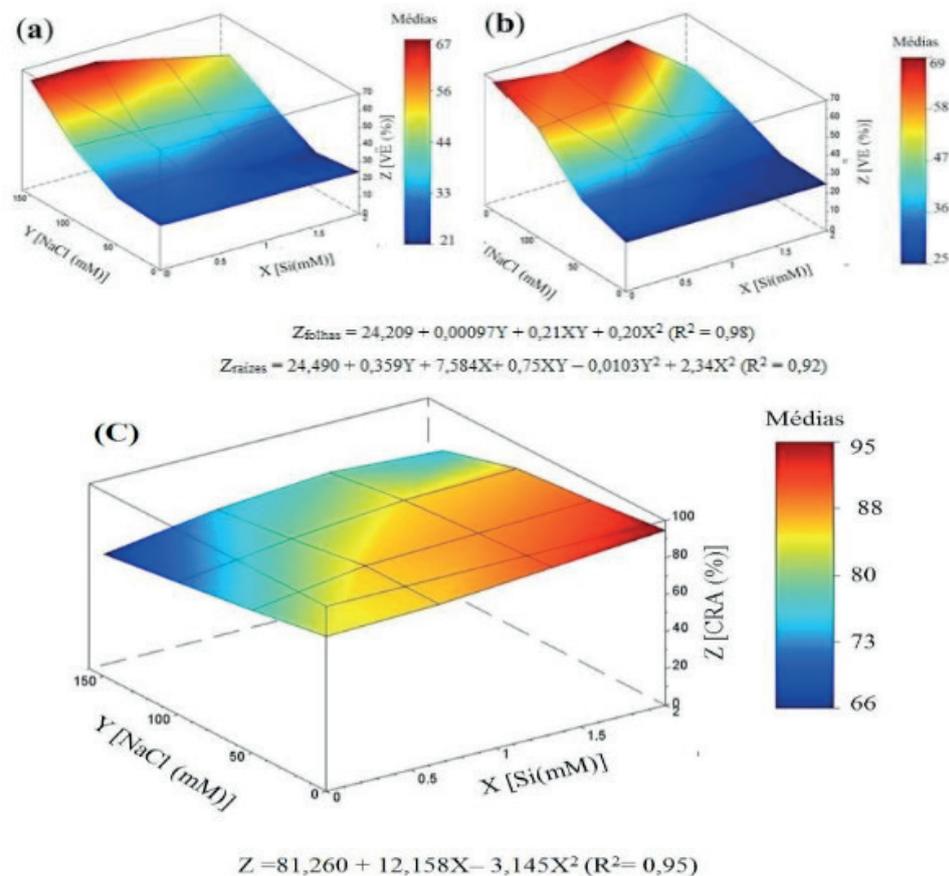


Figura 2: Vazamento de eletrólitos (VE) em folhas (a) e raízes (b) e conteúdo relativo de água (c) de plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivadas em solução nutritiva, em função de concentrações crescentes de silício (Si) e de NaCl. Fonte: Conceição, 2015.

Pesquisa realizada por Souza et al. (2016) verificou a atenuação do silício no metabolismo do nitrogênio em função do estresse salino em plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* [Moench.]) e concluiu que a dose indicada para atenuar a ação salina foi 1,5 e 2,0 μM de silício. Lemos Neto et al. (2018) estudando o potencial de silício como atenuador dos efeitos da salinidade na cultura de alface, concluíram que este elemento foi eficaz na redução dos efeitos do acúmulo de sais na qualidade pós-colheita. Zhu et al. (2015) verificaram também que a adição de silício elevou a expressão de aquaporina nas plantas de sorgo e pepino submetidos a salinidade.

4 | DEFICIÊNCIA HÍDRICA E SILÍCIO

Em relação ao efeito atenuador do silício no estresse hídrico, um estudo realizado por Lobato et al. (2009) verificou em plantas de pimentão (*Capsicum annum* L.) induzidas ao déficit hídrico que o Si aumentou a tolerância a esse estresse, mantendo em níveis mais elevados os parâmetros de conteúdo relativo de água da folha,

transpiração, condutância estomática, *clorofilas a e b*, assim como carotenóides.

