

PESQUISAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

VOLUME X



**Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Organizadores**

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Organizador

Pesquisas agrárias e ambientais

Volume X



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. Msc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. Msc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. Msc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. Msc. Javier Revilla Armesto
Prof. Msc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. Msc. Lucas R. Oliveira
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez
Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. Msc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Msc. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Msc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Mun. Rio de Janeiro
UNMSM (Peru)
UFMT
Mun. de Chap. do Sul
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P472	Pesquisas agrárias e ambientais [livro eletrônico] : volume X / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2022. 177p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-5872-269-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786558722694 1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. CDD 630
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

As áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais são importantes para a humanidade. De um lado, a produção de alimentos e do outro a conservação do meio ambiente. Ambas, devem ser aliadas e são imprescindíveis para a sustentabilidade do planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

O e-book “Pesquisas Agrárias e Ambientais Volume X” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção de alimentos, o meio ambiente e promoção de maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas e animais. Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas:

mapeamento do estande e distribuição longitudinal de plantas de milho; variabilidade espacial da fertilidade do solo antes e após aplicação de calcário para o cultivo da soja; variabilidade espacial de micronutrientes catiônicos do solo; variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação; modelagem estatística utilizando o método de heatmap para a avaliação da cultura da laranja irrigada com água residuária; água tratada magneticamente na cultura da alface e do rabanete; omissão de Nutrientes em Espécies Florestais Nativas do Brasil; água tratada magneticamente estimula a produtividade do rabanete e da alface; plantas medicinais e seu potencial controle sobre patógenos de culturas agrícolas; melhoramento genético do feijão-fava (*Phaseolus Lunatus*); seletividade de inseticidas a *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), alterações morfológicas em variedades de cana-de-açúcar induzidas pela restrição hídrica. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e do ambiente, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciência Agrárias e Ciências Ambientais Volume X, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este ebook possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para as áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo I	6
Plantas medicinais e seu potencial controle sobre patógenos de culturas agrícolas	6
Capítulo II	20
Melhoramento Genético do Feijão-fava (<i>Phaseolus Lunatus</i>)	20
Capítulo III	51
Seletividade de inseticidas a <i>Trichogramma Pretiosum</i> Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de <i>Helicoverpa Armigera</i> (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)	51
Capítulo IV	66
Alterações morfológicas em variedades de cana-de-açúcar induzidas pela restrição hídrica	66
Capítulo V	88
Mapeamento do estande e distribuição longitudinal de plantas de milho	88
Capítulo VI	96
Variabilidade espacial da fertilidade do solo antes e após aplicação de calcário para o cultivo da soja	96
Capítulo VII	108
Variabilidade espacial de micronutrientes catiônicos do solo	108
Capítulo VIII	118
Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação	118
Capítulo IX	127
Modelagem estatística utilizando o método de <i>heatmap</i> para a avaliação da cultura da laranja irrigada com água residuária	127
Capítulo X	137
Omissão de Nutrientes em Espécies Florestais Nativas do Brasil	137
Capítulo XI	151
Água tratada magneticamente estimula a produtividade do rabanete	151
Capítulo XII	159
Impacto da irrigação com água tratada magneticamente na alface lisa	159
Capítulo XIII	168
Produtividade da alface crespa é impactada pelo uso de água tratada magneticamente	168
Índice Remissivo	175
Sobre os organizadores	177

Plantas medicinais e seu potencial controle sobre patógenos de culturas agrícolas

Recebido em: 19/04/2022

Aceito em: 20/04/2022

 10.46420/9786558722694cap1

Cheila Bonati do Carmo de Sousa^{1*} 

Caliane da Silva Bráulio¹ 

Elisângela Pereira Gonçalves¹ 

Candice Nóbrega Carneiro¹ 

Gisele Chagas Moreira¹ 

Gilvanda Leão dos Anjos¹ 

Fábio de Souza Dias² 

Rafaela Simão Abrahão Nóbrega^{1*} 

INTRODUÇÃO

As plantas medicinais compõem grande parte da biodiversidade dos ecossistemas terrestres, sendo muito utilizadas na medicina popular (Ramos et al., 2016). Além de empregadas no uso empírico, essas espécies também assumem grande importância econômica para as indústrias farmacêuticas e cosméticas, devido possuírem constituintes químicos de fins terapêuticos (Vizzotto et al., 2010), como também para o setor agrícola (Kobayashi et al., 2018).

É conhecido que o Brasil apresenta uma grande biodiversidade em plantas medicinais. Esta diversidade pode ser explorada de forma sustentável na agricultura, por exemplo, para produzir extratos vegetais e óleos essenciais que apresentam potencial no controle de fitopatógenos, por meio de seus compostos bioativos, surgindo como alternativa para o controle de doenças em plantas, em substituição aos produtos químicos sintéticos, seja por sua ação direta sobre fitopatógenos como bactérias, nematoides e fungos ou indireta, ativando os mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos (Vizzotto et al., 2010; Xavier et al., 2012; Simon et al., 2016).

Diversos problemas associados à utilização de produtos químicos sintéticos para o controle de doenças e pragas em plantas têm incentivado pesquisadores e produtores a buscarem produtos menos tóxicos como meio de controle alternativo nas mais diferentes culturas. Dentre as principais vantagens na utilização de extratos vegetais e óleos essenciais para proteção de plantas, quando comparados aos

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, CEP: 44380-000, Bahia, Brasil.

² Universidade Federal da Bahia. Camaçari, CEP: 42809-000, Bahia, Brasil.

* Autoras correspondentes: cheucarmo@gmail.com e rafaela.nobrega@ufrb.edu.br

produtos químicos sintéticos, deve-se destacar a incapacidade de patógenos para inativa-los, além de apresentar baixa toxicidade, rápida degradação pelo ambiente, possuírem amplo modo de ação e serem derivados de recursos renováveis (Kobayashi et al., 2018).

O extrato aquoso das folhas de *Croton heliotropiifolius* apresenta atividade nematocida contra os nematoides que acometem sementes de inhame (*Dioscorea*) (Santos Filho, 2019). O extrato bruto e óleo essencial de gengibre (*Zingiber officinale*), assim como os óleos essenciais de citronela (*Cymbopogon nardus*) e cravo (*Dianthus caryophyllus*) inibem o crescimento de *Ralstonia solanacearum* em mudas de bananeira (Amorim et al., 2011). O óleo de frutos verdes de aroeirinha (*Schinus terebinthifolius*) tem potencial nematocida contra o *M. javanica* (Borges, 2017).

Devido à importância que as plantas medicinais e seus subprodutos proporcionam ao setor de produção agrícola, com potencial para substituir ou reduzir o emprego de produtos químicos sintéticos, pesquisas científicas têm sido crescentes nesse âmbito, uma vez que, há uma diversidade de compostos secundários presentes nas espécies medicinais constituindo recursos naturais muito importantes. Diante do exposto, o objetivo desta revisão é apresentar resultados de pesquisas constatando o efeito ou potencial de extratos vegetais ou óleos essenciais obtidos de plantas medicinais, especialmente do *Croton heliotropiifolius*, e a aplicação desses produtos no controle de fitopatógenos que acometem culturas de interesse agrícola.

PLANTAS MEDICINAIS

Plantas medicinais são aquelas que possuem em sua composição química, compostos bioativos capazes de prevenir e/ou tratar doenças em seres vivos. O emprego dessas espécies ou de seus extratos vegetais com fins medicinais vem sendo adotado desde a antiguidade e, a partir do século XIX, com o desenvolvimento da química orgânica, o uso de plantas medicinais foi consideravelmente abrangente para se desenvolver medicamentos ou produtos químicos, por meio da extração de seus princípios ativos (Cordeiro; Félix, 2014; Ribeiro et al., 2014; Almeida Neto et al., 2015).

Em diversos trabalhos realizados no Brasil, foi identificado o emprego de espécies medicinais de diferentes famílias botânicas na medicina popular (Almeida Neto et al., 2015; Lima et al., 2016; Costa; Marinho, 2016; Zeni et al., 2017). A região Nordeste do país apresenta um bioma diversificado, o que tem fortalecido a medicina popular na região. Devido à diversidade de espécies medicinais, estudos têm sido realizados para identificar as espécies utilizadas e seu potencial fitoterápico. Nas pesquisas realizadas por Cordeiro e Félix (2014), Almeida Neto et al. (2015) e Santos et al. (2016) na região Nordeste do Brasil, foram identificadas dezenas de plantas medicinais com poder curativo, dentre as quais, destacam-se espécies do gênero *Croton*.

O conhecimento tradicional a respeito do potencial curativo das espécies medicinais é de extrema importância para o conhecimento científico, uma vez que, a identificação popular sobre a eficácia

medicinal de cada espécie proporciona um melhor direcionamento e diversos avanços à pesquisa científica. Esse conhecimento popular é protegido pela Lei de Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, por meio do Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006, e da Portaria MS/GM n. 3.237 de 24 de dezembro de 2007, que tem por objetivo tornar o acesso a essas espécies seguro e racional, além de promover o uso sustentável da biodiversidade brasileira (Brasil, 2007).

Além do uso na medicina tradicional, as plantas medicinais também vêm sendo utilizadas na indústria de fármacos, de produtos químicos, cosméticos e alimentos (Manousi et al., 2019), por serem importantes fontes de compostos bioativos, também denominados de fitoquímicos, que são precursores para a síntese de medicamentos tanto naturais como sintéticos, para síntese de cosméticos e ainda de suplementos alimentares (Manousi et al., 2019; Li et al., 2020).

A contribuição que as plantas medicinais têm promovido para distintas áreas de interesse têm impulsionado as pesquisas científicas e de desenvolvimento com essas espécies, agregando maior valor econômico e cultural às mesmas.

GÊNERO *CROTON*

A família Euphorbiaceae é representada por cerca de 300 gêneros e 7600 espécies, entre os quais está incluído o gênero *Croton* (Cavalcanti et al., 2020). As espécies do gênero *Croton* são constituídas por árvores, arbustos, subarbustos, ervas e raramente lianas (Craveiro, 1981). São conhecidas pelo seu potencial no tratamento de diversas doenças, sendo amplamente usadas na medicina tradicional (Ribeiro et al., 2014; Cordeiro e Félix, 2014; Almeida et al., 2015), além de que, possuem importantes atividades biológicas, como: ação inseticida (Trindade e Lameira, 2014), antifúngica, antioxidante e antimicrobiana (Fernandes, 2016), entre outras, o que têm levado a realização de diversos estudos com espécies desse gênero, para identificar e isolar seus constituintes voláteis e não-voláteis, bem como verificar sua ação biológica.

Entre as espécies do gênero *Croton*, destaca-se o *Croton heliotropiifolius* Kunth, que é uma planta endêmica da região Nordeste do Brasil e, comumente conhecida como “velame”, “velaminho” (Silva et al., 2017) e “cassutinga” (Rocha et al., 2016). A espécie é um arbusto que mede cerca de 1m de altura, apresenta látex transparente ou alaranjado, folhas alternas a subopostas no ápice dos ramos, com flores pistiladas solitárias curtamente pediceladas ou sésseis; brácteas 1-2 com 0,8-1,2 x 0,3-0,4 mm, inteiras, lanceoladas, e glandulares (Silva et al., 2009). É encontrada habitualmente em vegetação de caatinga, sobre solo arenoso ou areno-argiloso, podendo também ser encontrada em cerrados e restingas (Silva, J. S. et al., 2009). A espécie possui propriedades medicinais (Trindade e Lameira, 2014; Rocha et al., 2016), suas folhas e raízes são utilizadas para tratar de dores de barriga, febres e dores de cabeça (Gomes e Bandeira, 2012), com ampla versatilidade.

POTENCIAL DE BIOATIVOS DA ESPÉCIE *CROTON HELIOTROPIIFOLIUS*

Devido à sua importância, estudos têm sido desenvolvidos com diferentes partes das plantas de *C. heliotropiifolius* para preparo de extratos vegetais e óleos essenciais, com intuito de verificar sua ação biológica, como também identificar e quantificar sua composição química. O óleo essencial da espécie tem atividade antimicrobiana (Alencar Filho et al., 2017), antibacteriana (Araújo et al., 2017), e larvicida (Dória et al., 2010; Silva et al., 2017).

O extrato metanólico (Brito et al., 2018) e o extrato etanólico (Queiroz et al., 2014) do *C. heliotropiifolius* têm potencial antifúngico. O seu extrato metanólico apresenta ainda potencial antioxidante (Silva et al., 2017), o que pode estar relacionado à presença de compostos fenólicos, como os flavonoides. Os flavonoides estão presentes em diferentes espécies de *Croton*, e podem ser quantificados em maior (Barrera et al., 2016) ou menor porcentagem (Sousa et al., 2020) em relação a outros compostos identificados e, sua presença agrega maior valor comercial as espécies, pois, as indústrias de fármaco, alimentos e cosméticos têm buscado por novas fontes de antioxidantes naturais.

Extratos vegetais e óleos essenciais do *C. heliotropiifolius* apresentam também potencial para serem utilizados na agricultura, como produto alternativo aos pesticidas que são utilizados na agricultura tradicional. O extrato aquoso, etanólico e metanólico da espécie em determinadas concentrações inibe o potencial germinativo de sementes *Digitaria insularis* e *Bidens pilosa* (Silva, 2018). O extrato aquoso reduz o crescimento de nematoides que acometem sementes de inhame (Santos Filho, 2019), e apresenta atividade contra fitonematoides, com efeito positivo sobre a imobilidade e mortalidade desses organismos (Lima et al., 2019). O extrato hidroalcóolico de folhas de *C. heliotropiifolius* não afeta a germinação, crescimento e nodulação em feijão-caupi, o que é desejável, pois possibilita de ser testado sobre fitopatógenos que acometem a cultura (Sousa, 2020). Vale ressaltar que, o extrato aquoso e hidroalcóolico são considerados não tóxicos e, isso é desejável do ponto de vista da segurança alimentar e ambiental.

Com base nas pesquisas já realizadas, evidencia-se que a espécie *C. Heliotropiifolius* é uma fonte natural de fitoquímicos, e sua aplicação no setor agrícola pode ser mais bem estudada em pesquisas futuras.

EXTRATOS VEGETAIS E CULTURAS AGRÍCOLAS

Como já abordado anteriormente, os produtos naturais oriundos de plantas medicinais, como extratos vegetais e óleos essenciais vêm sendo utilizados em diferentes áreas de interesse.

Na agricultura, o uso de extratos vegetais para controlar doenças em plantas tem ganhado grande relevância, uma vez que, surgem como alternativa ao uso de agrotóxicos que, têm promovido uma série de problemas no âmbito ambiental e da saúde humana (Santos et al., 2013), como a contaminação do solo, água, animais, alimentos, e intoxicação dos agricultores, além de, promover o desequilíbrio biológico e a resistência de patógenos, entre outros.

Ao longo dos últimos anos, tem crescido o número de pesquisas relacionadas ao estudo do potencial subprodutos vegetais para controlar patógenos que acometem diferentes plantas de interesse agrícola (Araújo et al., 2014; Barros et al., 2015; Kobayashi; Amaral, 2018), na procura por encontrar produtos naturais eficientes e considerados ecológicos.

Dentre as plantas de interesse agrícola, têm-se as leguminosas, que também são utilizadas com outras finalidades como, produção de madeira e de forragem, como plantas de cobertura, para fins medicinais, para alimentação humana (Silva et al., 2012) e para incorporação de nitrogênio ao solo. Grande parte das plantas leguminosas utilizadas para alimentação humana é acometida por diversos patógenos que prejudicam sua produtividade, o que faz necessário o uso de produtos naturais com potencial de controle sobre os fitopatógenos.

Deste modo, as aplicações de extratos vegetais e de seus metabólitos secundários, surgem como uma alternativa mais segura, no que diz respeito à saúde humana, como também ao meio ambiente, por serem não/ou menos tóxicos. Alguns estudos foram realizados com uso de extratos vegetais para controlar doenças em espécies leguminosas como, soja (*Glycine max*) (Gouvea et al., 2011; Garcia et al., 2012), amendoim (*Arachis hypogaea*) (Ferreira et al., 2015), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) (Brand et al., 2010) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) (Silva et al., 2009; Santos e Silva, 2015), nos quais verificaram-se resultados promissores.

FEIJÃO CAUPI

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) do gênero *Vigna*, é uma espécie leguminosa de ciclo curto originária da África, é conhecido popularmente como feijão de corda e feijão macassar, é dicotiledônea, pertencente à ordem *Fabales*, da família *Fabaceae*, tribo *Phaseoleae* (Lima et al., 2007). Seus grãos são ricos em proteínas, apresentam aminoácidos essenciais, vitaminas, mineiras e carboidratos (Devi et al., 2015), e podem ser consumidos secos ou verdes. É bastante cultivado nas regiões tropicais e subtropicais, possui ampla distribuição mundial em virtude da semelhança das características edafoclimáticas dessas regiões (Mousinho, 2005).

A produção mundial de feijão-caupi em 2018 foi em torno de 6,9 milhões de toneladas, produzidas em 12,3 milhões de hectares, conforme registros da FAO (2018). De acordo com a FAO (2018), os principais países produtores de feijão-caupi são a Nigéria (3 milhões de toneladas), Níger (1,9 milhões de toneladas), Burkina Faso (603 mil toneladas), respectivamente com 43%, 28%, 8,6%, da produção mundial (FAO, 2018). Ressalta-se que, os dados estatísticos apresentados pela FAO (2018), são subestimados, porque não incluem o Brasil e a Índia, que são grandes produtores e consumidores de feijão-caupi. No levantamento feito por Wander (2013), os principais países produtores de feijão-caupi foram: Índia, Nigéria, Níger, Brasil, Burkina Faso, Myanmar, Tanzânia, Camarões e Mali. E os principais

países exportadores de feijão-caupi foram: Estados Unidos, Peru, Brasil, Níger, Mali, Burkina Faso, Benin, Chade, Camarões, Myanmar e Tailândia (Wander, 2013).

E segundo dados apresentados pela Conab (2018), o Brasil é o terceiro maior produtor de feijão-caupi no mundo, com produção distribuída principalmente entre as regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste do País, com produtividade de 1.043 kg há⁻¹, na safra, estimou-se uma colheita de 3,3 milhões de toneladas de feijão-caupi e uma área de 3,197 milhões de hectares.

As regiões Norte/Nordeste possuem maior expressividade com uma produção brasileira em torno de 473,6 mil toneladas, contribuindo com aproximadamente um milhão de hectares e 66,39% da produção de feijão-caupi total (Conab, 2019), e se caracteriza como uma cultura importante para alimentação da população brasileira, principalmente dessas regiões, onde predomina a agricultura familiar que é caracterizada pelo uso de baixa tecnologia e solos deficientes em nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo (Freire Filho et al., 2011; Rufini et al., 2013). No entanto, tem-se observado grande expansão da área cultivada para região Centro-Oeste, onde o feijão-caupi tem sido cultivado por médios e grandes produtores de base empresarial (Freire Filho et al., 2017; Silva et al., 2018), devido ao desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado, dentre elas, o porte mais ereto (Freire Filho et al., 2017), e desenvolvimento de cultivares e linhas superiores de feijão-caupi de porte semiprostrado com potencial de cultivo e possibilidade de adaptação nas condições do Norte de Minas Gerais, por exemplo (Silva et al., 2018).