Souza et al. (2015) avaliando alterações bioquímicas em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) após exposição a estresse hídrico e aplicações de Si, verificaram que esse elemento atenuou os efeitos negativos do estresse, favorecendo o cultivo em áreas de baixa disponibilidade hídrica, concluindo em sua pesquisa que a aplicação deste composto silicatado é altamente recomendada, em especial para regiões submetidas a condições secas. Para Liu et al. (2014), a utilização do silício elevou de forma significativa a expressão dos genes da aquaporina, elevando conseqüentemente a captação de água do sistema radicular no sorgo submetido a condição de deficiência de água.

Alzahrani et al. (2018) trabalhando com crescentes dosagens de Si, observaram que este elemento melhorou os parâmetros de trocas gasosas de plantas de trigo submetidas a deficiência hídrica, como pode-se observar na tabela 1 abaixo.

Tratamento de Si	Controle	Deficiência hídrica
	Conteúdo Relativo de Água (%)	
0mM	61.4±2.5a	42.4±1.8c
2mM	62.2±2.4a	46.5±1.6b
4mM	61.8±2.6a	51.2±1.9a
6mM	61.8±2.8a	50.9±1.7a
	Taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
0mM	12.9±0.2a	7.2±0.2c
2mM	12.9±0.2a	8.9±0.2b
4mM	12.9±0.2a	10.5±0.3a
6mM	12.9±0.2a	9.6±0.3ab
	Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
0mM	6.12±0.16a	3.68±0.10c
2mM	6.20±0.15a	4.55±0.12b
4mM	6.20±0.20a	5.12±0.11a
6mM	6.16±0.18a	4.80±0.12a
	Condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
0mM	0.46±0.01a	0.28±0.01c
2mM	0.46±0.01a	0.34±0.01b
4mM	0.46±0.01a	0.38±0.01a
6mM	0.46±0.01a	0.34±0.01b

Tabela 1. Efeito do silício nos parâmetros de trocas gasosa de plantas de trigo submetidas a deficiência hídrica.

Fonte: Adaptado de Alzahrani et al., (2018).

5 | SILÍCIO E ENZIMAS ANTIOXIDANTES

Pesquisas científicas têm demonstrado que a utilização de diferentes

concentrações de silício aumenta o potencial da atividade de enzimas antioxidantes, tais como a catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase promovendo o ajuste osmótico (KHOSHGOFTARMANESH et al., 2014). Alzahrani et al. (2018) trabalhando com plantas de trigo suplementadas com crescentes concentrações de silício, observaram maior tolerância a deficiência hídrica, salinidade e toxicidade por cádmio através da melhoria nas atividades de superóxido dismutase, catalase e peroxidase.

Barbosa et al. (2015) observaram que o aumento na concentração de silício induziu o aumento de Ascorbato e glutathiona (GSH) na folha de milho sob tratamento de silício. Segundo os mesmos autores a aplicação de silício promoveu uma redução no nível de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) nas folhas de milho. Os mesmos autores concluíram que o silício promove efeitos benéficos nos pigmentos relacionados ao processo fotossintético e na estabilidade da membrana celular em plantas jovens de milho. O silício pode reduzir os níveis de malondialdeído, que é o produto final da peroxidação dos lipídios nas membranas de cevada (LIANG et al., 2003).

6 | INSETOS PRAGAS E SILÍCIO

Apesar de conhecida a capacidade de controle pela aplicação de Si, atualmente, ainda não se sabe ao certo o mecanismo na supressão de insetos pragas nas inúmeras lavouras ao redor do mundo, mas hipóteses são levantadas. A primeira aponta que o controle é exercido pela deposição de sílica amorfa na parede celular da epiderme dos tecidos vegetais, caracterizando uma barreira física, elevando a dureza dos tecidos nas plantas e reduzindo a digestibilidade (reduzindo acesso ao nitrogênio e carbono durante a digestão), causando alterações na biologia dos insetos pragas, podendo levar a diminuição de fecundidade e elevação de taxa de mortalidade (SANTOS et al., 2015). A segunda hipótese é que o Si pode estimular mecanismos naturais de defesa da planta, como a complexação e estímulo à síntese e mobilidade de compostos fenólicos no apoplasto, produção de quitinases, acúmulo de lignina e produção de peroxidase, enzima que participa da regulação hormonal, diferenciação celular, biossíntese de lignina, resposta geral a estresses (EPSTEIN, 1999).