Além disso, o melhoramento genético do feijão-caupi visando à colheita mecanizada e o cultivo em grandes áreas, tem impulsionado o aumento de produção também no estado do Mato grosso, que produziu nos últimos três anos mais de 100 mil hectares, chegando a aproximadamente 116 mil hectares (Embrapa Arroz e Feijão, 2016). A Embrapa meio Norte lançou a cultivar BRS Imponente com visando atender a demanda do setor de comercialização bem como do mercado internacional. A cultivar apresenta grãos grandes, e será uma nova opção para os agricultores, aumentando as opções de cultivares de interesse agrícola (Faria, 2017), o que fortalece a produção da cultura.

O feijão-caupi possui grande diversidade genética, o que lhe confere boa adaptabilidade a diferentes condições ambientais, entretanto, pode ser afetado por vários fitopatógenos que afetam a sua produtividade e qualidade dos grãos (Athayde Sobrinho et al., 2005; Torres et al., 2016; Silva et al., 2014; Silva et al., 2017).

Uma das doenças mais importante que afeta cultura do feijão-caupi em nível mundial e especialmente no Brasil, é a podridão cinzenta do caule, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina*, que provoca morte de sementes e plântulas, cancro e lesões cinzentas no caule (Figura 1), principalmente em condições de alta temperatura e deficiência hídrica (Athayde Sobrinho, 2004). Isto ocorre devido às suas estruturas de resistência, denominadas microesclerócios que permitem ampliar seu potencial de inóculo

e sua sobrevivência em condições adversas, sendo o controle desses fitopatógenos, considerado difícil (Almeida et al., 2014).



Figura 1. Planta de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] acometida pelo fungo *Macrophomina phaseolina*. Fonte: os autores.

No Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), não há registro de produtos químicos, para o controle dessa doença em feijão-caupi (Brasil, 2017), desse modo, na maioria das vezes ocorre o uso indiscriminado de fungicida para controlar o fitopatógeno (Silva et al., 2008; Rufino et al., 2018), o que ocasiona sérios problemas ambientais. Uma alternativa para reduzir o uso de fungicida na agricultura, é o uso de extratos vegetais (Bigaton et al., 2013).

Os princípios ativos microbiocidas de plantas medicinais, são fontes potenciais de moléculas que podem ser empregadas na defesa de plantas contra fitopatógenos (Rodrigues et al., 2006). Os metabólitos secundários apresentam baixa toxicidade a humanos, sendo amplamente testados no controle *in vitro* e *in vivo* de fitopatógenos, e no controle de sementes (Rodrigues et al., 2006; SILVA et al., 2013). Os compostos comumente utilizados no controle de fitopatógenos são alcalóides, terpenos, lignanas, flavonóides, cumarinas, benzenóides, quinonas, xantonas, lactonas e esteróides, entre outras, pertencentes a diferentes classes de substâncias químicas vegetais (Di Stasi, 1996, Nicareta, 2019).

CONTROLE NATURAL DE FITOPATÓGENOS

A diversidade de substâncias ativas em plantas medicinais, tem motivado o desenvolvimento de pesquisas envolvendo o uso de extratos vegetais, em buscar alternativas para o controle de fitopatógenos (Franzener et al., 2003; Venturoso et al., 2011; Rufino et al., 2018), devido seus efeitos positivos, sustentabilidade ambiental e redução dos riscos à saúde humana (Jung, 2012). O uso de compostos secundários extraídos de plantas tem se tornado uma alternativa no controle de fitopatógenos com potencial ecológico para substituir ou reduzir o emprego de produtos sintéticos, através da utilização de subprodutos de plantas medicinais como extrato bruto e óleo essencial, por apresentar substâncias com propriedades fungicidas e/ou fungitóxicas em sua composição (Rodrigues et al., 2006; Rufino et al.,

2018), capazes de controlar ou inibir o desenvolvimento do patógenos (Barreira-Necha et al., 2008), por funcionar como indutores de resistência, ativar os mecanismos de defesa da planta, através de moléculas e/ou atuarem como estimulantes do crescimento vegetal (Rodrigues et al., 2006).

Há registro da eficiência de extratos vegetais com potencial na inibição do crescimento e desenvolvimento de distintos patógenos de natureza fúngica que acometem culturas de interesse agrícola, como o extrato do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.), que em condições controladas proporcionou menor crescimento micelial do fungo *F. oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* em sementes de feijão-caupi (Silva et al., 2009). Assim como, os extratos aquosos de cravo-da-índia, alho e canela que em condições controladas têm atividade potencial para o controle dos fungos fitopatogênicos (*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Cercospora kikuchii*, *Colletotrichum* sp., *Fusarium solani* e *Phomopsis* sp) (Venturoso et al., 2011). O crescimento do fungo *Pestalotia* sp. foi totalmente inibido com o emprego do extrato aquoso de anis-estrelado e cravo-da-índia (Peres et al., 2018). O extrato bruto de *Cinnamomum zeylanicum* em altas concentrações apresentou atividade antifúngica significativa sobre os isolados de *Quambalaria eucalypti* (Gomes et al., 2016).

Tem-se relato ainda, do efeito de óleos essenciais no controle de patógenos de plantas e sementes, e sobre a germinação de sementes. Em feijão-caupi, o óleo de *Lippia sidoides* não afetou a germinação das sementes nas concentrações testadas (Silva et al., 2013), o que é desejável. Já o óleo de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) apresentou efeito alelopático, o que inviabilizou seu uso para tratamento de sementes de feijão-caupi (Xavier et al., 2012). O vigor e a germinação das sementes de *Cereus jamacaru* De Candolle, foi beneficiada com o uso dos óleos essenciais de *Cinnamomum zeylanicum* Blume e *Ocimum minimum* L. (Brito et al., 2010). O óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) na concentração 1,5µL mL⁻¹, demonstraram efeito inibitório sobre os fungos *Didymella bryoniae*, *Pyricularia grisea*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii* (Sarmiento-Brum et al., 2014).

Os extratos vegetais e óleos essenciais provenientes de plantas medicinais, especialmente do gênero *Croton*, podem ser utilizados para o controle de patógenos de natureza fúngica que causam doenças em plantas, por apresentar um amplo potencial biológico. O *Croton heliotropiifolius* possui atividades antifúngicas, sua variante apresentou atividade 2 vezes superior ao antifúngico Fluconazol (Brito et al., 2018). Os extratos aquosos das folhas de *C. heliotropiifolius* em teste laboratorial realizado com os fitonematoides, nas concentrações de 0, 25%, 50%, 75% e 100% apresentou resultados positivos quanto à imobilidade com 79,80% e mortalidade de 60,36% dos fitonematoides, sua atividade nematocida pode ser atribuída a metabólitos secundários da planta, como os taninos flobafênicos, flavonas, flavonóis e xantonas e catequinas (Lima et al., 2019). A atividade antibacteriana do *Croton urucurana* Baillon, foi evidenciada em diferentes partes da planta e por diferentes metabólitos secundários (Oliveira et al., 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Extratos vegetais e óleos essenciais derivados de plantas medicinais, a exemplo do *Croton heliotropiifolius*, se apresentam como uma alternativa promissora e ecológica para o controle de fitopatógenos que acometem sementes e culturas de interesse agrícola, além de apresentarem grande potencial para o setor industrial como, farmacêutico, alimentício e cosmético. As pesquisas já realizadas apontam que, a utilização dos extratos vegetais podem trazer benefícios para o potencial germinativo das sementes de feijão-caupi, assim como para a produção da cultura. Neste contexto, é importante ressaltar, que a extração dos compostos bioativos vegetais, mediada pelos métodos de micro-ondas e ultrassom apresenta vantagens em relação aos métodos convencionais, além de serem considerados métodos ambientalmente corretos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb), pelo apoio financeiro. Agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFIT (2017). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROFIT. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons Acesso em: 17 agost. 2020.
- Alencar Filho JMT et al. (2017). Chemical composition and antibacterial activity of essential oil from leaves of *Croton heliotropiifolius* in different seasons of the year. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(-): 440-444.
- Almeida AMR et al. (2014). *Macrophomina phaseolina* em soja. Londrina: Embrapa soja, Documentos 346, 55p.
- Almeida Neto JR et al. (2015). Uso de plantas medicinais em comunidades rurais da Serra do Passatempo, estado do Piauí, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 13(3): 165-175.
- Amorin EPR et al. (2011). Atividade Antibacteriana de Óleos Essenciais e Extratos Vegetais Sobre o Desenvolvimento de *Ralstonia solanacearum* em Mudas de Bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura, Especial*. 33(spe1): 392-398.
- Araújo ER et al. (2014). Extratos de *Piper marginatum* e *Azadirachta indica* no controle de *Colletotrichum scovillei* em pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49 (2): 88-94.
- Araújo FM et al. (2017). Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Croton heliotropiifolius* Kunth from Amargosa, Bahia, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 105(-): 203-206.

- Athayde Sobrinho C et al. (2005). Doenças fúngicas e bacterianas. In: Feijão-caupi avanços tecnológicos (Freire Filho FR, Lima JA de A and Ribeiro VQ, eds.). Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 461-484p.
- Barreira-Necha LL et al. (2008). Efficacy of essential oils on the conidial germination, growth of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz and Sacc and control of postharvest diseases in papaya (*Carioca papaya* L.). Plant Pathology Journal, 7(2): 174-178.
- Barrera CSC et al. (2016). Importancia medicinal del género *Croton* (euphorbiaceae). Revista Cubana de Plantas medicinales, 21(2): 234-247.
- Barros JSG et al. (2015). S. Efeito de extratos de *Allamanda blanchetti* no controle de *Alternaria brassicicola* em mudas de couve-manteiga. Revista Caatinga, 28(3): 36-46.
- Bigaton D et al. (2013). Avaliação da atividade fungicida de extratos e óleos essenciais sobre ferrugem asiática da soja. Revista Ciências Agronômica, 44(4): 757-63.
- Borges DF (2017). Efeito Nematicida de extratos de plantas do Cerrado e óleos essenciais. Universidade Federal de Viçosa (Dissertação), Rio Paranaíba: MG. 37p.
- Brand SC et al. (2010). Extratos de alho e alecrim na indução de faseolina em feijoeiro e fungitoxicidade sobre *Colletotrichum lindemuthianum*. Ciência Rural, 40(9): 1881-1887.
- BRASIL (2007). Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, Decreto nº 5.813 - 22 de junho de 2006, Portaria MS/GM n. 3.237 - 24 de dezembro de 2007.
- Brito NM et al (2010). Efeitos de óleos essenciais na germinação de sementes de *Cereus jamaracu*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 5(20): 207-211.
- Brito SSS et al. (2018). *Croton argyrophyllus* Kunth and *Croton beliotropiifolius* Kunth: Phytochemical characterization and bioactive properties. Industrial Crops and Products, 113(-): 308-315.
- Cavalcanti DFG et al. (2020). Aspectos e potencialidades biológicas do gênero *Croton* (Euphorbiaceae). Brazilian Journal of Development, 6(7): 45931-45946.
- CONAB (2018). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 5 safra 2017/2018, n.5. Quinto levantamento, Brasília, 2018, p. 69-89. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/pdf>. Acesso em: 01/10/2020.
- Cordeiro JMP, Félix LP (2014). Conhecimento botânico medicinal sobre espécies vegetais nativas da caatinga e plantas espontâneas no agreste da Paraíba, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, 16(3): 685-692.
- Costa JC, Marinho MGV (2016). Etnobotânica de plantas medicinais em duas comunidades do município de Piauí, Paraíba, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, 18(1): 125-134.
- Craveiro AC et al. (1981). Óleos Essenciais de plantas do Nordeste. Fortaleza, CE: Edições UFC.
- Devi CB et al. (2015). Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). Journal of Food Science and Technology, 52(10): 6821-6827.

- Di Stasi LC (1996). Química de produtos naturais: principais constituintes ativos. In: Di Stasi, L.C. (Ed.). Plantas medicinais: arte e ciência. Um guia de estudos multidisciplinar. São Paulo: Universidade Paulista. 109-127p.
- Dória GAA et al. (2010). A study of the larvicidal activity of two *Croton* species from northeastern Brazil against *Aedes aegypti*. *Pharmaceutical Biology*, 48(6): 615-620.
- Fernandes DNM (2016). Composição Química, Atividade Antimicrobiana e Antioxidante do Óleo Essencial de *Croton tetradenius* Baill (Euphorbiaceae). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, (Dissertação). Itapetinga, BA. 74p.
- FAO (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em 26 de setembro de 2020.
- Franzener G et al. (2003). Atividade antifúngica e indução de resistência em trigo a *Bipolaris sorokiniana* por *Artemisia camphorata*. *Acta Scientiarum*, 25(2): 503-507.
- Freire Filho FR et al. (2017). A cultura: aspectos socioeconômicos. Feijão caupi do plantio à colheita. Viçosa, MG; UFV. 9-34p.
- Garcia RA et al. (2012). Atividade antifúngica de óleo e extratos vegetais sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. *Bioscience Journal*, 28(1): 48-57.
- Gomes EMC et al. (2016). Composição fitoquímica e ação fungicida de extratos brutos de *Cinnamomum zeylanicum* sobre *Quambalaria eucahypti*. *Biota Amazônia*, 6(4): 54-58.
- Gomes TB, Bandeira FPSF (2012). Uso e diversidade de plantas medicinais em uma comunidade quilombola no Raso da Catarina, Bahia. *Acta Botanica Brasilica*, 26(4): 796-809.
- Gouvea A et al. (2011). Efeito de extratos vegetais em soja sob condições de laboratório e campo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 6(2): 70-78.
- Jung LF (2012). Fungos endofíticos de citros no controle biológico de *Phyllosticta citricarpa*. Programa de Pós-graduação em Genética. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 123p.
- Kobayashi BF, Amaral DR (2018). Efeito de extratos vegetais de plantas do Cerrado para controle de pinta-preta em tomateiro. *Summa phytopathologica*, 44(2): 189-192.
- Li Y et al. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148(-): 80-89.
- Lima CJGS et al. (2007). Resposta do feijão-caupi a salinidade da água. *Revista Verde*, 2(2): 79-86.
- Lima IOE et al. (2016). Comercialização de Plantas Medicinais no Município de Arapiraca-AL. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 18(2): 462-472.
- Lima RS et al. (2019). Extratos aquosos de *Annona* spp. e *Croton heliotropiifolius* sobre *Scutellonema bradyi* e prospecção química dos compostos. *Summa Phytopathologica*, 45(2): 223-224.
- Manousi N et al. (2019). Extraction techniques of phenolic compounds and other bioactive compounds from medicinal and aromatic plants. *Engineering Tools in the Beverage Industry*, 3(-): 283-314.

- Mousinho FEP (2005). Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí. Doutorado em Irrigação e Drenagem Universidade de São Paulo (Tese), Piracicaba. 125p.
- Nicareta C (2019). Potencial antimicrobiano e toxicológico de *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze, Amaranthaceae, e o controle de fungos fitopatogênicos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Tese), Pato Branco. 163p.
- Oliveira IS et al. (2008). Triagem da atividade antibacteriana in vitro do látex e extratos de *Croton urucurana* Baillon. Revista Brasileira de Farmacognosia, 18(4): 587-593.
- Queiroz MMF et al. (2014). Antifungals and acetylcholinesterase inhibitors from the stem bark of *Croton heliotropiifolius*. Phytochemistry Letters, 761(of): 38-93.
- Ramos K et al. (2016). Óleos essenciais e vegetais no controle in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides*. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 18(2): 605-612.
- Ribeiro DA et al. (2014). Potencial terapêutico e uso de plantas medicinais em uma área de Caatinga no estado do Ceará, nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 16(4): 912-930.
- Rocha T et al. (2016). Estimate of genetic diversity in cassutinga (*Croton heliotropiifolius*) based on molecular markers. African Journal of Biotechnology, 15(13): 518-523.
- Rodrigues E et al. (2006). Avaliação da atividade antifúngica de extratos de gengibre e eucalipto in vitro e em fibras de bananeira infectadas com *Helminthosporium* sp. Acta Scientiarum, 28(1): 123-127.
- Rufino CPB et al. (2018). Desafios na utilização do controle biológico de doenças de plantas na amazônia. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, 5(1).
- Santos ABN et al. (2016). Plantas medicinais conhecidas na zona urbana de Cajueiro da Praia, Piauí, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 18(2): 442-450.
- Santos CAB, Silva APM (2015). Extratos vegetais de plantas daninhas contra o pulgão *Aphis craccivora* koch 1854, no feijão *Vigna unguiculata* (L.) walp. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 6(2): 69-75.
- Santos Filho LC (2019). Efeito de extratos de *Croton* spp. sobre *scutellonema bradys* e *pratylenchus* sp. e caracterização fitoquímica de extratos de *C. Heliotropiifolius*. Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas Universidade Federal de Alagoas (Dissertação), Rio Largo. 44p.
- Santos PL et al. (2013). Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. Enciclopédia Biosfera, 9(17): 2562-2576.
- Sarmiento-Brum RBC et al. (2014). Efeito de óleos vegetais na inibição do crescimento micelial de fungos fitopatogênicos. Journal of Biotechnology and Biodiversity. 6 (1): 63-70.
- Silva JAG et al. (2017). Physicochemical characteristics and cytotoxic effect of the methanolic extract of *Croton heliotropiifolius* Kunth (Euphorbiaceae). African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 11(28): 321-326.

- Silva CB (2018). Determinação do potencial alelopático e composição química de extratos vegetais da espécie *Croton heliotropiifolius* Kunth no controle de *Bidens pilosa* (L.) e *Digitaria insularis* (L.) Fedde. Centro de Ciências Agrárias, Programa de Proteção de Plantas Universidade Federal de Alagoas (Dissertação), Rio Largo, 92p.
- Silva EM et al. (2012). Diagnóstico do uso de leguminosas em propriedades rurais no município de Aparecida-PB. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 7(3): 212-217.
- Silva JA et al. (2009). Efeito de extratos vegetais no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp *tracheiphilum* em sementes de caupi. Ciência Agrotecnologia, 33(2): 611-616.
- Silva JAG et al. (2017). Screening Fitoquímico e Avaliação da Toxicidade de *Croton heliotropiifolius* Kunth (Euphorbiaceae) frente à *Artemia salina* Leach. Revista Virtual de Química, 9(3): 934-941.
- Silva JS et al. (2009). O gênero *Croton* (Euphorbiaceae) na Microrregião do Vale do Ipanema, Pernambuco, Brasil. Rodriguésia, v. 60, n. 4, p. 879-901, 2009.
- Silva L et al. (2014). Behavior of *Callosobruchus maculatus* populations fed with *Vigna unguiculata* grain cultivated with diazotrophic bacteria strains. Journal of Entomology, 11(3): 111-126.
- Silva L et al. (2017). Biochemical studies of amylase, lipase and protease in *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) populations fed with *Vigna unguiculata* grain cultivated with diazotrophic bacteria strains. Bulletin of entomological research, 107 (6): 820-827.
- Silva MB et al. (2008). Ação antimicrobiana de extratos de plantas medicinais sobre espécies fitopatogênicas de fungos do gênero *Colletotrichum*. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 10(3):7-60.
- Silva MBO et al (2018). Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. Revista de Ciências Agrárias, 41(-): 1059-1066.
- Silva TI et al. (2017). Efeito larvicida de óleos essenciais de plantas medicinais sobre larvas de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 12(2): 256-260.
- Silva VM et al. (2013). Efeitos dos óleos essenciais na germinação de sementes de feijão-caupi. In: III Congresso Nacional De Feijão-Caupi, 2013, Recife. Anais. Recife: III CONAC.
- Simon JM (2016). Atividade fungitóxica de extratos vegetais e produtos comerciais contra *Diplocarpon rosae*. Summa Phytopathologica, 42(4): 351-356.
- Sousa CBC (2020). Otimização da extração de compostos fenólicos em *Croton heliotropiifolius* Kunth e aplicação do extrato no crescimento do feijão-caupi. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (Dissertação), Cruz das Almas. 68p.
- Sousa CBC et al. (2020). Greener ultrasound-assisted extraction of bioactive phenolic compounds in *Croton heliotropiifolius* Kunt leaves. Microchemical Journal, 159(-): 105525.