O Si solúvel é considerado um excelente elicitador, pois está envolvido na defesa química induzida por meio do aumento da produção de enzimas de defesa ou da possível melhoria na liberação de voláteis responsáveis pela atração de inimigos naturais, melhorando assim o controle biológico dos herbívoros (REYNOLDS et al., 2009). Um exemplo a ser citado está na forte interação entre Si e jasmonatos (JA) atuando na defesa contra insetos e na atratividade aos inimigos naturais (YE et al., 2013).

A ação do Si sobre os insetos herbívoros pode ocorrer de duas formas: ação direta e ação indireta. Os efeitos diretos incluem a redução no crescimento da planta

e na reprodução do inseto, com simultânea redução do dano na planta. Os efeitos indiretos podem ser considerados como a diminuição ou atraso da penetração do inseto na planta, reduzindo o tempo de exposição da planta às pragas (KVEDARAS; KEEPING, 2007). Insetos herbívoros representam apenas um tipo de estresse biótico para o qual o silício pode providenciar certa defesa, com consequente aumento na produção, principalmente em cultivares suscetível (LAING & ADANDONON, 2005).

Estudos com silício tem sido cada vez mais aprofundado, contribuindo para o avanço desse elemento “quase essencial” na agricultura e atividades florestais. A utilização desse elemento é notória em várias linhas de pesquisa como fisiologia, bioquímica, nutrição, fitopatologia, mas ainda é insuficiente para qualifica-lo como elemento essencial às plantas, portanto, ainda se faz necessário aprofundar cada vez mais o conhecimento desse elemento nessas linhas de pesquisa.

7 | CONCLUSÃO

Diante do exposto, as evidências são bastantes claras quanto à importância desse elemento no crescimento e desenvolvimento vegetal. Contudo, ainda são necessários mais estudos que ajudem a compreender melhor o papel do silício como atenuador de estresses, pois compreendendo os efeitos benéficos desse elemento, poderá ser possível utilizá-lo em escala comercial com intuito de melhorar a produtividade das culturas afetadas por diferentes tipos de estresses.

REFERÊNCIAS

ALI, S.; FAROOQ, M.A.; YASMEEN, T.; HUSSAIN, S.; ARIF, M.S.; ABBAS, F.; BHARWANA, S.A.; ZHANG, G.P. **The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress.** 2013.

ASHRAF, M.; IMTIAZ, M.; ABID, M.; AFZAL, M.; SHAHZAD, S.M. **Reuse of wastewater for irrigating tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.) through silicon supplementation.** Journal Water Reuse Desalination, v. 3 (2), p. 128 - 139, 2013.

ASHFAQUE, F.; INAM, A.; INAM, A.; IQBAL, S.; SAHAY, S. **Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.).** South African Journal of Botany, v. 111, p.153 – 160, 2017.

ALZHRANIA, Y.; KUŞVURANB, A.; ALHARBYA, H. F.; KUŞVURANB, RADY, M. M. **The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cádmium.** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 154, p.187–196, 2018.

BOKOR, B.; VACULÍK, M.; SLOVÁKOVÁ, L.; MASAROVIC, D.; LUX, A. **Silicon does not Always mitigate zinc toxicity in maize.** Acta Physiologiae Plantarum, v. 36, p.733–743, 2014.

BARBOSA, M. A. M.; SILVA, M. H. L. DA; VIANA, G. D. M.; FERREIRA, T. R.; SOUZA, C. L. F. DE C.; LOBATO, E. M. S. G.; LOBATO, A. K. DA S. **Beneficial repercussion of silicon (Si) application on photosynthetic pigments in maize plants.** Australian Journal of Crop Science 9(11):1113-1118. 2015.

- CONCEIÇÃO, S. S. **Aclimação de plantas de girassol à salinidade induzida por silício**. 78p. Dissertação (mestrado), fitotecnia. UFC, Ceará. 2015.
- COOKE, J.; LEISHMAN, M. R. **Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition : a meta-analysis**. *Functional Ecology*, v. 30, p. 1340–1357, 2016.
- CHEN, DAOQIAN; WANG, SHIWEN; YIN, LINA; DENG, XIPING. **How Does Silicon Mediate Plant Water Uptake and Loss Under Water Deficiency?** *Frontiers in Plant Science*. V. 9, p. 1-, 2018.
- CRUSCIOL, A.C. SORATTO, R.P. CASTRO, G.S.A. COSTA, C.H.M. da; FELIX NETO, J. **Aplicação foliar de ácido silícico estabilizado na soja, feijão e amendoim**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 2, p. 404-410, 2013.
- CUNHA KPV; NASCIMENTO CWA; ACCIOLY AMA; SILVA AJ. **Cadmium and zinc availability, accumulation and toxicity in maize grown in a contaminated soil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 3:1319-1328. 2008.
- DEBONA, D.; RODRIGUES, A.; DATNOFF, L. E. **Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses**. *Annual Review of Phytopathology*, , n. 55, p. 85–107, 2017.
- EPSTEIN, E. **Silicon**. *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, jun. 1999.
- EMAMVERDIAN, A.; DING, Y.; MOKHBERDORAN, F.; XIE, Y. **Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response**. *The Scientific World Journal*, United States, v. 2015, n.1, p 1-18, 2015.
- FERRAZ, R. L. S.; MAGALHÃES, I. D.; BELTRÃO, N.E. M.; MELO, A.S.; NETO, J.F. B.; ROCHA, M.S. **Photosynthetic pigments, cell extrusion and relative leaf water content of the castor be an under silicone and salinity**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.9, p.841–8, 2015.
- GILL, R.A., ALI, B., ISLAM, F., FAROOQ, M.A., GILL, M.B., MWAMBA, T.M., AND ZHOU, W. **Physiological and molecular analyses of black and yellow seeded *Brassica napus* regulated by 5-aminolivulinic acid under chromium stress**. *Plant Physiol. Biochem.*, 94, 130–143. 2015.
- GIONGO, V.; BOHNEN, H. **Relação entre alumínio e silício em genótipos de milho resistente e sensível a toxidez de alumínio**. *Bioscience Journal*, Brazil, v. 27, n. 3, p. 348-356, 2011.
- GAO, M.; ZHOU, J.; LIU, H.; ZHANG, W.; HU, Y.; LIANG, J.; ZHOU, J. **Foliar spraying with silicon and selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice**. *Science of the Total Environment*, v. 631–632, p. 1100–1108, 2018.
- IMTIAZ, M.; SHAHID, M.; ADNAN, M.; et al. **Silicon occurrence , uptake , transport and mechanisms of heavy metals , minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review**. *Journal of Environmental Management*, v. 183, p. 521–529, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009>>.
- KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G. **Silicon impedes stalk penetration by the borer *Eldana saccharinainsugarcane***. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Amsterdam, v.125, n.1, p .103-110, 2007.
- KABATA-PENDIAS, A., MUKHERJEE, A.B. **Trace Elements from Soil to Human**. Springer Verlag, Berlin. 2007.
- KHOSHGOFTARMANESH, A.H.; KHODARAHMI, S.; HAGHIGHI, M. **Effect of silicone nutrition on lipid peroxidation and antioxidant response of cucumber plants exposed to salinity stress**.

KHALIQ, A.; ALI, S.; HAMEED, A.; FAROOQ, M. A.; FARID, M.; SHAKOOR, M. B.; MAHMOOD, K.; ISHAQUE, W.; RIZWA, M. **Silicon alleviates nickel toxicity in cotton seedlings through enhancing growth, photosynthesis and suppressing Ni uptake and oxidative stress Silicon alleviates nickel toxicity in cotton.** Archives of Agronomy and Soil Science, 2015.