- Torres EB et al. (2016). The damage of *Callosobruchus maculatus* on cowpea grains is dependent of the plant genotype. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12): 4276-4280.
- Trindade MJS, Lameira OL (2014). Espécies úteis da família *Euphorbiaceae* no Brasil. *Revista Cubana de Plantas medicinales*, 19(4): 292-309.
- Venturoso LR et al. (2011). Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. *Summa Phytopathologica*, 37(1): 18-23.
- Vizzotto M et al. (2010). Metabólitos Secundários Encontrados em Plantas e sua Importância. Pelotas - Embrapa Clima Temperado, (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 316). 16p.
- Wander AE (2013). Produção e participação brasileira no mercado internacional de feijão-caupi. *Anais, III CONAC- Congresso Nacional de feijão-caupi*, Recife- PE, 1-4p.
- Xavier D et al. (2012). Elaboração, caracterização físico-química, microbiológica e avaliação sensorial de pasta de tomate enriquecida com chia (*Salvia Hispânica* L.). *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 8(2): 1603-1617.
- Zeni ALB et al. (2017). Utilização de plantas medicinais como remédio caseiro na Atenção Primária em Blumenau, Santa Catarina, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22(8): 2703-2712.

Melhoramento Genético do Feijão-fava (*Phaseolus Lunatus*)

Recebido em: 15/04/2022

Aceito em: 17/04/2022

 10.46420/9786558722694cap2

Naysa Flávia Ferreira do Nascimento^{1*} 

Mayana Ferreira do Nascimento² 

Rubens Rangel Rolim³ 

Priscila Alves Barroso⁴ 

Menneky Prudêncio Lisboa da Silva⁵ 

Artur Mendes Medeiros⁶ 

INTRODUÇÃO

O melhoramento de plantas pode ser definido como, Ciência e Arte de manejar efetivamente a variabilidade genética, de modo a atender às necessidades humanas (Borém et al., 2017). Como arte, o melhoramento, está presente na vida do homem desde a descoberta da agricultura, há milhares de anos. Como ciência, a consolidação e entendimento do melhoramento de plantas deu-se, após a contribuição dos clássicos trabalhos realizados por grandes cientistas a exemplo de Camerarius, Mendel, Johannsen, Shull e Borlaug.

Na fase inicial, para domesticação das espécies, os “primeiros melhoristas” tidos como “artistas”, selecionavam as melhores plantas fazendo uso de sua capacidade de observação e intuição. Na espécie *Phaseolus lunatus* L., os primeiros registros na arte do melhoramento datam de 2 milhões de anos na Índia, Brasil, Colômbia, Peru, América Central, México e Estados Unidos (Gutiérrez-Salgado et al., 1995). Como ciência, o melhoramento de *P. Lunatus*, não tem tido prioridade nas políticas governamentais de desenvolvimento de pesquisas e extensão, prejudicando o conhecimento das características agronômicas e potencialidades da cultura (Gomes et al., 2010). Apesar da sua importância, as variedades melhoradas de feijão-fava não foram produzidas para o Brasil e existem poucas informações no País sobre o seu potencial produtivo, frequência de polinização cruzada, variabilidade genética (Penha et al., 2017), interação genótipo x ambiente e métodos de melhoramento.

^{1,3} Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, 12 Rodovia, Pb-79, Areia- PB.

^{2,4,5,6} Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Rodovia Municipal Bom Jesus-Viana. Km 01, s/n Planalto Horizonte, Bom Jesus -PI

Autora correspondente: naysa.flavia@academico.ufpb.br

Reiterando sua importância, a espécie *Phaseolus lunatus* também conhecida como feijão-fava ou feijão de lima possui, 24.709 há sendo mais de 98% dessa produção concentrada na região Nordeste em uma área plantada de 24.307 ha (Ibge, 2018). A cultura é uma das alternativas de renda aos pequenos produtores e alimento para a população, sendo consumida na forma de grãos maduros, verdes e secos (Silva et al., 2015). Também apresenta capacidade de adaptação mais ampla em relação ao feijão-comum, entretanto, seu cultivo não tem grande relevância. Algumas limitações podem ser mencionadas tais como, tradicionalidade de consumo do feijão comum, paladar peculiar, tempo de cocção mais longo, falta de variedades recomendadas para às condições climáticas das regiões produtoras (Santos et al., 2002; Guimarães et al., 2007) e cultivo realizado de forma rústica por pequenos produtores, em hortas ou consorciados (Azevedo et al., 2003).

Tais limitações, tornam-se os principais desafios dos programas de melhoramento a serem desenvolvidos com a cultura. Um dos grandes objetivos do melhoramento genético é a adaptação de genótipos. O genótipo, para ser selecionado em um ambiente, necessita de alelos que se expressem de forma favorável, então o desafio é encontrar combinações alélicas ideais a cada região de cultivo. Este juntamente com a ausência de trabalhos que caracterizam o germoplasma disponível constituem os maiores obstáculos para o incremento da produtividade do feijão-fava, implicando em alta desuniformidade do material cultivado e, conseqüentemente, colhido (Santana et al., 2010).

Os programas de melhoramento atuais buscam a seleção de características e padrões que atendam as demandas da cadeia produtiva, no entanto é necessário que os objetivos sejam bem definidos. Independente da cultura que se está trabalhando, alguns objetivos são comuns a qualquer espécie, pois o melhorista busca alterar características que irão beneficiar tanto o agricultor (produtividade, resistência a doenças e pragas), quanto o consumidor final (qualidade do produto).

Nacionalmente, a produção de grãos de feijão-fava é limitada devido a escassez de trabalhos sobre, o germoplasma disponível, a viabilidade polínica da espécie, a capacidade geral de combinação para hibridação, bem como características presentes nas variedades cultivadas tais como: hábito de crescimento do tipo indeterminado trepador, plantio rústico e em consórcio com outras culturas, suscetibilidade a pragas e doenças (ver capítulo 6), falta de adaptação às condições adversas relacionadas a clima e manejo e diferença na época de maturação. Estes devem ser os objetivos iniciais para a condução de um programa de melhoramento de feijão-fava no País, que visa maior produtividade.

Os programas devem associar entre os critérios de seleção, a preferência do consumidor que incluem: qualidade estética e nutricional dos grãos, tempo de cozimento, diminuição dos teores de ácido cianídrico e aumento da qualidade para processamento. A alta concentração de ácido cianídrico encontrada em feijão-fava é responsável pelo sabor amargo em alguns cultivares, o que conseqüentemente diminui a preferência do mercado consumidor em relação ao feijão comum (Vieira,

1992; Azevedo et al., 2003). A redução de seus teores deve ser um dos objetivos principais para melhoramento da cultura.

Posteriormente a consolidação dos programas nacionais de melhoramento com a cultura, diversos outros objetivos devem ser incorporados, como informações bioquímicas básicas, para o aumento do teor de proteína da semente, manipulação genética dos níveis de inibidores de proteinases; obtenção de cultivares mais adaptadas a sistemas agrícolas intensivos e com fotoperíodo adequado aos vários sistemas agrícolas; genótipos tolerantes a seca, a condições de alta salinidade e a altos teores de alumínio.

O feijão-fava é uma cultura com grande potencial econômico nacional e local, entretanto faltam informações que subsidiem sua exploração e expansão produtiva, afirmando a necessidade do desenvolvimento de pesquisas principalmente nas áreas de genética e melhoramento.

CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA

A família *Fabaceae*, é uma das maiores entre as dicotiledôneas com 643 gêneros e 18.000 espécies amplamente distribuídas por todo o mundo, cerca de 1.500 destas são encontradas no Brasil (Broughton et al., 2003). Economicamente, é uma das famílias mais importantes, pois apresenta ampla distribuição geográfica, sendo constituídas por espécies com alto potencial alimentar como soja (*Glycine max* L.), ervilha (*Pisum sativum*), alfafa (*Medicago sativa*) e os feijões do gênero *Phaseolus* spp. (McClean et al., 2005)

O gênero *Phaseolus* é dividido em: *Angiospermae*, classe *Dycotyledoneae*, subclasse *Archichlamydeae/Rosidae*, ordem *Rosales/Fabales*, subordem *Leguminales*, família *Leguminosae* (*Fabaceae*), subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae* e subtribo *Phaseolineae* (Souza, 2008). Possui cerca de 70 espécies, dentre elas, apenas cinco são domesticadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray e *P. polyanthus* Greenman. Sendo as espécies mais importantes do gênero a *P. vulgaris* L. conhecido como feijão comum, e, *P. lunatus* L. conhecido popularmente como feijão-fava ou feijão lima (Freytag e Debouck, 2002).

O feijão fava (*P. lunatus*), pertence ao grupo Lunatus e todas as demais espécies cultivadas de *Phaseolus* (isto é, *P. vulgaris*, *P. dumosus*, *P. coccineus* e *P. acutifolius*) pertencem ao grupo Vulgaris (Bitocchi et al., 2017). A figura 1 ilustra a relação entre estas espécies, com base na distribuição geográfica das formas selvagens e suas áreas de domesticação presumidas, sistemas de acasalamento, ciclos de vida, tamanhos de genoma e adaptações ecológicas.

		GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF WILD FORMS	PRESUMED DOMESTICATION AREAS	MATING SYSTEM	LIFE CYCLE	GENOME SIZE (Mbp)	ADAPTATION
	<i>P. vulgaris</i> Common bean	 Mesoamerica and South America	Mesoamerica and Andes	Predominantly autogamous	Annual	587	Mesic and temperate
	<i>P. dumosus</i> Year bean	 Mesoamerica	Mesoamerica	Predominantly allogamous	Annual / Perennial	709	Cool and humid
	<i>P. coccineus</i> Runner bean	 Mesoamerica	Mesoamerica	Predominantly allogamous	Perennial	660	Cool and humid
	<i>P. acutifolius</i> Tepary bean	 Southwestern USA to Central Mexico	Mesoamerica	Autogamous	Annual	734	Hot and dry
	<i>P. lunatus</i> Lima bean	 Mesoamerica and South America	Mesoamerica and Andes	Predominantly autogamous	Annual/ Perennial	685	Warm and humid

Figura 1. Relações filogenéticas das cinco espécies de *Phaseolus* domesticadas, juntamente com uma comparação de suas características. Fonte: Bitocchi et al. (2017).

O gênero também possui uma classificação baseada na morfologia floral, inicialmente proposta por Marechal et al. (1978) que reconheceu três secções para o gênero: *Phaseolus*, *Alepidocalyx* e *Minkelersia*, quase uma década depois, Delgado Salinas (1985), sugeriu a classificação em quatro secções: *Chiapasana*, *Minkelersia*, *Xanthotricha* e *Phaseolus* (Debouck, 1999). Silva e Costa (2003), com estudos baseados em polimorfismo de DNA cloroplastidial e nas sequências de DNA genômico confirmaram estas classificações.

Dentro da espécie (*P. lunatus*) várias classificações são encontradas na literatura. Originalmente, a classificação para a espécie foi baseada na dimensão das sementes, proposta por Linnaeus (1753), que sugeriu a denominação, *P. lunatus* para sementes pequenas e achatadas, e *P. inamoenus*, para sementes grandes (Rachie et al., 1980). Em 1926, Piper sugeriu que *P. lunatus* seria a denominação usada para todos os tipos de feijão-fava cultivados. Em concordância, Baudet (1977), admitiu a simplificação e propôs que a forma silvestre fosse denominada *P. lunatus* var. *silvester*, e a cultivada de *P. lunatus* var. *lunatus* (Silva et al., 2010). Genótipos silvestres apresentam hábito de crescimento indeterminado, período prolongado de floração e grande produção de vagens (Zoro bi et al., 2003). Enquanto os genótipos domesticados apresentam hábito de crescimento determinado e período de floração curto e uniforme.

As espécies cultivadas atualmente apresentam ciclo anual, bianual ou perene, germinação do tipo epígea, hábito de crescimento indeterminado ou determinado e folhas geralmente de coloração escura (Beyra; Artiles, 2004; Hardy et al., 1997). As vagens possuem formas diversas, compridas, delgadas, achatadas, curvas, coriáceas, pontiagudas e podem ter de três a dez sementes por vagem, e de coloração bege quando secas. A cor e tamanho do tegumento dos grãos são bastante variáveis dentro da espécie (Azevedo et al., 2003). Embora não observada facilmente em algumas variedades, a característica que distingue os grãos de *P. Lunatus* das outras espécies do gênero, são as linhas emitidas do hilo para o dorso da semente (Vieira, 1992).

ORIGEM E DOMESTICAÇÃO

O gênero *Phaseolus* apresenta-se como modelo para estudos sobre o processo evolutivo das espécies cultivadas, auxiliando no entendimento das alterações fenotípica convergentes que ocorreram durante a origem e domesticação das espécies (Bitochi et al., 2017). O gênero é exemplo único de múltiplos eventos de domesticação paralelos, uma vez que, dentre suas cinco espécies domesticadas, duas espécies *P. Vulgaris* e *P. lunatus* passaram, cada uma, por pelo menos dois eventos independentes de domesticação (Figura 1). A singularidade nesses eventos esta relacionada a: (i) sua recente divergência, e o alto nível de colinearidade e sintenia entre seus genomas; (ii) seus diferentes, ciclos e sistemas reprodutivos que vão desde anuais e autógamas, para perenes e alógamos; e (iii) sua adaptação a diferentes ambientes, não apenas em seus centros de origem, com posterior introdução e dispersão em diferentes países.

Especificamente, a espécie *Phaseolus lunatus* L. possui, indícios do processo de domesticação, datados a mais de 2 milhões de anos (Kaplan; Kaplan, 1988). Para esta espécie o centro de origem e o processo evolutivo, tem sido bastante debatido, sendo uma questão não completamente elucidada.

O trabalho de Vavilov (1926), por meio do método fitogeográfico, e posteriormente, pelos achados arqueológicos na América Central (Zimmermann; Teixeira, 1988), forneceram os valiosos indícios para a origem Americana da espécie. Posteriormente, Mackie (1943) e Vieira (1967) indicaram a Guatemala como único centro de origem para a espécie na América Central, onde são encontradas formas silvestres, trepadeiras e, com sementes leves (5 a 14 gramas/100 sementes). Em 1983, Fornes Manera propôs o Continente Asiático como centro de origem da espécie.

O processo de domesticação de *P. Lunatus* tem início com a disseminação das sementes pelos espanhóis das Américas para as Filipinas, através do Oceano Pacífico, e de lá para a Ásia. A expansão da cultura do Brasil para a África (Evans, 1980) foi facilitada pelo comércio de escravos.

A teoria de Mackie (1943) propõe três principais rotas de dispersão para o gênero, relacionadas às rotas de comércio (Assunção Filho, 2012) corroboram com a figura 1:

- Ramificação Inca direcionada para o sul, atingindo a América Central pela Colômbia, Equador e Peru, sendo as sementes grandes e achatadas, definidas como grupo grande.

-Ramificação Hopi, é a rota que parte para o norte, atingindo os Estados Unidos por meio de Yuma no Arizona, região de clima frio, nesta ramificação as sementes são caracterizadas por serem de dimensão média e achatadas, definidas como grupo intermediário.

- Ramificação Caribe, consiste na rota que segue para o leste, atingindo as Antilhas e, parte para o norte da América do Sul, o clima desta região é seco desde Yucatán até as Antilhas, as sementes dispersadas são pequenas e globosas, definidas como grupo pequeno.

A hipótese proposta por Mackie (1943), é bastante controversa. Baseada em evidências arqueológicas, na variação das características morfológicas das sementes, em dados ecológicos e moleculares, Baudoin (1988), Debouck et al. (1989), Brink e Belay, (2006), propõem a domesticação da espécie baseada em dois processos: seleção para sementes com morfotipo “grande” (70 a 116 g para 100 sementes) pertencente ao centro de domesticação Andino, restrito às regiões dos Andes, que vai do norte do Peru até o Equador e em poucas regiões no Chile e na Bolívia enquanto os morfotipos “intermediário” (50 a 70 g para 100 sementes) e “pequeno” (35 a 50g para 100 sementes) pertencem ao centro de domesticação Mesoamericano, distribuído na região México-Guatemala, se estendendo a algumas ilhas do Caribe e em determinadas regiões no Panamá.

Outros estudos, baseados em dados de distribuição geográficas, análises bioquímicas de proteínas das sementes (Gutiérrez-Salgado et al., 1995), e polimorfismos de DNA nuclear e de cloroplasto moleculares (Caicedo et al., 1999; Fofana et al., 2001; Serrano-Serrano et al., 2010; Andrueza-Noh et al., 2013), das formas selvagens e cultivadas da espécie, corroboram com a existência dessa divisão evolutiva.

Estudos recentes de Motta-Aldana et al. (2010) baseados em análises de DNA de cloroplasto e polimorfismos ITS (espaçador interno transcrito) em uma amostra de acessos selvagens e cultivados feijão-fava, observaram uma severa redução da diversidade genética atribuída a domesticação, tanto nos reservatórios gênicos mesoamericanos como andinos; em particular, a perda de diversidade apareceu mais forte de acordo com dados de DNA de cloroplasto (100%, 92,1%), para os reservatórios genéticos mesoamericanos e andinos, respectivamente) do que para os dados de ITS (46,6%, 58,5%, respectivamente).

Além da erosão genética, como consequência do processo de domesticação as plantas cultivadas apresentam um conjunto de caracteres que as distinguem dos seus ancestrais selvagens ("síndrome de domesticação") (Harlan, 1992). As principais modificações para feijão-fava foram: produção de vagens e sementes maiores, variação no formato e coloração das sementes; redução da dormência e das substâncias tóxicas das sementes, perda do mecanismo de dispersão natural, mudanças no hábito de crescimento e redução no ciclo reprodutivo (Baudoin et al., 1988).

CITOGENÉTICA

As espécies do gênero *Phaseolus* são todas diplóides, cujo número cromossômico predominante é $2n=22$, por vezes, o número cromossômico, pode variar, ocorrendo espécies com $2n=20$, *P. leptostachyus*, *P. micranthus*, e *P. macvaughii*, consideradas aneuplóides (Delgado-Salinas, 1998). O cariótipo do gênero tem como características, tamanho pequeno, estrutura simétrica e predominância de cromossomos metacêntricos e submetacêntricos, confirmados através de coloração convencional (Mercado-Ruaro; Delgado-Salinas, 2009; Moscone et al., 1999). As análises cariotípicas realizadas por Mercado-Ruaro e Delgado-Salinas (2000), em espécies selvagens do gênero *Phaseolus* confirmaram o número básico de cromossomos descrito acima, nas espécies que apresentam aneoploidia esses autores sugerem a ocorrência além da redução do número de cromossomos, de inversões e translocações que alteraram a posição do centrômero das espécies analisadas.

Na análise com a técnica de bandeamento C, a espécie *P. lunatus* apresentou bandas de heterocromatina nas regiões terminais (Mok;Mok, 1976; Moscone et al., 1999). Os cromossomos de *P. lunatus* revelaram regiões heterocromáticas ricas em bases GC (banda CMA) na região organizadora de nucléolo (RON) e regiões heterocromáticas ricas em bases AT (banda DAPI) nas regiões pericentroméricas, através da coloração CMA/DAPI. Uma parte dos pares cromossômicos de *P. lunatus* apresentaram tamanhos, morfologias e bandas CMA similares, e outros três pares cromossômicos se apresentaram diferentes dos demais (Moscone et al., 1999).

A análise de 17 acessos de *P. lunatus* mostrou uma variante, ocorrendo uma duplicação do sítio de rDNA 5S em apenas quatro acessos provenientes de um único município do Brasil (Almeida; Harand, 2010). Moscone et al. (1999) observou em uma cultivar da mesma espécie a presença de um sítio de rDNA 5S e um sítio de rDNA 45S. Pedrosa-Harand et al. (2006), sugere a partir destes que esses sítios se encontram praticamente estáveis, diferentemente do que foi encontrado para *P. vulgaris*.

As informações citogenéticas para espécie precisam ser melhor elucidadas, seu conhecimento é essencial para compreensão das relações filogenéticas entre os táxons, espécies e gêneros (Stebbins, 1971; Guerra, 2000), sendo uma ferramenta importante para auxílio na análise do tipo de reprodução, da estabilidade do genótipo desenvolvido, avaliação genômica em híbridos interespecíficos, introgressão de genes ou segmentos cromossômicos, mapeamento físicos dos cromossomos e análise do padrão de inserção de transgenes (Zimmermann e Teixeira, 1996), os programas de melhoramento de plantas, podem fazer uso dessas informações nas suas diferentes fases de execução.

Diante as informações até o momento obtidas para a espécie, seu pool gênico está organizado em conjuntos gênicos primário, secundário, terciário e Quaternário (Baudoin, 2001; Pathania et al., 2014) Figura 2.

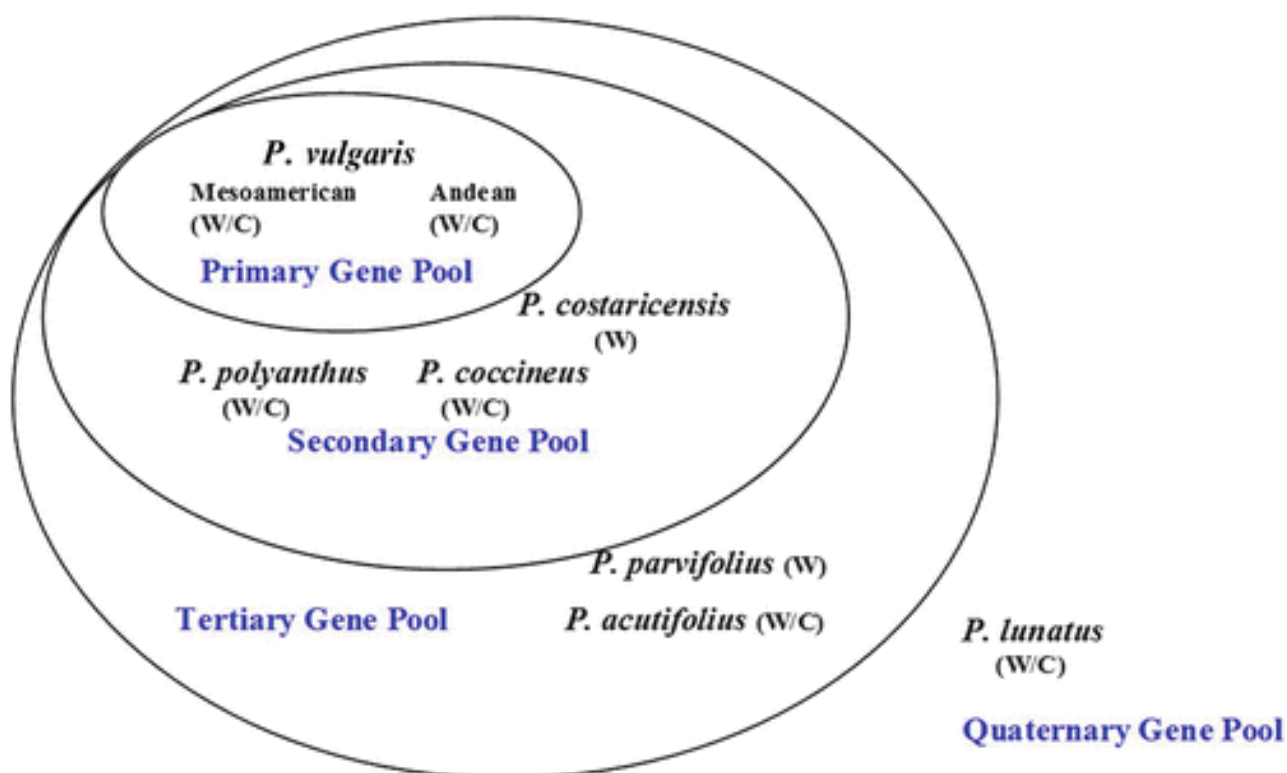


Figura 2. Organização do background genético de *Phaseolus*. Fonte: Pathania et al. (2014).

No pool gênico primário: o fluxo gênico é relativamente livre e a progênie obtida geralmente é fértil, compreende espécies silvestres e domesticadas (Baudoin et al., 2004). Pool secundário: incluem espécies em que o fluxo gênico é possível, entretanto a progênie obtida pode apresentar variação nos níveis de fertilidade e esterilidade, a compatibilidade cromossômica pode ser pouca ou inexistente, o híbrido pode ser estéril não ocorrendo gerações subsequentes, inclui as espécies da América do Sul. O pool terciário: em geral incluem espécies pouco aparentadas em outros gêneros, ou espécies pouco relacionadas do mesmo gênero, o fluxo gênico é difícil, com necessidade de restauração da fertilidade dos híbridos gerados, inclui as espécies distribuídas pelo EUA e/ou México (Debouck, 1999; Delgado-Salinas et al., 1999). O pool gênico quaternário é o mais isolado quando comparado as demais espécies do gênero, o fluxo gênico é difícil, inclui as formas silvestres e domesticadas de *P. Lunatus*.

O conhecimento sobre o complexo gênico associados ao conhecimento da biologia floral da espécie, permite organizar a diversidade genética de forma a estimular a sua utilização, possibilitando a ampliação sobre o conhecimento da base genética, maximizando os ganhos de seleção, melhorando a atuação das espécies no melhoramento genético (Camarena, 2005; Silva; Costa, 2003).

BIOLOGIA FLORAL

O conhecimento do sistema reprodutivo das espécies a serem melhoradas é de fundamental importância para determinação do método de melhoramento que será utilizado para o desenvolvimento de novas cultivares (Valls, 2007; Poehlman, 2013), a morfologia floral bem como a taxa de cruzamento deve ser estudada nas etapas iniciais dos programas de melhoramento para conhecimento de parâmetros genéticos de uma espécie a serem utilizados para sua conservação ou melhoria (Penha et al., 2017).

P. lunatus L. é uma espécie plurianual, autocompatível, apresentando um sistema misto de cruzamento, comportando-se alternadamente como autógama ou alógama, sendo considerada predominantemente autógama, com taxa de cruzamento natural variando entre 2% a 48% (Baudoin, 1988; Zoro Bi et al., 2005; Hardy et al., 1997). Entretanto, a produção diária de flores por planta é grande, aumentando a atratividade dos polinizadores devido a maior disponibilização de néctar. A abelha (*Apis mellifera*) é o principal agente polinizador da espécie (Hardy, 1997), a presença de agentes polinizadores associadas às variações no tamanho da população, nos genótipos avaliados, na morfologia e fenologia das flores, contribuem para alteração das taxas de cruzamentos naturais (Penha et al., 2017). Provavelmente muitas das variedades cultivadas são originadas de um processo natural de hibridação, uma vez que ao pousar nas assas florais os insetos polinizadores as pressionam, forçando o estigma e o estilete a projeta-se para fora da quilha, o estigma continua receptivo por horas (Baudoin, 1988).

A espécie apresenta algumas adaptações fenológicas que favorecem a autofecundação, a exemplo, da maturação sincronizada de grãos de pólen e estigma, a posição dessas estruturas dentro da quilha no momento da liberação do grão de pólen e abertura floral no momento da deiscência da antera (Webster et al., 1979; Silva et al., 2010). De acordo com a morfologia floral, é considerada hermafrodita, com inflorescências compostas, axilares, em flores dispostas em cachos (Figura 3 A), apresentando variação no número e tamanho dos botões (Beyra; Artiles, 2004; Silva, 2019). A cor da corola varia desde o branco até o roxo, sendo esta última coloração dominante sobre a branca. O ovário é unilocular, apresentando 2 a 3 óvulos, o androceu é formado por dez estames diadelfos com anteras do tipo bitecas, dorsifixas com deiscência longitudinal envolvidas por uma quilha (Figura 3B) (Souza et al., 2015). A viabilidade polínica é considerada alta, com cerca de 90% de grãos de pólen viáveis (Lopes et al., 2010). Entretanto, esta viabilidade pode reduzir ao longo do dia, a depender também dos acessos utilizados, chegando a menos de 80% nas horas mais quentes do dia (Souza et al., 2015; Silva, 2019).

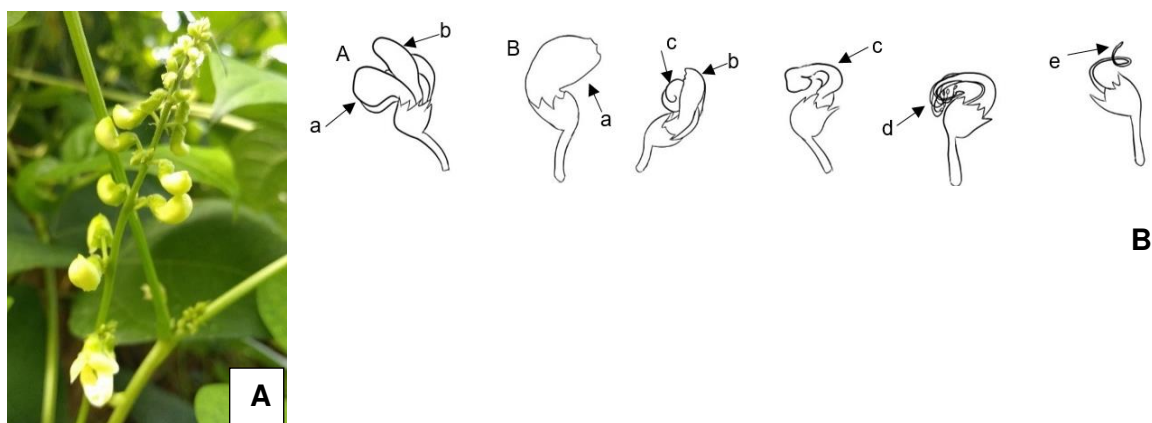


Figura 3. Morfologia floral de *Phaseolus lunatus*. A) Botões florais dispostos em cachos. B) Estruturas florais a: Asa, b: estandarte; B: botão floral; c: quilha; d: estruturas reprodutivas (estigma e anteras); d: antera; e: estigma. Ilustração: Menneky Prudêncio Lisboa da Silva.

O modo de reprodução é razoavelmente bem conhecido para a maioria das espécies de importância agrícola. Esta informação é, entretanto, incompleta, em maior ou menor grau, especialmente no concernente à taxa de cruzamento natural, nas diferentes condições de ambiente (Silva et al., 2010). Para a condução eficiente de um programa de melhoramento é necessário a determinação das taxas de cruzamentos para a área em questão, na qual o programa será conduzido, possibilitando delinear estratégias de seleção, conhecer a diversidade genética para melhor aproveitamento da variabilidade disponível, estabelecendo o tamanho amostral para a conservação desta. Penha et al., (2017) analisaram 14 acessos de feijão-fava pertencentes ao Banco de Germoplasma da UFPI, por meio de dez marcadores microssatélites para estimar as taxas de cruzamento natural e diversidade genética em *P. Lunatus* no Brasil. Os autores observaram taxa de cruzamento de 38,1%, proporção de autofecundação de 61,9%, o número médio de polinizadores efetivos por plantas foi de 1,12, esses dados corroboram com a hipótese de um sistema misto de cruzamento predominantemente autógamo. No que diz respeito, a diversidade genética observou-se: o número de alelos por loco de 6,10, a porcentagem de locos polimórficos de 30%, e a heterozigosidade observada que foi de 0,077, indicando alta variabilidade genética nessas populações.

A morfologia floral do feijão-fava é bem conhecida, entretanto trabalhos sobre o sistema reprodutivo das variedades cultivadas no país são raros. Recentemente, Jesus et al. (2018) estudaram a viabilidade do pólen em 9 acessos de feijão-fava nas condições ambientais de Teresina-PI, utilizando diferentes metodologias. Os autores encontraram viabilidade do pólen entre 74 a 98% variando entre genótipos e entre os corantes utilizados (Figura 4). Nas condições ambientais do Sul do estado do Piauí, em Bom Jesus, Silva (2019), também encontraram diferenças genotípicas para dois acessos com média de 86,5% de pólen viáveis.

Além da viabilidade polínica, o sucesso da reprodução está relacionado a receptividade do estigma. Em fava, a receptividade do estigma é, em média de, 80% nas primeiras horas do dia, decrescendo com o passar do tempo podendo chegar a 40% entre 12:00 às 14:00h (Silva, 2019), o que pode comprometer o processo reprodutivo. Entretanto, o autor encontrou correlação positiva e significativa entre a viabilidade do pólen e a receptividade do estigma em feijão-fava indicando que o estigma se encontra receptível ao mesmo momento que o pólen se encontra viável. No melhoramento genético é importante considerar este efeito, pois além de facilitar a autogamia, é determinante para definir estratégias de hibridação.

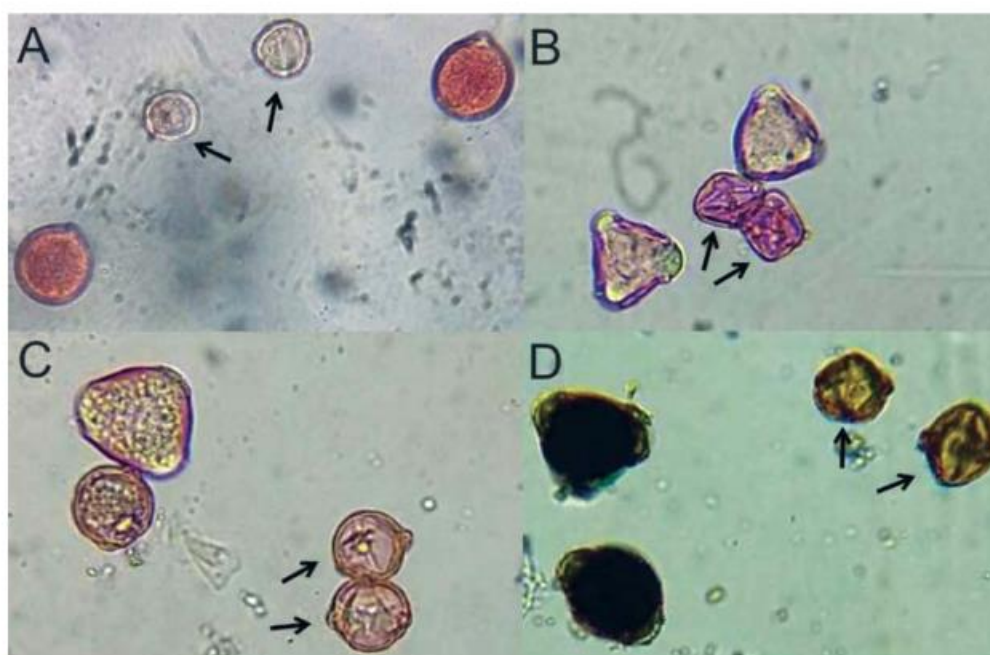


Figura 4. Grãos de pólen submetidos a diferentes métodos de coloração. A: carmim acético 2%; B: orceína acética 2%; C: lugol; D: fucsina básica. Setas indicam grãos de pólen inviáveis. Fonte: Jesus et al., (2018).

Esses estudos auxiliam no conhecimento das barreiras genéticas e morfológicas à hibridação na espécie (Souza et al., 2015) e devem ser aprofundados em feijão-fava.

HIBRIDAÇÃO

A hibridação é um fator importante na evolução das plantas, no desenvolvimento de combinações genéticas específicas e como mecanismo de especiação, sendo útil no cultivo de plantas como forma de inserir um atributo desejável, resultando em um novo cultivar de interesse agrônomo (Cruz et al., 2011; Nascimento et al., 2015).

Em feijão-fava, a hibridação artificial é um processo trabalhoso e delicado (Ramalho et al., 2012) devido principalmente a morfologia floral das espécies. É importante garantir que as estruturas

reprodutivas (estigma e anteras) não sofram danos e que não haja comprometimento da fixação dos botões ao racemo (Freire Filho et al., 2005)

A hibridação deve ser realizada nas primeiras horas do dia, horário de maior viabilidade polínica e maior receptividade do estigma. Inicialmente deve-se definir os botões florais a serem emasculados, estes devem estar na fase de pré-antese, não devendo ocorrer, danos no estigma e estilete durante o manuseio do mesmo (Myer, 1996; Freire Filho et al., 2005). Para auxiliar na emasculação pode ser utilizado pinça de aço reta ou curva, com pontas finas, permitindo a abertura do botão floral. Deve-se abrir o estandarte e as outras partes florais (desenrolando a quilha), até os órgãos reprodutores masculinos e femininos serem expostos, e em seguida, retira-se todas as anteras, sempre com cuidado para não comprometer a estrutura do botão floral (Vieira, 1967). A polinização é executada conduzindo o grão de pólen da planta doadora para o estigma da flor receptora. Silva (2019), recomenda utilizar botões em pré antese como doador de pólen, pois, em estudos sobre viabilidade polínica os grãos de pólen mostraram-se mais viáveis em comparação a flores após a antese. Entretanto, existem relatos que o pólen permanece viável por 12 a 15 horas após a antese, podendo utilizar uma flor para quatro a cinco botões emasculados (Myer, 1996; Freire Filho et al., 2005) ficando a critério do melhorista. Um esquema prático, para realização de cruzamento em feijão fava, pode ser visualizado na Figura 5.

A polinização manual em *Phaseolus*, bem como na maioria das espécies autógamas, requer maior disponibilidade de mão de obra treinada, condições ambientais favoráveis e entre outros fatores que têm restringido os trabalhos e o sucesso dos programas de melhoramento com hibridação na espécie. Souza et al. (2015) testou quatro métodos de hibridação artificial na Universidade Federal do Piauí, em feijão-fava, tendo realizado 1156 cruzamentos manuais entre os genótipos G25165, G26200, provenientes do Centro Internacional de Agricultura Tropical, na Colômbia e UFPI-728 coletada na Paraíba e obteve menos de 3% de pegamento. Em outro estudo realizado na mesma universidade, 140 cruzamentos artificiais envolvendo cinco genótipos promissores e contrastantes de feijão-fava foram testados, porém nenhum cruzamento obteve sucesso, observando porcentagem de abscisão de 100%. Os mesmos cruzamentos foram realizados na Universidade Federal do Norte Fluminense -UENF, não obtendo sucesso.

Este problema é ainda maior, quando se trata de cruzamentos interespecíficos. Não tem sido reportado híbridos interespecíficos naturais envolvendo *P. lunatus* (Baldoin et al., 2004). Além disso, a tentativa de cruzamentos artificiais entre *P. lunatus* e *P. vulgaris* também não têm gerado híbridos viáveis e férteis (Mok et al., 1978; Kuboyama et al., 1991; Almeida, 2006). Algum sucesso de cruzamento artificial entre *P. lunatus*, *P. vulgaris*, *P. coccineus* e *P. acutifolius* foi descrito utilizando cultura de embriões, porém com viabilidade muito baixa (Lyman, 1980) e através de retrocruzamento utilizando como parental *P. vulgaris* (Yarnell, 1965). Este fato é explicado pela posição distinta de *P. lunatus* dentro da taxonomia do gênero conforme visto na Figura 1 e Figura 2 deste capítulo.