LIANG, Y.C., CHEN, Q., LIU, Q., ZHANG, W.H., DING, R.X. **Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.).** J Plant Physiol 160:1157–1164. 2003. DOI:10.1078/0176-1617-01065

LAING, M. D.; ADANDONON, A. **Silicon and insect management: review.** In: **Silicon in agriculture conference**, 3, 2005, Uberlândia. Proceedings Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 41-50.

LIU, P., YIN, L. N., DENG, X. P., WANG, S. W., TANAKA, K., AND ZHANG, S. Q. **Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in *Sorghum bicolor* L.** J. Exp. Bot. 65, 4747–4756. 2014. DOI: 10.1093/jxb/eru220

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in agriculture: From theory to practice.** Silicon in Agriculture: From Theory to Practice. p.1–235, 2015.

LI, Z.; SONG, Z.; YAN, Z.; et al. **Silicon enhancement of estimated plant biomass carbon accumulation under abiotic and biotic stresses.** A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development, v. 38, n. 26, 2018. Agronomy for Sustainable Development.

LIMA, M. D. R.; BARROS JR, U. O.; BARBOSA, M. A. M.; SEGURA, F. R.; SILVA, F. F.; BATISTA, B. L.; LOBATO, A. K. S. **Silicon mitigates oxidative stress and has positive effects in *Eucalyptus platyphylla* under aluminium toxicity.** Plant, Soil and Environment, Czech Republic, 62, n.4, p. 164-170, 2016.

LEMOS NETO, H. de S.; GUIMARÃES, M. de A.; MESQUITA, R. O.; SAMPAIO, I. M. G.; HENDGES, A. R. A. de A.; OLIVEIRA, A. B. de. **Silicon Potential as Attenuator of Salinity Effects on Growth and Post-harvest Quality of Lettuce.** Journal of Agricultural Science; Vol. 10, No. 7; 2018.

LOBATO, A. K. S.; COIMBRA, G. K.; MENEZES NETO, M. A.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LUZ, L. M.; BARRETO, A. G. T.; PEREIRA, B. W. F.; ALVES, G. A. R.; MONTEIRO, B. S.; MAROCHIO, C. A. **Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit.** Research Journal of Biological Sciences, v. 4, p. 617-623, 2009.

MA, J. F., and YAMAJI, N. **A Cooperative system of silicon transport in plants.** Trends Plant Sci. 20, 435–442. 2015. DOI: 10.1016/j.tplants.2015.04.007

PONTIGO, S., RIBERA, A., GIANFREDA, L., MORA, M. L., NIKOLIC, M., AND CARTES, P. **Silicon in vascular plants: uptake, transport and its influence on mineral stress under acidic conditions.** Planta 242, 23–37. 2015. DOI: 10.1007/s00425-015-2333-1

PONTIGO, S.; GODOY, K.; JIMÉNEZ, H.; GUTIÉRREZ-MORAGA, A.; MORA, M. DE LA; CARTES, P. **Silicon-Mediated Alleviation of Aluminum Toxicity by Modulation of Al/Si Uptake and Antioxidant Performance in Ryegrass Plants.** Frontiers in Plant Science, v. 8, p. 1-15, 2017.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. **Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review.** Annals of Applied Biology, Warwick, v. 155, p. 171-186, 2009. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2009.00348.x.