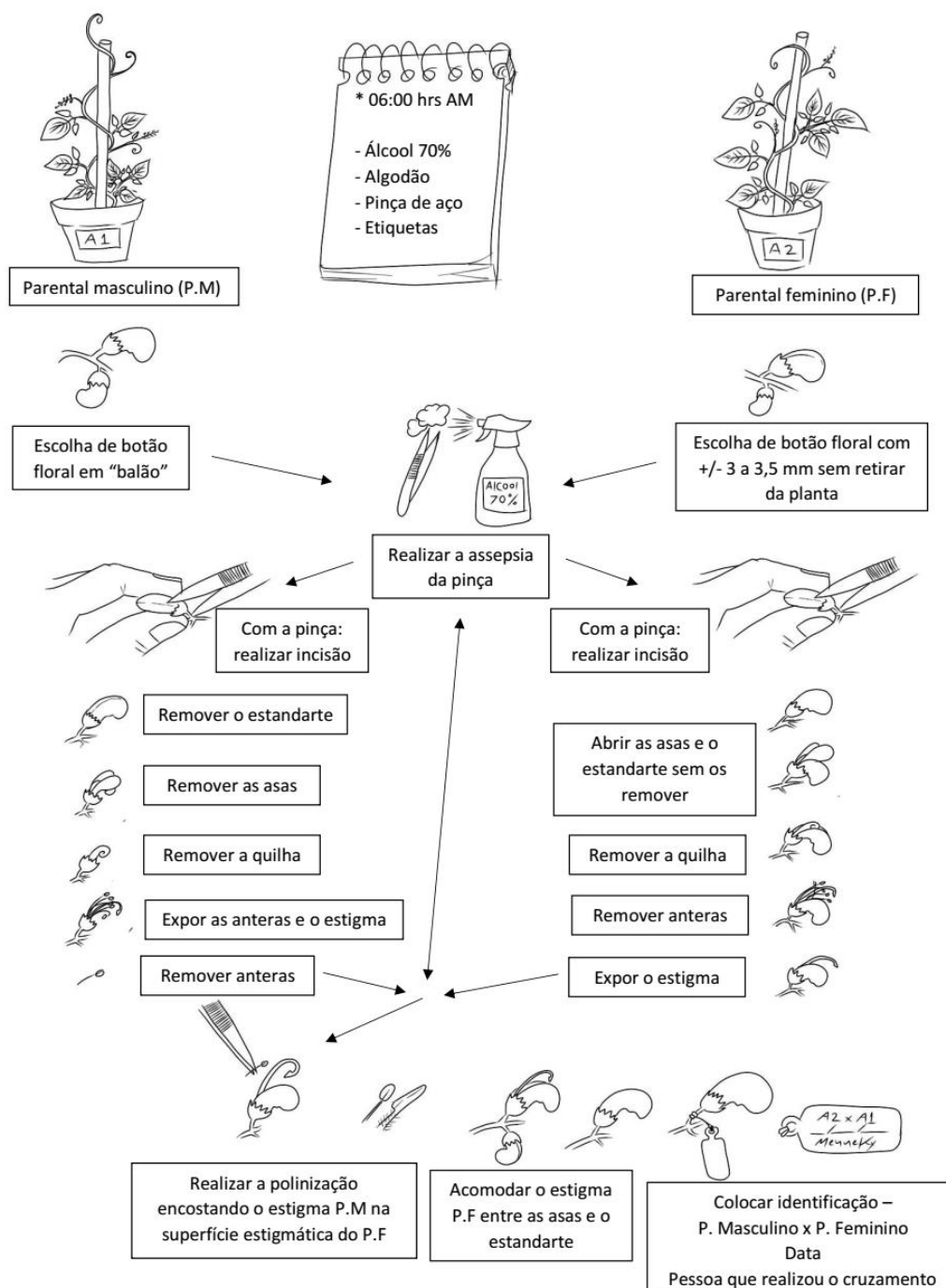


Figura 5. Esquema de cruzamentos utilizados em feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) cultivadas em ambiente protegido na Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus-PI. Ilustração: Menneky Prudêncio L. da Silva.

O uso comercial de variedades híbridas no Brasil é desconhecido, até o presente momento, existem apenas teste realizados com híbridos no programa de melhoramento da Universidade Federal do Piauí em Teresina. No exterior, porém, principalmente nos Estados Unidos, a hibridação já vem sendo utilizada em larga escala nos programas de melhoramento como será visto posteriormente neste capítulo.

Em uma tentativa mais racional para direcionar os cruzamentos e obter sucesso, estudo citogenéticos foram realizados a fim de observar e mensurar os padrões de heterocromatina constitutiva, como forma de diferenciação dos genótipos e ordenação de cruzamentos intraespecíficos (Andrade, 2018). Espera-se, que em breve a hibridação artificial seja utilizada e explorada com mais eficiência nos programas de melhoramento nacionais.

BANCOS DE GERMOPLASMA

A distribuição da diversidade existente na espécie, principalmente nos países que constituem o novo mundo, também é pouco entendida (Salgado et al., 1995). O primeiro trabalho de relevância sobre a quantificação e distribuição da diversidade existente em *P. Lunatus* foi realizado por Vavilov em 1926, que indicou a América, especificamente o México e a América Central, como centro de diversidade do gênero, devido à grande variabilidade de formas (Vavilov, 1926) e cores observadas nestas regiões.

Os Bancos de germoplasma são a base física do patrimônio genético que reúnem o conjunto de materiais hereditários de uma espécie (Valois et al., 1996). O germoplasma disponível representa a matéria-prima indispensável ao melhoramento genético vegetal, para o desenvolvimento de variedades mais produtivas, resistentes a pragas e doenças, tolerantes a estresses abióticos e melhor adaptadas às regiões de cultivo (Ramalho et al., 2004). A conservação desse material tem atraído a atenção não só de melhoristas, mais dos governantes, para orientar as políticas de conservação, pois estes são os reservatórios de alelos para o desenvolvimento da agricultura, com resultados a curto, médio e longo prazo (Nass, 2007).

A conservação da diversidade genética de *P. lunatus* L., em bancos de germoplasma ocorre principalmente nos Estados Unidos (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA), México (Instituto Nacional de Pesquisa Florestal, Agrícola e Pecuária - INIFAP) e Colômbia (Centro Internacional de Agricultura Tropical- CIAT). O CIAT, mantém maior coleção de germoplasma de feijão do mundo, com cerca de 25.000 acessos, destes, 3.305 acessos são de feijão-fava. Todos os materiais mantidos pelo CIAT estão disponíveis para consulta na plataforma *on line* <https://genebank.ciat.cgiar.org/genebank/bsearchparam2.do>, nela é possível obter informações de todos os acessos entre linhas melhoradas e variedades tradicionais. A atual política de obtenção de sementes do CIAT pode ser encontrada no site <https://genebank.ciat.cgiar.org/genebank/beancollection.do>.

No âmbito nacional, a Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Cenargen), em Brasília, é a detentora da principal coleção de feijão-fava. São 363 acessos conservados e cadastrados no portal Alelo (<http://alelo.cenargen.embrapa.br/>), disponibilizando dados de passaporte do material genético tais como: forma e local de obtenção, data da coleta e registro fotográfico. Essa coleção ativa está aberta para

atendimentos a intercâmbios, materiais da coleção já foram cedidos para diferentes instituições de pesquisa: University of California-Davis (2013), Universidade Federal do Rio de Janeiro - Museu Nacional (2015) e Universidade Federal do Piauí em 2016 (Moraes et al., 2017).

Na Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portela, Teresina, está instalado um Banco Ativo de Germoplasma de feijão-fava, este foi implantado em 2005, e conserva atualmente mais de 200 acessos de variedades crioulas, obtidas em comunidades agrícolas, feiras e mercados, por meio de expedições de coleta, além de acessos obtidos de Bancos de Germoplasma dos Estados Unidos e México. Recentemente, duplicatas de alguns desses acessos, além de novos materiais estão mantidos no *Campus* Cinobelina Elvas da Universidade Federal do Piauí; Na Universidade Federal de Viçosa (UFV – MG), no Banco de Germoplasma de Hortaliças, encontram-se variedades tradicionais de feijão-fava do Brasil, além de duplicatas do Cenargem; Na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, são conservados acessos obtidos de coletas e também de intercâmbio com outras instituições; A Universidade Federal da Paraíba em Areia, por meio de coletas na região, também têm conservado variedades tradicionais.

Ainda na Paraíba, acessos de feijão-fava são encontrados na associação denominada Sementes da Paixão, famílias de todo o estado vêm criando e mantendo bancos de sementes familiares. Nesses bancos, toda a riqueza está armazenada em silos, garrafas pets ou em latões, sob a bênção dos santos prediletos. As famílias agricultoras se organizam também em bancos de sementes comunitários, trabalho coordenado pela Comissão de Sementes do Polo da Borborema, desde 1995, para preservar as sementes e garantir a autonomia no momento do plantio. Atualmente são mais de 60 bancos de sementes que envolvem mais de 1.900 famílias. Este tipo de armazenamento de sementes e conservação do germoplasma, é muito comum em todo o nordeste brasileiro.

Diversidade genética de *P. Linatus* também pode ser encontrada em outros bancos nacionais e internacionais, tais como: Estação Experimental Agropecuária Salta (Argentina); Instituto de Investigação Agrícola El Vallecito e Universidade Autónoma Gabriel René Moreno (Bolívia); Faculdade de Ciências Agrárias e Universidade Austral de Chile (Chile); Centro Agronômico Tropical de Investigación e Enseñanza (CATIE) e Escola de Biología (Costa Rica); Instituto de Investigaciones Fundamentales em Agricultura Tropical (INIFAT) (Cuba); Estação Experimental Portoviejo, INIAP (Equador); Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC) e Universidade de San Carlos (Guatemala); Ciências Agropecuárias e Instituto de Ecología Aplicada de Guerrero (INEAGRO) (México); Estação Experimental Agropecuária La Molina, Universidade Nacional Hermilio Valdizán (UNHEVAL) e Universidade Nacional Agrária La Molina (Peru) (Knudsen, 2000); Universidade Federal de Alagoas (UFAL); Instituto Federal do Ceará (IFCE) e atual Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER)

Esses bancos de germoplasma de diversas Instituições de Pesquisas e Universidades do país, além das sementes armazenadas por produtores e associações, são de fundamental importância para os programas de melhoramento por serem um reservatório de recursos genéticos das espécies de interesse agrícola (Borém et al., 2017). O conhecimento da variabilidade disponível na espécie permite determinar o critério e a intensidade da seleção, para definição dos genitores a serem utilizados nos cruzamentos, podendo-se assim maximizar a heterose (Souza, 2001), definir o método de condução de populações segregantes, assim como determinar ideótipos de plantas com características desejáveis (Borém et al., 2017).

O conhecimento dessa variabilidade, passa primeiramente pela caracterização e avaliação do germoplasma disponível. A caracterização das sementes que chegam aos bancos de germoplasma, geralmente são o primeiro passo para o conhecimento do material genético a ser armazenado e muitas vezes utilizados em programas de melhoramento. O peso de 100 sementes é um dos descritores morfológicos mais importante para *P. lunatus* por estar relacionado ao grupo gênico da espécie (Moraes et al 2017), (Figura 6). Por este motivo, a caracterização de sementes de feijão fava armazenadas em bancos de germoplasma tem sido reportada por vários autores (Santos et al., 2002; Nobre et al., 2012; Souza et al., 2016; Barroso et al., 2019), além de estarem disponíveis em plataformas como a do CIAT e da EMBRAPA- Cenargen.

Recentemente, a Embrapa lançou um catálogo com vários acessos de feijão fava armazenados no GAG- Fava na EMBRAPA- Cenargen e utilizados em projetos de pesquisa e extensão envolvendo a espécie (Moraes et al., 2017). Espera-se que esta publicação seja de valia para pesquisadores e instituições que realizam pesquisas de campo, ações e projetos envolvendo a conservação e o manejo da rica diversidade de *Phaseolus lunatus* L.

A definição das características a serem avaliados devem ser capazes de descrever, identificar e diferenciar os acessos dentro de espécies, classes ou categorias (Vicente et al., 2005), além de auxiliar na seleção de genitores, a fim de explorar a heterose, e obter cultivares que atendam às necessidades de mercado (Mattos et al., 2010), e fazem parte da etapa de pré melhoramento dos programas. Em *P. Lunatus* estas informações são baseadas em características agronômicas, morfológicas, bioquímicas, citogenéticas e/ou moleculares (Nass, 2007).

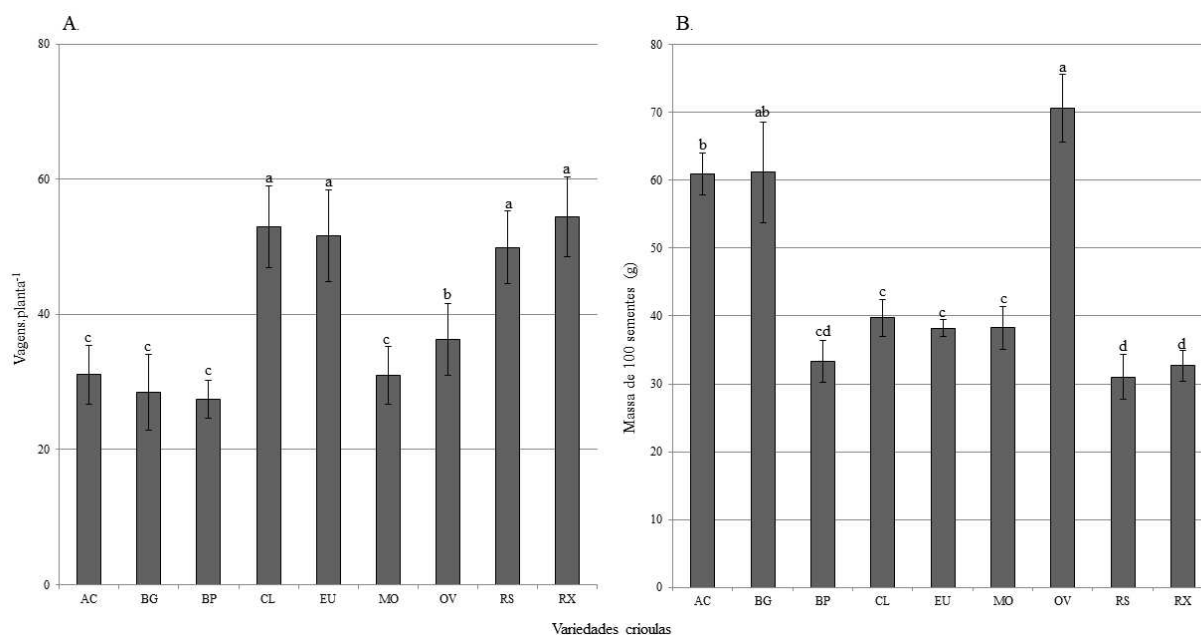


Figura 6. Valores médios do número de vagens por planta (NVP) (A) e peso de cem sementes (M100) (B) de nove variedades crioulas de feijão-fava (AC: Amarela Cearense, BG: Branca Grande, BP: Branca Pequena, CL: Cara Larga, EU: Eucalipto, MO: Moita, OV: Orelha de Vó, RS: Rosinha e RX: Roxinha). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatísticas através do teste de Bonferroni a 5% de probabilidade. Fonte: Silva et al., 2017.

PROGRAMAS DE MELHORAMENTO

Os programas de melhoramento atuais buscam a seleção de características e padrões que atendam as demandas da cadeia produtiva. Características como: produtividade, hábito de crescimento resistência, precocidade, devem estar associadas, as preferências do mercado consumidor que incluem, a qualidade estética e nutricional dos grãos, tempo de cozimento, diminuição dos teores de ácido cianídrico e aumento da qualidade para processamento.

Por volta de 1900 nos Estados Unidos da América (EUA), foram introduzidas tecnologias mecânicas e industriais para aumentar a produtividade na agricultura, que estimularam o desenvolvimento de cultivares de feijão-fava precoces com hábito de crescimento determinado, com uniformidade produtiva (maturação, altura e tamanho de grãos), tolerantes a seca, resistentes a nematoides causadores das galhas-das-raízes, ao míldio pulverulento e também foram incorporados nos tipos hortícolas (Vieira, 1992; Silva et al., 2010).

Em 1920, 800 linhagens de feijão-fava do EUA, foram introduzidas no Egito, devido à facilidade de desenvolvimento em diferentes tipos de solo e climas, resistência a ferrugem, a insetos, além da tolerância a seca, e se adaptaram muito bem ao novo ambiente (Correa, 1969; Yayama, 1982). Cultivares originalmente desenvolvidas para os EUA, também foram utilizadas para iniciar programas de melhoramento no México, Filipinas, Zâmbia, Gana, Nigéria, entretanto, estas demonstraram baixo

desempenho, para alguns caracteres como crescimento determinado e produtividade (Baudoin, 1998). Destes, apenas o Instituto Internacional da Agricultura Tropical (IITA) Programa da Nigéria, conduzido de 1975 a 1980, obteve resultados satisfatórios. Em 1978 dez cultivares do IITA foram introduzidas na Amazônia para seleção de indivíduos com melhor desempenho (Yayama, 1982).

Posteriormente, programas foram iniciados em Madagáscar e no Peru, com o subgrupo de grãos maiores. Nestes o objetivo foi obter cultivares com hábito de crescimento indeterminado e com ciclo de 120 a 300 dias (Baudoin, 1998; Lioi; Galasso, 2002).

Mundialmente, os avanços continuam, em 2018, a Universidade de Delaware, localizada no Nordeste dos EUA, avaliaram mais de 80 linhagens recombinantes de feijão-fava, algumas, desenvolvidas em parceria com a empresa ADM Seedwest. O principal método de melhoramento utilizado é a hibridação e condução de populações segregantes por meio do método Genealógico, as populações segregantes avaliadas são resultados das recombinações entre os grupos comerciais conhecidos como “Baby Lima”, “Fordhook Lima” e “Pole Limas” (Figura 7). Novas cultivares estão sendo desenvolvidas principalmente buscando maior rendimento, maturidade, qualidade e resistência a doenças sob condições de cultivo do Estado de Delaware (Ernest; Johnson, 2018).

Na Universidade da Califórnia em Davis, região famosa por ser grande produtora de grão secos de feijão-fava, vários projetos têm sido desenvolvidos, envolvendo hibridação, avaliação de populações segregantes, retrocruzamentos e avaliação de linhagens endogâmicas recombinantes (RILs). Os cruzamentos atuais estão se concentrando em fenótipos com sementes grandes, de alta produtividade com resistência aos insetos pragas do gênero *Lygus* (Palkovic et al., 2016). O intercâmbio de material genético entre esse programa e o da Universidade Delaware possibilitou o desenvolvimento de variedades resistentes a nematoide.

No Brasil, os programas de melhoramento se encontram em fase inicial, conhecida como “pré-melhoramento”, sendo encontrada apenas uma variedade registrada no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), porém ainda não disponibilizada para comercialização. A literatura Brasileira é escassa sobre o melhoramento de feijão-fava no que diz respeito a utilização e indicação de métodos de melhoramento e avaliação de populações segregantes. Os poucos estudos com melhoramento em feijão-fava têm concentrado suas pesquisas em análises de diversidade genética, por meio de caracterização morfoagronômica, fenológica, bioquímica e/ou molecular, em coleções de

germoplasma nas diversas instituições como em Universidades Federais (UFPB, UFPI, UFAL, UFC, UFRPE, UNESP, IFCE e UFERSA) além de instituições de pesquisa como a EMBRAPA.

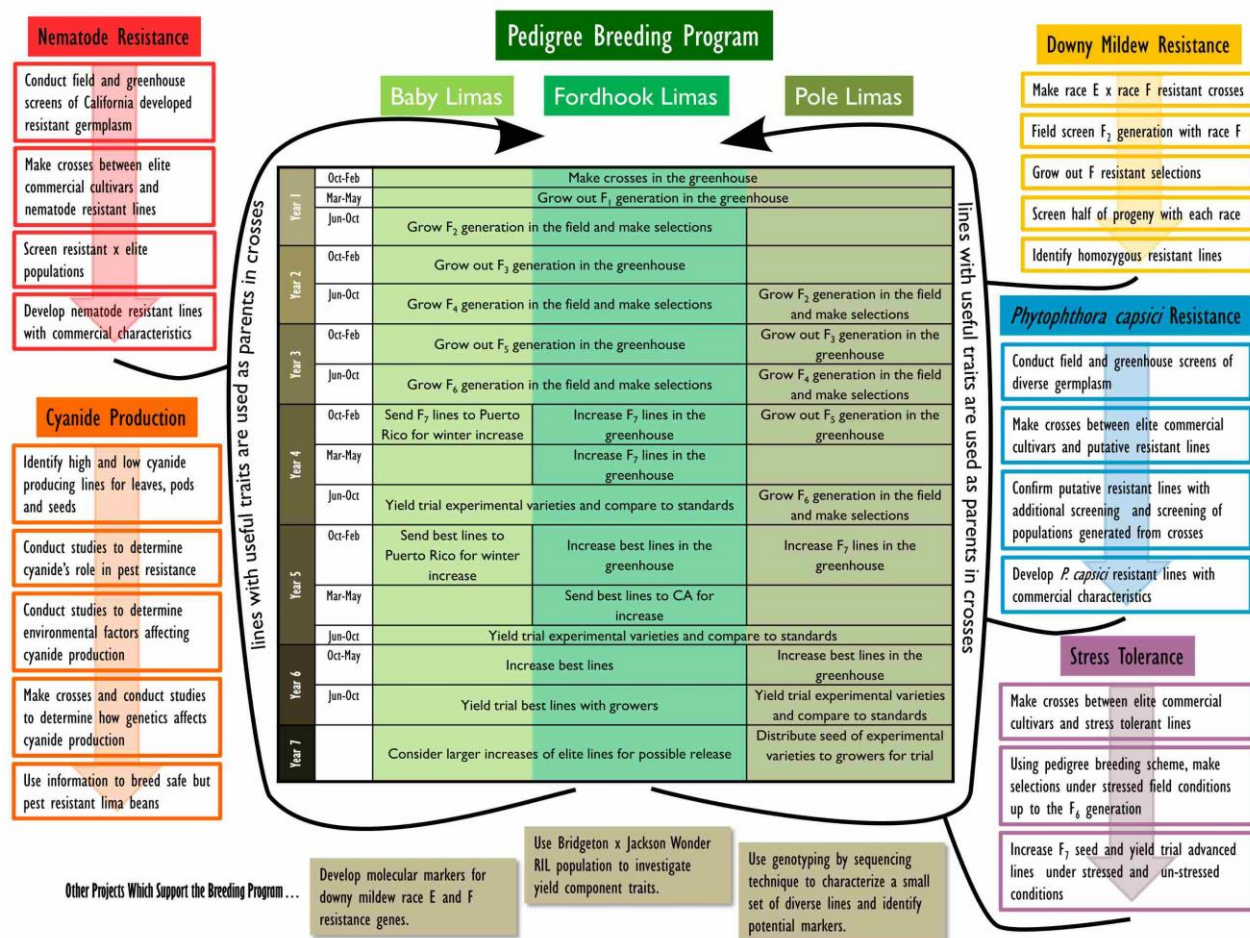


Figura 7. Esquema geral dos objetivos e áreas de pesquisa do programa de melhoramento de feijão-fava (*Phaseolus lunatus*) da Universidade de Delaware. Fonte: Universidade de Delaware, (2019).

Com o intuito de estabelecer um programa de melhoramento para o mercado consumidor e para o produtor, Souza et al. (2016), avaliaram características dos grãos em dezessete acessos de feijão-fava, indicando a seleção dos acessos UFPB 8, UFPB 13, UFPB 14 e UFPB 10 para produção de cultivares com sementes maiores e de coloração clara. Silva et al. (2017) e Santos et al. (2017) objetivando a ampliação da variabilidade de genótipos de feijão-fava para uma maior oferta e comercialização de produtos no Estado da Paraíba, avaliaram dez e nove genótipos respectivamente, produzidos na região e indicaram a seleção dos genótipos Orelha de vó, Rosinha, Branca Grande, Cara larga, Amarelo Cearense e Eucalipto, para início e continuidade do programa de melhoramento de feijão-fava da UFPB.

Essas avaliações têm sido conduzidas principalmente com base em dados derivados de caracterização morfoagronômica (Santos et al., 2002; Yagui et al., 2003; Santos, 2008; Guimarães et al., 2007; Oliveira et al., 2011; Souza et al., 2016; Silva et al., 2017), por meio de descritores publicados em

listas pelo Bioversity International (antigo IPGRI) para as diversas culturas, a fim de facilitar e uniformizar as atividades de caracterização e avaliação dos recursos genéticos vegetais (Figura 8).



Figura 8. Exemplo de caracterização baseada nos descritores morfoagronômicos, avaliados no programa de melhoramento da Universidade Federal da Paraíba, da esquerda para direita- avaliação fenotípica da vagem, mensuração de altura da planta, comprimento e largura da folha– Areia (2017). Foto: José Edson L. dos Santos.

Gomes e Nascimento (2018) avaliaram os efeitos de indutores bióticos e abióticos em quinze genótipos pertencentes à coleção da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para resistência à antracnose, concluíram que as amostras apresentaram diferentes graus de resistência à antracnose, podendo ser explorados em futuros programas de melhoramento genético; Carmo et al. (2015) e Santos et al. (2015) avaliaram genótipos provenientes do banco de germoplasma da UFPI para resistência à antracnose (fungo *Colletotrichum truncatum*), e indicaram respectivamente os acessos UFPI 641, UFPI 644 e UFPI 645; UFPI-237, UFPI-466, UFPI-134 e UFPI-503 como promissores; Silva et al. (2014) avaliaram reação de genótipos para resistência a *Sclerotium rolfsii*, dois destes genótipos (F-2 e F-25) se comportaram como altamente resistentes, constituindo fontes promissoras de resistência à podridão do colo. O uso de cultivares resistentes é uma das estratégias mais eficientes no controle das doenças, pois além de diminuir o custo de produção, reduz os impactos negativos ao ambiente pela aplicação de agrotóxicos (Carmo et al., 2015).

A caracterização morfoagronômica dos acessos no país já identificaram variedades crioulas com características superiores para aumento de produtividade, crescimento determinado, elevado número de vagens por planta, maior número de sementes por vagem, precocidade em relação aos dias para floração, sementes grandes, alta produtividade por planta e com níveis de resistência (Guimarães et al., 2007; Oliveira et al., 2011; Assunção Filho, 2012; Barreira Neto et al., 2015; Carmo, 2015; Brito, 2017).

As características superiores já identificadas nos genótipos avaliados nas diversas instituições supracitadas, associadas a resultados de projetos como: 1) Instituto Federal do Ceará (IFCE – Tianguá), em parceria com a UFPI, que visa caracterizar favas conservadas pelos agricultores familiares, avaliando o desempenho agrônômico dessas variedades com o objetivo de selecionar as que possuam potencial de mercado para o município; 2) A avaliação de cultivares híbridas dos EUA enviadas para a Universidade Federal do Piauí (UFPI), para introdução; 3) A análise da diversidade genética com o auxílio das técnicas moleculares, realizados por meio de alguns marcadores moleculares como RAPDs (Fofana et al., 1999; CarVALHO et al., 2008; Guimarães et al., 2007), RFLPs (Becerra-Velásquez e Gepts, 1994; Fofana et al., 1999), AFLPs (Caicedo et al., 1999; Rosales-Serna et al., 2005; Castrineiras et al., 2007) ISSRs (Martínez-Castillo et al., 2008; Paniconi et al., 2010) e SSRs (Yu et al., 1999; Blair et al., 2003; Barrantes et al., 2008; González-Torres et al., 2010; Penha et al., 2017); são avanços para o melhoramento genético do feijão-fava no país.

Como avanços, podemos citar a 1ª Reunião internacional de pesquisa sobre feijão-fava, realizada em Teresina, PI, em 2016, como resultados desta, o programa de melhoramento genético de feijão-fava coordenado pela UFPI, que contará com a cooperação técnica da Embrapa e de outras instituições de pesquisa e ensino do Brasil, México e Colômbia, que se empenharão para intercâmbio e avaliação do germoplasma; treinamento de estudantes e pesquisadores; padronização de métodos e protocolos de análise genética e financiamento para pesquisas com a cultura.

É importante que o estímulo e incremento na produção de feijão-fava sejam contínuos, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de cultivares, mais produtivas, adaptadas aos ambientes de cultivo, com características agrônômicas e culinárias desejadas pelos produtores e consumidores (Herrera et al., 2002), entre os critérios de seleção estão, propriedades tecnológicas, nutricionais e estéticas dos grãos; menor tempo de cocção; resistência às doenças (Yagui et al., 2003; Lopes et al., 2010), precocidade e baixo teores de ácido cianídrico. Programas de melhoramento de feijão-fava são fundamentais para promover e identificar associações alélicas que apresentem esse ideótipo.

A maioria dos programas de melhoramento leva em consideração muitas características simultaneamente, para tanto, técnicas de análise multivariada, ou associações entre elas, como as variáveis canônicas e distâncias multivariadas (Cruz et al., 2011), permitem ao melhorista fazer avaliação do material genético com um conjunto de características que combinam as múltiplas informações contidas na unidade experimental (Oliveira, 1989). Contribuindo na escolha dos procedimentos de seleção mais apropriados objetivando maximizar o ganho genético por geração (Ferreira et al., 2012).

O processo de seleção dos genótipos, com base nas informações fenotípicas (morfoagronômicas) dos indivíduos, pode ser desvantajoso principalmente para os caracteres de baixa herdabilidade. De modo geral, para o sucesso dos programas de melhoramento, é essencial obter informações sobre a diversidade genética do germoplasma disponível e ampliar os conhecimentos sobre os parâmetros genéticos que

governam as características, para escolha de métodos adequados e as afinidades genômicas entre os possíveis doadores de alelos desejáveis e a cultura a ser melhorada. Para tanto, as estratégias no início do programa de melhoramento tipicamente envolvem maior demanda de tempo e esforço na hibridação e avaliação do germoplasma, a depender do objetivo do programa.

PARAMETROS GENÉTICOS

A maioria das características de importância agrônômica consideradas nos programas de melhoramento, tais como: porte, ciclo da planta, reação a alguns patógenos, produtividade de grãos e seus componentes primários têm expressão governada por controle poligênico, caracteres que tem muita influência do ambiente no seu fenótipo.

Por este motivo, estudos sobre os caracteres em questão são realizados adotando o modelo básico, proposto por Johansen (1903): $F = G + E$, para, determinar quanto do valor fenotípico (F) é oriundo de variação genética ou valor genotípico (G) e quanto é devido a influência do meio (E). A variação genética pode ser descomposta, ainda, em duas partes principais, a variância genética aditiva e variância genética não-aditiva, sendo essa última constituída pela variância genética de dominância e variância genética epistática (Cruz et al., 2012; Ramalho et al., 2012). Tais informações são utilizadas para estimação de parâmetros genéticos como herdabilidade (efeito aleatório), coeficiente de determinação genético (efeito fixo), coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de variação experimental (CVe) e CVg/CVe e Índice de variação (I_v).

As estimativas desses parâmetros são fundamentais nos programas de melhoramento por fornecerem conhecimento sobre a variabilidade genética existente na população e quanto dessa variabilidade é devido a cada um dos componentes da variância genética. Com isso, o melhorista poderá fazer a seleção com base na parte herdável da variação da variação total. Além disso, tais estimativas influenciam na escolha do método de melhoramento mais apropriado para cada população a ser melhorada (Cruz et al., 2014; Ramalho et al., 2012).

A estimativa de parâmetros genéticos em *P. vulgaris* é relatada em vários trabalhos na literatura (Ribeiro et al., 2015; Martins et al., 2016; Maziero et al., 2016; Rachman et al., 2018) envolvendo vários caracteres. Para o feijão-fava (*P. lunatus*) entretanto, há poucos relatos envolvendo estudos com estimativas de parâmetros genéticos, principalmente no Brasil, em que o melhoramento da cultura ainda se encontra em fases iniciais do programa.

Na tabela abaixo, encontram-se dados de trabalhos realizados pelos programas de melhoramento da Universidade Federal da Paraíba e do Piauí, em que parâmetros genéticos foram estimados para cultura do feijão-fava. As estimativas obtidas, indicam que grande parte da variabilidade fenotípica para a maioria dos caracteres estudados em feijão-fava é de natureza genética. O peso de 100 sementes, é um dos caracteres de maior importância no melhoramento da cultura, Silva (2015) estimou herdabilidade de

99,47% para esta variável nas condições ambientais de Bom Jesus-PI, em Areia -PB, o peso do grão tem estimativa de herdabilidade de 97,74% (Tabela 1). Akande e Balogun, (2007), estimando parâmetros genéticos em feijão fava em Ibadan na Nigéria, também observaram herdabilidade alta para o caráter, o que reforça o fato que o peso de 100 sementes não é afetado por mudanças nas condições ambientais, favorecendo o melhoramento.

Tabela 1. Estimativa de parâmetros genéticos para caracteres avaliados em genótipos de feijão-fava, (σ^2_E) Variância ambiental, (σ^2_G) Variância genotípica, (h^2) Coeficiente de herdabilidade, (CVg/CVe) Coeficiente de variação genético / coeficiente de variação ambiental. Centro de Ciências Agrárias, Areia, UFPB, 2016/2017.

FV	Características						
	CG	LG	PG	CF	AP	LF	CV
σ^2_E	0,09	0,02	0,00	0,11	28,95	0,05	0,01
σ^2_G	7,17	0,19	0,04	0,10	17,59	0,44	0,02
h^2	98,70	91,18	97,74	49,24	37,79	89,68	69,08
CVg/CVe (%)	2,25	0,83	1,70	0,91	0,45	1,70	1,01

CG (cm) = Comprimento do grão; LG (cm) = largura do grão; PG (g) = peso do grão; CF (cm) = comprimento do folíolo; AP (cm) = altura da planta; LF (cm) = largura do folíolo; CV (cm) = comprimento da vagem.

Essa variabilidade de origem genética associada a materiais com bom desempenho *per se* e boas estratégias de condução e seleção de populações segregantes poderão proporcionar um importante progresso genético da cultura do feijão-fava no Brasil.

É válido ressaltar, que esses parâmetros genéticos são válidos para as condições ambientais em que foram determinados, em acréscimo ao modelo básico $F = G + E$, tem a interação entre $G \times E$. O cultivo do feijão-fava ocorre das sementes oriundas de cultivares locais, as quais foram selecionadas pelos agricultores de acordo com as condições ambientais e socioeconômicas de cada microrregião (Silva, 2015), a caracterização destas gera informações importantes para a avaliação do progresso genético das populações.

Sabe-se que um fator que dificulta o progresso genético bem como a seleção de genótipos superiores, é a influência do ambiente na expressão de grande número de caracteres, a exemplo altura de planta (Tabela 1), podendo mascarar os efeitos dos genótipos. Para tais características, observar-se que a compreensão da interação $G \times E$ é fundamental, pois, existe uma resposta diferencial dos genótipos em relação à variação ambiental. A existência da interação está associada a dois fatores: o denominado simples, que é proporcionado pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes e o segundo denominado complexo, que é dado pela inconsistência da superioridade de genótipos com a variação do ambiente.

Na prática, para que o feijão-fava possa ser selecionado e recomendado para cultivo em determinadas regiões, é necessário a avaliação dos genótipos em diferentes regiões, o que possibilitará o conhecimento da magnitude e da natureza dessa interação e contribui com o grau de confiabilidade das recomendações. No país, para feijão-fava, os estudos relacionados a interação G x E, que assegurariam a confiabilidade na recomendação (adaptação e produção) de cultivares por região, são insipientes. Faz-se necessário realizar análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, pelas quais é possível a identificação de genótipos com comportamento previsível, que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (Cruz et al., 2014).

É cada vez mais urgente a necessidade da realização de programas de melhoramentos que visem o desenvolvimento de cultivares adaptados as mais diversas regiões produtoras, não só do feijão-fava, mas de diversas outras culturas de menor importância econômica quando comparadas a *comodities* agrícolas. A falta de adaptabilidade e estabilidade nos materiais cultivados por falta de outros mais adaptados, muitas vezes inviabilizam a produção de diversas culturas principalmente em regiões semiáridas.

Um genótipo não adaptado, também é mais susceptível ao ataque de pragas e doenças e responde com menor eficiência a utilização dos insumos em geral, como é o caso da água e dos nutrientes que estão cada vez mais escassos e caros. A consequência desse conjunto de fatores atrelados a falta de adaptação das cultivares às condições edafoclimáticas por região, proporcionam uma menor eficiência na utilização dos recursos naturais, reduz a produtividade e consequentemente a rentabilidade do produtor.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estabelecimento de programas de melhoramento para a espécie *P. lunatus* é a principal forma de aumentar a disponibilidade de cultivares (linhagens e/ou híbrido) mais produtivos, adaptados as regiões de cultivo, com menor custo para aquisição de sementes, melhor qualidade estética e nutricional de grãos. Consequentemente ocasionará uma expansão do mercado de feijão-fava gerando oportunidades para novas demandas.

É possível que com a maior oferta de feijão-fava ocorra também a modificação do hábito de consumo, para competir com o feijão comum, gerando novas demandas para o melhoramento. A eficiência do melhoramento deverá ser dinamizada com uso da biotecnologia, a exemplo do que ocorre aos resultados já obtidos em programas de melhoramento genético do Gênero *Phaseolus*. Com procedimentos desta natureza será possível reduzir o período de obtenção de cultivares, com alteração direcionada em um ou pouco genes.