- REYNOLDS, O. L., PADULA, M. P., ZENG, R., GURR, G. M. **Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture.** *Front. Plant Sci.* 7:744. 2015. DOI: 10.3389/fpls.2016.00744
- RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; et al. **Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants:** a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015.
- RIZWAN, M.; MOSTOFA, M. G.; AHMAD, M. Z.; IMTIAZ, H.; MEHMOOD, S.; ADEEL, H.; DAI, Z.; LI, Z.; AZIZ, O.; ZHANG, Y.; TU, S. **Nitric oxide induces rice tolerance to excessive nickel by regulating nickel uptake, reactive oxygen species detoxification and defense-related gene expression.** *Chemosphere*, v. 191, p. 23– 35, 2018.
- SINGH, H.P.; MAHAJAN, P.; KAUR, S.; BATISH, D.R.; KOHLI, R.K. **Chromium toxicity and tolerance in plants.** *Environmental Chemistry Letters*, v. 11 (3), 229 - 254, 2013.
- SAHEBI, M., HANAFI, M. M., AKMAR, A. S. N., RAFII, M. Y., AZIZI, P., TENGOUA, F. F., AZWA, J. N. M.; SHABANIMOFRAD, M. **Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants.** *Biomed. Res. Int.* 2015:396010. 2015. DOI: 10.1155/2015/396010.
- SANTOS, R. RODRIGUES, A.C. BONIFACIO, A. NUNES JUNIOR, A.F.C. TSCHOEKE, P.H. **Severidade de antracnose em folhas de sorgo submetido a doses crescentes de silício.** *Revista Ciência Agrônômica*, v. 45, n. 2, p. 403-408, 2014.
- SANTOS, M. dos; JUNQUEIRA, A. R.; DE SÁ, V. M.; ZANÚNCIO, J.; SERRÃO, J. **Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae.** *Invertebrate Survival Journal, Modema*, v. 12, p. 158–165, 2015.
- SOUZA, L. C. DE ; LIMA, E. G. S. DA ; ALMEIDA, R. F. ; NEVES, M. G. ; NOGUEIRA, G. A. S. ; OLIVEIRA NETO, C. F. ; COSTA, A. S. DA ; MACHADO, L. C. ; NASCIMENTO, S. M. C. ; BRITO, A. E. A. **Nitrogen metabolism in sorghum under salinity and silicon treatments in Brazil.** *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 199-208, 2016.
- SOUZA, L. C. DE ; NOGUEIRA, G. A. S. ; ALMEIDA, R. F. ; SOUZA, L. C. ; NEVES, M. G. ; OLIVEIRA NETO, C. F. ; OLIVEIRA, T. B. DE ; VIÉGAS, I. J. M.; OKUMURA, R. S. **Application of multivariate analysis to evaluate the biochemical changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) after exposure to water stress and silicon applications.** *African Journal of Biotechnology*, v. 14, p. 3257-3263, 2015.
- TRIPATHI, D. K., BASHRI, G., SINGH, S., SINGH, S., AHMAD, P., PRASSAD, S. M. **“Efficacy of silicon against aluminum toxicity in plants: an overview”.** In: **Silicon in Plants: Advances and Future Prospects**, eds D. K. TRIPATHI, V. P. SINGH, P. AHMAD, D. K. CHAUHAN, and S. M. PRASAD (Boca Raton, FL: CRC Press), 355–366. 2016. DOI: 10.1201/9781315369310-20
- XU, C. X.; MA, Y. P.; LIU, Y.L. **Effects of silicon (Si) on growth, quality and ionic homeostasis of aloe under salt stress.** *South African Journal of Botany*, v.98, n.1, p. 26-36,2015.
- YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BAERSON, S. R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LUO, S.; ZENG, R. **Priming of jasmonate-mediated anti herbivore defense responses in rice by silicon.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* v. 110, n. 3, p. 3631–3639, set., 2013. DOI: 10.1073/pnas.1305848110
- YIN, L.N.; WANG, S.W.; LI, J.Y.; TANAKA, K.; OKA, M. **Application of silicone improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*.** *Acta Physiol Plant.* DOI:10.1007/s11738-013-1343-5. 2013.
- ZHU, Y.; XU, X.; HU, Y.; HAN, W.; YIN, J.; LI, H L; GONG HJ. **Silicon improves salt tolerance by increasing root water uptake in *Cucumis sativus* L.** *Plant Cell Rep.* 34, 1629–1646. 2015. DOI: 10.1007/s00299-015-1814-9.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Profa. Dra. Magnólia de Araújo Campos - Possui graduação em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba (1989), com Mestrado em Agronomia/Fitomelhoramento pela Universidade Federal de Pelotas (1995) e Doutorado em Ciências Biológicas/Biologia Molecular pela Universidade de Brasília (2002). Pós-Doutorado em Genômica pelo Centro de Citricultura Sylvio Moreira, IAC, Brasil. (2003-2005) e Genética Molecular e de Microorganismos pela Universidade Federal de Lavras (2005-2008). Desde maio de 2008 é Professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde coordenou a Criação e do Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos no Centro de Desenvolvimento do Semiárido (CDSA, Campus de Sumé). Atualmente desenvolve atividades no Centro de Educação e Saúde (CES, Campus Cuité), onde é Coordenadora da Criação e do Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Naturais e Biotecnologia do CES/UFCG. É Coordenadora do Laboratório de Biotecnologia do CES e do Grupo de Pesquisa Biotecnologia Aplicada ao Semiárido. Tem experiência em Cultura de Tecidos Vegetais, Transgenia de Plantas, Marcadores Moleculares, Bioinformática, Genômica, Expressão Heteróloga *in vitro* de Proteínas Antimicrobianas, Biologia Molecular Vegetal e de Microorganismos. É editora acadêmica da editora internacional de livros científicos IntechOpen.