REFERÊNCIAS

- Akande SR. et al. (2007). Evaluation and heritability studies of local Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) cultivars from south-west Nigeria. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1): 22-28.
- Almeida CCS (2006) Mapeamento físico e análise evolutiva em *Phaseolus vulgaris* L. L. e *P. lunatus* L., utilizando hibridização in situ fluorescente (FISH). Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 74p.
- Almeida CCS, Harand PA (2010). Contrasting rDNA Evolution in Lima Bean (*Phaseolus lunatus* L.) and Common Bean (*P. vulgaris* L., Fabaceae). *Cytogenetic and Genome Research*, 132(3): 212-217.
- Andrade TEG (2018). Caracterização citogenética e predição de cruzamentos intraespecíficos em acessos superiores de *Phaseolus lunatus* L. Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI (Dissertação) 71p.
- Andrueza-Noh RH et al. (2013). Multiple domestications of the Mesoamerican gene pool of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.): evidence from chloroplast DNA sequences. *Genetic Resources Crop Evolution*, 60(1):1069-1086.
- Assunção Filho JR (2012) Caracterização de populações da variedade Boca de moça de feijão-fava utilizando caracteres agromorfológicos e marcadores moleculares. Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI (Dissertação), 89p.
- Azevedo JN et al. (2003). Composição química de sete variedades de feijão-fava. Teresina: Embrapa Meio-Norte *In: Comunicado Técnico*, 152(1):1-4.
- Barreira Neto M (2015). Características morfológicas e produtivas em acessos de feijão-fava consorciados. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, João Pessoa, 9(3): 23-27.
- Barroso PA et al. (2019). Phenotypic Dispersion of Landrace Lima Bean Varieties Using Multidimensional Scaling. *Journal of Agricultural Science*, 11(13): 178-185.
- Barrantes D et al. (2008). The impact of local extinction on genetic structure of wild populations of lima beans (*Phaseolus lunatus*) in the Central Valley of Costa Rica: consequences for the conservation of plant genetic resources. *Revista Biologia Tropical*, 56 (3): 1023-1041.
- Baudet JC (1977). The taxonomic status of the cultivated types of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Tropical Grain Legume*, Ibadan, 7: 29–30.
- Baudoin JP (1988). Genetic resources, domestication and evolution of lima bean, *Phaseolus lunatus*. In: GEPTS, P. (Ed.). *Genetic resources of Phaseolus bean*. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 507p.
- Baudoin JP (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 5(4): 221-230.
- Baudoin JP et al. (2004). Ecogeography, demography, diversity and conservation of *Phaseolus lunatus* L in the Central Valley of Costa Rica. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

- Beyra A (2004). Revisión taxonômica de los gêneros *Phaseolus* y *Vigna* (Leguminosae – Papilionoideae) en Cuba. *Anales Del Jardín Botánico de Madrid*, 61(2): 135-154.
- Bitocchi E et al. (2017) Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. *Frontiers in plant science*, 8: 722-733.
- Blair MW et al. (2003) Development of a genome-wide anchored microsatellite map for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 107:1362-1374.
- Borém A et al. (2007). *Melhoramento de Plantas – 7ª ed.* Viçosa: Editora UFV, 543p.
- Brink M, Belay G (2006). *Plant resources of tropical Africa 1. Prota: Cereals and pulses*, 298 p.
- Brito MV (2017) Caracterização morfoagronômica e seleção de acessos de feijão-fava resistentes ao *Colletotrichum truncatum*. Universidade Federal do Piauí, Teresina, (Dissertação) 65p.
- Broughton WJ (2003) Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. *Plant and soil*, 252(1): 55-128.
- Caicedo AL (1999) AFLP fingerprinting of *Phaseolus lunatus* L. and related wild species from South America. *Crop Science*, Madison, 39: 1497–1507.
- Camarena F (2005). Magnitud e impacto potencial de la liberación de los organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Hidalgo O et al., (org.) Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales. Consejo Nacional del Ambiente: Lima, Perú. 19-40p.
- Carmo MDS (2015). Avaliação de acessos de feijão-fava, para resistência a *Colletotrichum truncatum*, em condições de folhas destacadas e campo. *Summa Phytopathologica*, 41(4): 292-297.
- Corrêa MP (1969). *Dicionário de plantas úteis do Brasil*. IBDF - Rio de Janeiro, 646p.
- Cruz CD (2011). *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Editora UFV, 620p.
- Cruz CD (2014). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3ª ed., vol 2. Editora UFV, 668p.
- Debouk DG (1989). Biochemical evidence for two different gene pools in lima beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Annual Report Bean Improvement Cooperative*, East Lansing, 32: 58-59.
- Debouk DG (1999). Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. In: 41 SINGH, S. P. (Ed.). *Common bean improvement in the twenty-first century*. Dordrecht: Kluwer, 25-52p.
- Delgado-Salinas A (1985). Systematics of the genus *Phaseolus* (Leguminosae) in north and central America. University of Texas, (Tese) USA.
- Delgado-Salinas A (2006). Phylogeny of the genus *Phaseolus* (Leguminosae): a recent diversification in an ancient landscape. *Systematic Botany*, 31(4): 779-791.
- Ernest E (2018). Lima Bean: variety trial report. Disponível em: <<https://cdn.extension.udel.edu/wpcontent/uploads/2012/03/18102513/2018BabyLimaTrialReport.pdf>>. Acesso em: 01/07/2019

- Evans AM (1980). Structure, variation, evolution and classification in *Phaseolus*. Summerfield RJ, Bunting AH (org.). Advances in legume science. Kew: Royal Botanic Gardens, 337-347p.
- Fofana B et al. (1999). Molecular evidence for an Andean origin and a secondary gene pool for the Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) using chloroplast DNA. Theoretical and Applied Genetics, Berlin, 98: 202–212.
- Fofana B et al. (2001). Genetic diversity in the Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) as revealed by chloroplast DNA (cpDNA) variations. Genetic Resources and Crop Evolution, 48(5): 437-445.
- Fornes J (1983). Cultivo de habas y guisantes. Barcelona: Sintes, 143p.
- Freire Filho FR et al. (2005). Melhoramento genético. Freire Filho FR (org.) Feijão caupi: avanços tecnológicos. Brasília-DF, Embrapa Meio-Norte, 25-104p.
- Freytag GF, Debouck DG (2002). Taxonomy, Distribution, and Ecology of the Genus *Phaseolus* (Leguminosae-papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. Botanical Research Institute of Texas (BRIT), Forth Worth, TX, USA, 298p.
- Gomes OS et al. (2010). Avaliação de componentes de produtividade de grãos em sub-amostras de feijão-fava de crescimento determinado. Anais da academia pernambucana de ciência agrônômica, 7: 312-317.
- Gomes RSS, Nascimento LC (2018). Induction of resistance to *Colletotrichum truncatum* in Lima bean. Arquivos do Instituto Biológico, 85: 1-7.
- González-Torres RI et al. (2010). Determination of gene flow events in natural—wild-weedy-cultivatedll complexes in genepools of *Phaseolus lunatus*, Cooperative, 176-177.
- Guerra M (2000). Patterns of heterochromatin distribution in plant chromosomes. Genetics and Molecular Biology, 23(4): 1029-1041.
- Guimarães WN et al. (2007). Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11(1): 37-45.
- Gutiérrez-Salgado A et al. (1995). Evidence for two gene pools of the Lima beans, *Phaseolus lunatus* L., in the Americas. Genetic Resources and Crop Evolution, 42: 15–28.
- Hardy O et al. (1997) Gene dispersal and its consequences on the genetic structure of wild populations of Lima bean (*Phaseolus lunatus*) in Costa Rica. Plant Genetic Resources Newsletter, 109: 1-6.
- Herrera PP et al. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 52(2):172-180.
- IBGE (2017). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: produção agrícola municipal. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 26/06/2019.
- Jesus LDGA et al. (2018). Eficiência de testes colorimétricos para determinação da viabilidade do pólen em acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 8(1): 2018.

- Knudsen H (2000). Directorio de Colecciones de Germoplasma en América Latina y el Caribe. Primera edición. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma, 381p.
- Kuboyama T (1991). Hybrid plants of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. lunatus* L. obtained by means of embryo rescue and confirmed by restriction endonuclease analysis of rDNA. *Euphytica*, 54: 177–182.
- Linnaeus C (1753). *Species Plantarum*. Sweden, Stockholm. 1200p.
- Lioi L, Galasso I (2002). Oligonucleotide DNA fingerprinting revealing polymorphism in *Phaseolus lunatus* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, Holanda, 49(1): 53-58.
- Lopes ACA et al. (2010). Diversidade Genética. Araújo et al. (org.). A cultura do feijão-fava na Região Meio-Norte do Brasil. 1 ed, Teresina: EDUFPI, 1: 45-72.
- Lymam J (1980). Estudios sobre adaptacion y mejoramiento del frijol *Phaseolus lunatus*. Disponível em: <ciat library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/digital/12360_Estudios_%20sobre_%20adaptadon_%20y_%20mejoramiento_%20del_%20frijol_%20Phaseolus_%20lunatus.pdf.> Acesso em: 03/07/2019.
- Mackie WW (1943). Origin, dispersal, and variability of the lima bean, *Phaseolus lunatus*. *Hilgardia*, Berkeley, 15(1): 1-29.
- Marechal R et al. (1978). Étude taxonomique d'un group complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de donnes morphologiques et poliniques, traitees par l'analyse informatique. *Boissiera*, Gneve, 28: 1-273.
- Martínez-Castillo J et al. (2008). Genetic erosion and in situ conservation of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) landraces in its Mesoamerican diversity center. *Genetic Resources and Crop Evolution*, Germany, 55(7): 1065-1077.
- Martins SM et al. (2016). Genetic parameters and breeding strategies for high levels of iron and zinc in *Phaseolus vulgaris* L.). *Genetics and Molecular Research*, 15(2): gmr15028011.
- Mattos LA et al. (2010). Agronomical and molecular characterization of banana germplasm. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 45 (2): 146-154.
- Mcclean P et al. (2005). Genomics and genetic diversity in common bean. In: *Legume Crop Genomics*, AOCS Press, Champaing, Illinois, 4: 61-82.
- Mercado-Ruaro P, Delgado-Salinas A (2000). Cytogenetics studies in *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae), *Genetics and Molecular Biology*, 23(4): 985-987.
- Mercado-Ruaro P, Delgado-Salinas A (2009). Karyotypic analysis in six species of *Phaseolus* L. (Fabaceae). *Caryologia*, 62(3): 167-170.
- Mok DWS, Rabakoarihanta A (1978). Interspecific hybridization of *Phaseolus vulgaris* with *P. lunatus* and *P. acutifolius*. *Theoria Applied Genetics*, 52: 209–215.
- Moraes CS et al. (2017). Catálogo de Fava (*Phaseolus lunatus* L.) Conservada na Embrapa. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 46 p.

- Moscone EA et al. (1999). Quantitative kariotyping and dual-color FISH mapping of 5S and 18S-25S rDNA probes in the cultivated *Phaseolus* species (Leguminosae). *Genome*, 42(6): 1224-1233.
- Myer GO (1996). Hand crossing of cowpeas. Ibadan, Nigéria: IITA, 42p.
- Nascimento NFF et al. (2015). Intraspecific cross-compatibility in ornamental pepper. *Acta Horticulturae*, 1087: 339-344.
- Nass LL (2007). Pré-melhoramento de germoplasma vegetal. Nass LL (org.) Recursos genéticos vegetais. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 684-692p.
- Nobre DAC et al. (2012). Qualidade física, fisiológica e morfologia externa de sementes de dez variedades de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Brasileira de Biociências*, 10(4): 425 -430.
- Oliveira EJDE (1989). Análise multivariada no estudo da divergência genética entre cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Dissertação), 91p.
- Oliveira FN et al. (2011). Caracterização botânica e agrônômica de acessos de feijão-fava, em Mossoró, RN. *Revista Caatinga*, 24(1): 143-148.
- Palkovic A et al. (2015) Lima Bean Breeding Report 2015-2016 in Dept. of Plant Sciences University of California, Davis. Disponível em: <www.calbeans.org/wp-content/uploads/2016/03/Report-2015-Lima-Bean-Breeding-Paul-Gepts.pdf> Acesso em: 01/07/2019
- Pathania A et al. (2014) Common bean. In: Broadening the Genetic Base of Grain Legumes. Springer, New Delhi, 11-50.
- Pedrosa-Harand A et al. (2006). Extensive ribosomal DNA amplification during common bean (*Phaseolus vulgaris*) evolution. *Theoretical and Applied Genetics*, Nova York, 112(5): 924-933.
- Penha JS et al. Estimation of natural outcrossing rate and genetic diversity in Lima bean (*Phaseolus lunatus* L. var. *lunatus*) from Brazil using SSR markers: implications for conservation and breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(6): 1355-1364.
- Poehlman JM (2013). *Breeding field crops*. Springer Science & Business Media.
- Rachie KO et al. (1980). Lima bean (*Phaseolus lunatus*) and its potential in the tropics. Summerfield RJ, Bunting AH (org.). *Advances in legume science*. Kew: Royal Botanic Gardens, 375-381p.
- Rachman ES et al. (2018). Estimation of genetic parameters on F3 French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) population. *IOP Publishing*, 196(1): 012006.
- Ramalho MAP et al. (2004). *Genética na Agropecuária*. Lavras: UFLA, 472 p.
- Ramalho MAP et al. (2012). *Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas*. Lavras: UFLA, 522 p.
- Ribeiro EH et al. (2015). Estimativas de parâmetros genéticos e seleção de linhagens endogâmicas recombinantes de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ceres*, 56(5):580-590.
- Salgado AG et al. (1995). Evidence for two gee pools of the Lima bean, *Phaseolus lunatus* L., in the Americas. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 42(1):15-28.

- Santana DF (2010). Caracterização morfo-agronômicas de acessos genéticos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), no município de Rio Largo/AL. Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo (Trabalho de Conclusão de Curso).
- Santos D et al. (2002). Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37(10):1407-1412.
- Santos AR et al. (2015). Seleção de subamostras de feijão-fava para resistência à antracnose/fava beans of subsamples selection for resistance anthracnose. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 9(3): 268-278.
- Santos JEL, Nascimento NFF (2017). Caracterização, variabilidade e seleção de genótipos de Feijão-Fava baseados em descritores uni e multivariados. Resumo Programa de Iniciação Científica Pibic.
- Serrano-Serrano et al. (2010). Gene pools in wild Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) from the Americas: Evidence for an Andean origin and past migrations. Molecular Phylogenetics and Evolution, Amsterdam, 54: 76-87.
- Silva HT et al. (2003) Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae). Embrapa Arroz e feijão: Comunicado Técnico, 156, Santo Antônio de Goiás, 40p
- Silva K et al. (2010). Recursos genéticos. A cultura do feijão-fava no Meio-Norte do Brasil. Teresina: Editora da UFPI, 272p.
- Silva MPL (2019). Viabilidade de estruturas reprodutivas e hibridação de feijão-fava (*Phaseolus lunatus*). Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus (Trabalho de conclusão de curso).
- Silva VB et al. (2015). Genetic diversity and promising crosses indication in lima bean (*Phaseolus lunatus*) accessions. Semina. Ciências Agrárias, 36(2): 683-692.
- Souza AMCB et al. (2015). Determination of ideal conditions to do artificial crosses in *Phaseolus lunatus* L.. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative, 58: 95-96.
- Souza VC (2008). Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum.
- Universty of Delaware (2019). Lima breeding program. Disponível em: <<http://extension.udel.edu/ag/vegetable-fruit-resources/vegetable-small-fruits-program/lima-breeding-program/>> Acesso em: 01/07/2019.
- Valls JFM (2007). Caracterização de recursos genéticos vegetais. Nass LL (org.) Recursos genéticos vegetais. Brasília – DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 281-342p.
- Valois ACC et al. (2001). Recursos Genéticos e Melhoramento - Plantas. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 6: 123-149.
- Vavilov N (1926). Studies on the origin of cultivated plants. Institute of Applied Botany and Plant Breeding: Leningrad, 78 p.

- Vicente MC et al. (2005). Genetic Characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm. *The Role of Biotechnology*, 121-128.
- Vieira, C. O feijão comum. Cultura, doenças e melhoramento. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1967. 220 p.
- Vieira RF (1992). A cultura do feijão-fava. *Informe Agropecuário*, 16(174): 30-37.
- Webster BD et al. (1979). A morphological study of the development of reproductive structures of *Phaseolus lunatus* L. [Lima beans]. *Journal American Society for Horticultural Science*.
- Yagui A et al. (2003). Grouping of Brazilian accesses of lima beans (*Phaseolus lunatus* L.) according to SDS-PAGE patterns and morphological characters. *Acta Scientiarum*, 25: 7-12.
- Zimmermann MJO, Teixeira MG (1988). Origem e evolução. Zimmermann MJO et al. (orgs.) *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 79-85p.
- Zimmermann MJO, Teixeira MG (1996). Origem e evolução. Araújo RS et al. (orgs.) *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 786p.
- Zoro BII et al. (2003). Population genetic structure of wild *Phaseolus lunatus* (Fabaceae), with special reference to population sizes. *American Journal Botany*. 90(6): 897-904.
- Zoro BII et al. (2005). Mating system of wild *Phaseolus lunatus* L. and its relationship to population size. *Heredity*, 94: 153-158.

Seletividade de inseticidas a *Trichogramma Pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Helicoverpa Armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)

Recebido em: 15/04/2022

Aceito em: 19/04/2022

 10.46420/9786558722694cap3

Luciana Barboza Silva^{1*} 

Maisa de Sousa Veras² 

Maria Carolina Faria e Silva³ 

Raimundo Henrique Ferreira Rodrigues⁴ 

Thayline Rodrigues de Oliveira⁵ 

Alisson Franco Torres da Silva⁶ 

Bruno Ettore Pavan⁷ 

INTRODUÇÃO

Helicoverpa armigera (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), uma das pragas agrícolas mais importantes do mundo, possui ampla variedade de hospedeiros, incluindo aproximadamente todas as famílias de plantas cultivadas comercialmente, levando à redução da produção total destas culturas (Ghodke et al., 2013; Leite et al., 2014; Abid et al., 2020). O manejo sustentável desta praga significa um desafio, decorrente do hábito alimentar, capacidade de dispersão, adaptação e desenvolvimento de resistência aos inseticidas de diferentes classes químicas e culturas com toxinas *Bt* (Behere et al., 2013; Leite et al., 2014; Wang et al., 2017; Wei et al., 2017)

Portanto, o controle eficiente de *H. armigera* exige um programa de manejo integrado, baseado na associação de diferentes métodos de controle, como a combinação de pesticidas com controle biológico, reduzindo os riscos de contaminação do meio ambiente (Barzman et al., 2015), para isso, é necessário avaliar cuidadosamente a eficiência dos compostos inseticidas disponíveis, bem como, a seletividade desses produtos, proporcionando eficácia com efeitos mínimos sobre os inimigos naturais (Carmo et al., 2010, Saber et al., 2013). No manejo de *H. armigera* a utilização de inimigos naturais, como parasitoides,

¹ Universidade Federal do Piauí (UFPI), Dr.^a Docente do Departamento de Biologia e Pós-graduação em Ciências Agrárias.

² UFPI, Mestre em Fitotecnia.

³ Doutoranda em Ciências Agrárias UFPI

⁴ Doutorando em Fitotecnia UFC

⁵ Mestranda em Ciências Agrárias UFPI

⁶ Doutorando em Ciências Agrárias UFPI

⁷ Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira (UNESP), Dr. Docente do Departamento de Fitotecnia

* Autora correspondente: lubarbosabio@ufpi.edu.br

predadores e microrganismos entomopatogênicos, podem alcançar níveis de controle satisfatórios (Guerra et al., 2014; Hazarika et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Carvalho et al., 2017; Tahir et al., 2017), o que pode levar a manutenção da população dos insetos-praga em um nível de equilíbrio no ambiente.

Entre os agentes biológicos destacam-se os parasitoides de ovos *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) que são amplamente utilizados na agricultura, devido a eficiência no controle, evitando danos à cultura hospedeira (Siqueira et al., 2012; Wang et al., 2012). Espécies de *Trichogramma* apresentam maior susceptibilidade aos inseticidas em comparação com as pragas-alvo (Costa et al., 2014; Parsaeyan et al., 2017).