Prof. Dr. Rafael Trindade Maia - Possui Graduação em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2005), mestrado em Genética, Conservação e Biologia Evolutiva pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2008) e doutorado em Biologia Animal pela Universidade Federal de Pernambuco (2013). Atualmente é professor do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Tem experiência com genética de populações, bioinformática, docking molecular, modelagem e dinâmica molecular de proteínas. Atua na área de ensino de ciências e biologia. Lidera os grupos de pesquisa Biologia Computacional e Teórica (BCT) e Ensino de Ciências e Biologia (ECB). É editor acadêmico do periódico Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering e da editora internacional de livros científicos IntechOpen.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Amazônia 1, 3, 30, 31, 32, 39, 40, 41, 49, 59, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 87, 97

Aspectos reprodutivos 1, 2, 3

Atenuante 59

B

Balu 50, 51, 53, 54, 55, 56

Biodiversidade 38, 48, 78, 79, 80, 82, 84, 85, 87

Biometria 30, 37

Biotécnica 71

Biotecnologia 22, 30, 39, 71, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 97

C

Caprinos nativos 88, 89, 90, 91, 92

Caracteres 13, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 28, 35, 43, 46, 53, 57

Caracterização polínica 1, 2

Conservação 3, 10, 25, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 97

Criopreservação de gametas 71, 72, 82

Cupuaçuzeiro 1, 2, 3, 11, 85

D

Déficit hídrico 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 64

Descritores morfológicos 12, 13

Distância genética 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 31, 34, 45

Divergência genética 15, 17, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49

Down 50, 51, 53, 54, 55, 56

E

Estresse 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 67, 73

Estresse hídrico 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 64, 65

G

Gestação assistida 71

H

Híbridos 25, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 41, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 56

I

Índice meiótico 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10

L

Landraces 24

M

Mahalanobis 15, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 45, 46, 48

Melhoramento de plantas 23, 24, 32, 84, 85

Microssatélites 12, 15, 19, 20, 81, 85, 89, 92, 94, 96

Milho 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 66, 68

Milho crioulo 23, 25, 26, 28, 29

N

Nitrogênio 32, 36, 38, 40, 41, 48, 49, 58, 62, 64, 66, 72, 74, 82

P

Produtividade 3, 8, 10, 23, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 52, 53, 56, 57, 59, 62, 63, 67, 78, 85, 90

Proteção de cultivares 12, 13, 14, 21

S

Seleção de híbrido 50

Silício 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70

T

Theobroma grandiflorum 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 85

Trigo 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 65, 66

Triticum aestivum 12, 13, 22

U

Uso sustentável 78, 79

V

Variabilidade 5, 21, 26, 28, 30, 31, 33, 36, 38, 40, 49, 81, 85, 87, 89, 91, 93, 94, 95

Variabilidade genética 21, 28, 31, 33, 38, 49, 81, 85, 87, 89, 94, 95

Viabilidade polínica 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 18, 19, 21, 22

Z

Zea mays 24, 29, 37, 40, 58

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-719-2



9 788572 477192