A seletividade de diferentes agrotóxicos a *T. pretiosum* é relatada, porém, pode variar dependendo da praga ou da cultura para a qual o pesticida se destina (Bueno et al., 2017). A sustentabilidade da cultura da soja depende do desenvolvimento de estratégias de manejo de pragas mais inócuas, como controle biológico e uso de pesticidas seletivos (Stecca et al., 2017). Desse modo, esse estudo teve como objetivo avaliar a seletividade de inseticidas utilizados na cultura da soja sobre *T. pretiosum* em ovos de *H. armigera*.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Fitotecnia da Universidade Federal do Piauí, no Laboratório de Fitotecnia do Campus Professora Cinobelina Elvas. A população de *H. armigera* utilizada neste trabalho foi proveniente da criação de insetos, do próprio laboratório de Fitotecnia, onde foram mantidos em dieta artificial adaptada de Kasten Jr. et al. (1978). A população do parasitoide *T. pretiosum* foi coletada em ovos de *H. armigera*, em plantações comerciais de soja, no bioma Cerrado, do município de Baixa Grande do Ribeiro-Piauí (08° 40' 56.4"S, 45° 05' 39,2"W), Brasil.

A identificação do parasitoide foi realizada pelo Dr. Alexandre Faria da Silva, baseada na terminologia utilizada por Pinto (1999) e Querino (2002) e os termos morfológicos usados para designar os vários tipos de sensilos da antena foram baseados em Voegelé et al. (1980) e Vincent et al. (1986).

O parasitoide foi multiplicado em ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) obtidos através da compra de ovos inviabilizados devidamente registrado para comercialização no Brasil. A criação de *T. pretiosum* foi executada segundo a metodologia proposta por Stein et al. (1987). Antes da instalação dos experimentos, o parasitoide foi mantido em ovos de *H. armigera*, por duas gerações, a fim de se eliminar um possível condicionamento pré-imaginal pela criação no hospedeiro alternativo (Goulart et al., 2011).

Os inseticidas utilizados nos bioensaios, assim como a concentração do ingrediente ativo no produto comercial e as dosagens recomendadas para a cultura da soja (AGROFIT, 2015) estão apresentados na Tabela 1. Como tratamento testemunha foi utilizado água destilada. Avaliou-se a sobrevivência de *T. pretiosum* e parasitismo de *T. pretiosum* em ovos de *H. armigera* tratados com inseticidas.

Tabela 1. Inseticidas comerciais utilizados nos bioensaios para avaliar a seletividade sobre *T. pretiosum* em ovos de *H. armigera*.

Ingrediente ativo*	Conc. i.a g.L ⁻¹	Doses
<i>Bacillus thuringiensis</i>	33,6	16,8 g ha ⁻¹
Clorantraniliprole	200	50 mL ha ⁻¹
Clorpirifós	480	1000 mL ha ⁻¹
Espinosade	480	50 mL ha ⁻¹
Indoxacarbe	150	400 mL ha ⁻¹
Lambdacialotrina	250	15 mL ha ⁻¹
Metomil	215	215 g ha ⁻¹

*Conc. i.a = Concentração ingrediente ativo

Bioensaio para avaliação de sobrevivência de *T. pretiosum*

Para avaliar o efeito tóxico dos inseticidas sobre a sobrevivência dos parasitoides, fêmeas de *T. pretiosum* com até 24h de idade foram individualizadas em placas de Petri contendo discos foliares de soja (5 cm Ø), que foram imersos nas caldas dos diferentes tratamentos por 5 segundos. As folhas de soja foram deixadas para secar por duas horas à sombra (Bacci et al., 2007). A imersão das folhas de soja na calda se justifica, pois, os testes de toxicidade em laboratório submetem os insetos-teste a uma exposição máxima dos resíduos dos produtos fitossanitários (Sterk et al., 1999). Como alimento foi depositado uma gotícula de mel na parte superior da placa. O experimento foi mantido em câmaras climatizadas ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ UR e fotoperíodo de 12 horas).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 8 tratamentos (7 inseticidas + controle), com trinta repetições, sendo a unidade experimental constituída por uma placa de Petri com uma fêmea de *T. pretiosum* e uma folha de soja tratada com inseticida. Foi avaliada a mortalidade dos parasitoides nos intervalos de 1, 3, 6, 12 e 24 horas após exposição às folhas de soja tratadas com os inseticidas. Parasitoides incapazes de reagir no momento da avaliação foram considerados mortos, após cinco minutos de observação. A mortalidade nos tratamentos com inseticidas foi corrigida com a mortalidade do controle pela fórmula de Abbott (1925). Os resultados foram submetidos à análise de sobrevivência, utilizando o procedimento LIFETEST para estratificar as diferenças de sobrevivência dos insetos sob os efeitos dos inseticidas pelo programa System of Statistical Analyses - SAS (SAS Institute, 2001).

Bioensaio para avaliação de parasitismo de *T. pretiosum* em ovos de *H. armigera*

Fêmeas de *T. pretiosum* com até 24h de idade foram individualizados em tubos de vidro (2 mL) e alimentadas com uma gotícula de mel depositada na parede interna. Cartelas de cartolina azul celeste (0,4

x 2,0 cm), contendo 20 ovos de *H. armigera* foram imersas nas caldas dos diferentes tratamentos por 5 segundos, e após secagem por 2 horas em capela de exaustão, foram expostas ao parasitoide por 24 horas em câmaras climatizadas (25 ± 2 °C, $70 \pm 5\%$ UR e fotoperíodo de 12 horas). Após esse período, as fêmeas foram removidas e as cartelas com os ovos parasitados retornaram a câmaras climatizadas (25 ± 2 °C, $70 \pm 5\%$ UR e fotoperíodo de 12 horas), até a emergência dos adultos. Os efeitos dos inseticidas sobre *T. pretiosum* avaliados na geração F_0 foram: percentual de parasitismo, observado através do escurecimento dos ovos (Santos et al., 2016) e Redução do Parasitismo (RP), calculado pela fórmula: $\% \text{ redução} = 100 - [(m\acute{e}dia \text{ geral do tratamento inseticida} / m\acute{e}dia \text{ geral do tratamento controle}) \times 100]$. Em relação a F_1 foram avaliados: o percentual de emergência, a redução desta em relação à testemunha, a duração do ciclo (ovo-adulto), n° de indivíduos emergidos por ovo, longevidade das fêmeas e razão sexual (n° de fêmeas / (n° de fêmeas + n° de machos), sendo o dimorfismo sexual determinado pelas antenas, as quais nas fêmeas são clavadas e nos machos são plumosas (Valente et al., 2016). Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com vinte repetições por tratamento, sendo uma fêmea por repetição. Os resultados obtidos foram analisados quanto à homogeneidade de variância e normalidade, submetidos à análise de variância, comparando as médias pelo teste Tukey a 5%. Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico R version 3.0.3 (2014).

A partir dos resultados dos bioensaios os inseticidas foram classificados conforme percentual de redução da capacidade benéfica do parasitoide (sobrevivência, parasitismo e emergência), seguindo a recomendação da International Organization for Biological Control (IOBC): 1. Inócuo (< 30%); 2. Levemente nocivo (30 a 79%); 3. Moderadamente nocivo (80 a 99%); 4. Nocivo (> 99%) (Hassan, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seletividade de sete principais inseticidas recomendados para cultura da soja foi avaliada, sobre o parasitoide *T. pretiosum*, na fase adulta e em ovos de *H. armigera*, onde os produtos afetaram de forma variável as características biológicas do parasitoide. O controle químico é conhecido por ter alguns efeitos negativos em adultos de diferentes agentes de controle biológico (Bueno et al., 2008). Para os adultos de *T. pretiosum* que foram expostos às folhas de soja tratadas com os inseticidas testados, observou-se mortalidade dos parasitoides em todos os tratamentos (Figura 1).

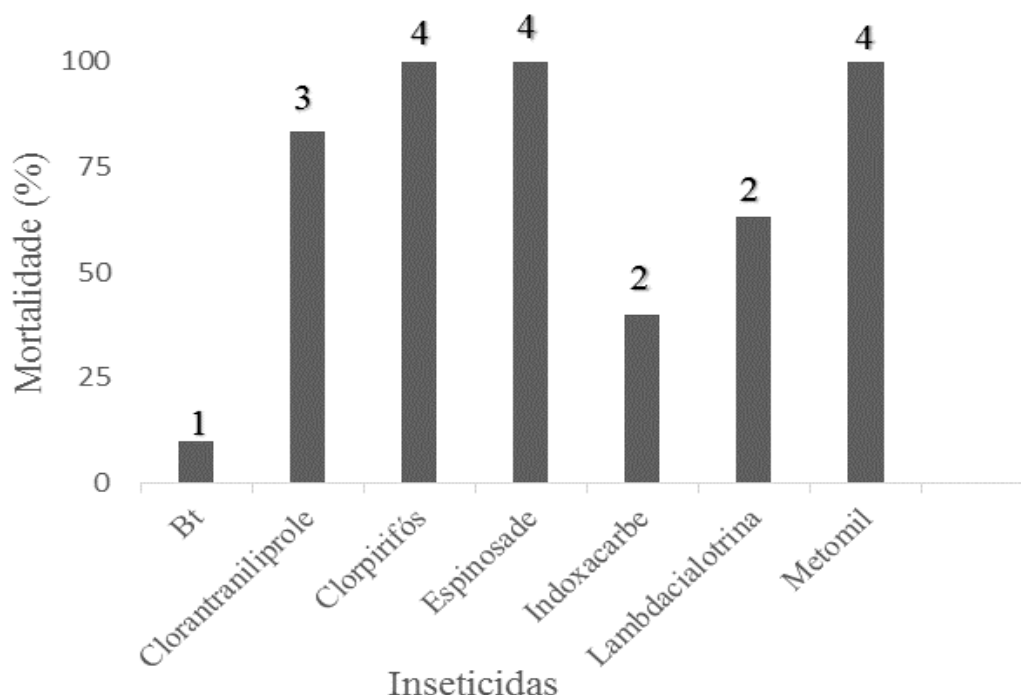


Figura 1. Mortalidade acumulada de *Trichogramma pretiosum* após 24 horas de exposição em diferentes inseticidas e classificação da seletividade dos inseticidas baseado no potencial de redução de sobrevivência: 1 = inócuo (<30%); 2 = levemente nocivo (30-79%); 3 = moderadamente nocivo (80-99%); 4 = nocivo (>99%). Fonte: os autores.

O *Bacillus thuringiensis* ocasionou 10% de mortalidade, sendo o único classificado como inócuo (Figura 1). A seletividade de *B. thuringiensis* a *T. pretiosum* foi relatada por Silva et al. (2015), que destacaram a necessidade da ingestão para ter um efeito nocivo sobre o inseto, e que por isso, o contato via tegumento não é capaz de contaminar os parasitoides.

Indoxacarbe e lambdacialotrina foram classificados como levemente nocivos e apresentaram 40 e 63,3% de mortalidade, respectivamente (Figura 1). O inseticida indoxacarbe também foi considerado levemente nocivo a *T. chilonis* (Sattar et al., 2011). Os piretroides são generalizados como prejudiciais para a maioria dos agentes de controle biológico (Pazini et al., 2016; Zantedeschi et al., 2018). Entretanto, segundo Bueno et al. (2008), nem sempre os resultados seguem essa classificação, como observado para lambdacialotrina nesse estudo.

Clorantianilprole ocasionou mortalidade superior a 80%, sendo considerado moderadamente nocivo (Figura 1). Para Brugger et al. (2010), o inseticida clorantianilprole foi seletivo ao parasitoide *T. pretiosum*. Essa variação na seletividade pode estar relacionada à dose de inseticida aplicada e a formulação (Bueno et al., 2017). De acordo com Liu et al. (2012), os efeitos negativos em *T. pretiosum* são proporcionais às concentrações, ou seja, quanto maior a concentração, maior o efeito negativo. Portanto,

altas concentrações de inseticidas podem afetar o controle biológico natural de pragas no campo (Grande et al., 2018).

Já os inseticidas espinosade, clorpirifós e metomil foram nocivos ao parasitoide, causando mortalidade em todos os indivíduos, após 24 horas de exposição (Figura 1). O espinosade é classificado como um inseticida de risco reduzido do ponto de vista ambiental e toxicológico. Contudo, parasitoides himenópteros são tidos como suscetíveis a esse produto e sua aplicação em um agroecossistema com *Trichogramma* deve ser cuidadosamente avaliada ou evitada (Liu et al., 2012), para viabilizar o uso de diferentes táticas de controle. Espinosade é um produto que apresenta forte toxicidade aguda nos parasitoides (Biondi et al., 2013). Narendra et al. (2013) observaram 100% de mortalidade em *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae) exposto a espinosade em condições de laboratório, além de relatarem que esse inseticida permaneceu altamente tóxico por até três dias em condições de campo.

Os organofosforados e os carbamatos são duas classes de inseticidas que são conhecidos por seus efeitos nocivos e incompatíveis com uso de inimigos naturais (Wang et al., 2012). Essas informações corroboram com os resultados de 100% de mortalidade dos parasitoides expostos a clorpirifós e metomil encontrados no presente estudo (Figura 1).

Os efeitos negativos dos inseticidas em inimigos naturais podem variar com o estágio de vida e concentração de inseticidas (Costa et al., 2014). Parasitoides adultos são o principal estágio de vida dos parasitoides para a supressão de pragas, sendo expostos aos resíduos de pesticidas com maior facilidade do que outros estágios de vida devido sua mobilidade e aos estágios imaturos estarem sob a proteção do córion do ovo hospedeiro (Carmo et al., 2010; Khan et al., 2015). A exposição dos parasitoides a inseticidas pode acontecer diretamente sob a forma de gotículas ou indiretamente aos resíduos úmidos e secos que permanecem na folhagem da cultura e nos ovos hospedeiros quando forrageiam (Wang et al., 2012; Khan et al., 2015).

Em relação ao parasitismo de *T. pretiosum* F₀, o inseticida *B. thuringiensis* não diferiu da testemunha sendo, portanto, seletivo ao parasitoide (Tabela 2). Clorantraniliprole, indoxacarbe e lambdacialotrina não diferiram quanto ao parasitismo. Entretanto, de acordo com o potencial de redução do parasitismo, apresentaram classificação de seletividade diferente.

Foram considerados inócuos ao parasitismo os produtos *B. thuringiensis*, indoxacarbe e lambdacialotrina. Estudos realizados por Paiva et al. (2018), com inseticida indoxacarbe, não encontraram redução no parasitismo de *T. pretiosum*. Clorantraniliprole foi levemente nocivo ao parasitismo. Esse inseticida foi considerado seletivo para adultos de *T. pretiosum* por Pazini et al. (2016), e não exerceu nenhum efeito sobre fases imaturas do parasitoide (Khan et al., 2017). Os inseticidas clorpirifós e espinosade foram moderadamente nocivos, e não diferiram entre si no percentual de parasitismo, sendo iguais estatisticamente ao inseticida metomil que foi classificado como nocivo (Tabela 2).

A inocuidade do inseticida também foi relatada para *Trichogramma japonicum* Ashmead (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Uma et al., 2014). Os inseticidas utilizados neste estudo foram produtos comerciais formulados, com ingredientes inertes além dos ingredientes ativos, que podem ser a causa dos efeitos adversos (Khan et al., 2017), como o observado pelo clorantianiliprole sobre a sobrevivência e parasitismo de *T. pretiosum*.

Tabela 2. Percentuais de parasitismo, redução do parasitismo da geração F₀ de *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* e classe de seletividade dos inseticidas.

Inseticidas	Parasitismo (%) *	PR (%)**	Classe***
<i>B. thuringiensis</i>	82,0±0,60a	2,95	1
Clorantianiliprole	56,3±0,61b	33,37	2
Clorpirifós	6,2±0,60c	92,60	3
Espinosade	6,2±0,60c	92,60	3
Indoxacarbe	61,5±0,59b	27,21	1
Lambdacialotrina	64,0±0,61b	24,37	1
Metomil	0,7±0,59c	99,11	4
Testemunha	84,5±0,60a	---	---
CV (%)	29,73	---	---

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; **PR = Potencial de redução no parasitismo comparado com a testemunha; *** Classes da IOBC para teste de seletividade: 1 = inócuo (<30%); 2 = levemente nocivo (30-79%); 3 = moderadamente nocivo (80-99%); 4 = nocivo (>99%).

O baixo percentual de parasitismo dos ovos de *H. armigera* tratados com estes produtos, indicam que as fêmeas de *T. pretiosum* tiveram o comportamento de forrageamento afetado pelos inseticidas (Khan et al., 2015). Concomitante, o tempo de sobrevivência do parasitoide exposto aos produtos pode explicar as diferenças entre os inseticidas (Figura 2). Os parasitoides que foram expostos aos inseticidas inócuos tiveram tempo médio de sobrevivência superior a vinte horas (Figura 2). Os produtos com maior toxicidade ao parasitoide, também foram os que causaram maior redução no parasitismo (clorpirifós, espinosade e metomil, respectivamente) (Figura 2).

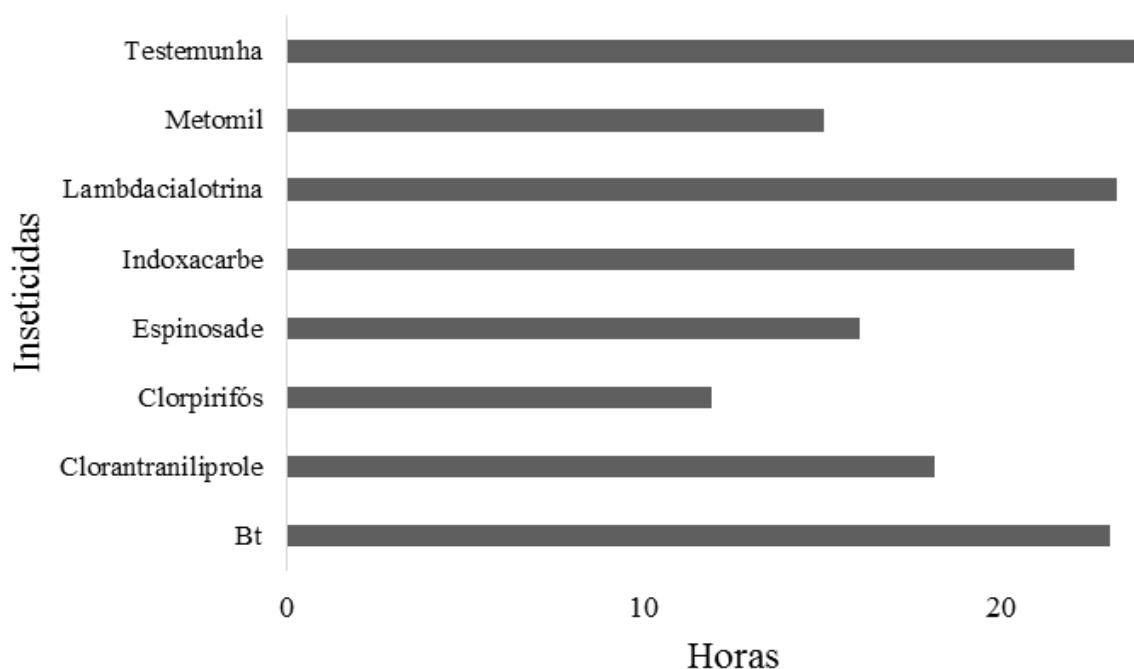


Figura 2. Tempo médio de sobrevivência de *Trichogramma pretiosum* exposto as folhas de soja tratadas com diferentes inseticidas. Fonte: os autores.

O percentual de emergência de *T. pretiosum* F₁ foi afetado pelos diferentes tratamentos (Tabela 3). Os tratamentos com clorpirifós, espinosade e metomil, apresentaram baixo parasitismo em ovos de *H. armigera* (Tabela 2), portanto, esses foram os que tiveram a menor emergência dos descendentes, no caso do clorpirifós (5,5%), classificado como moderadamente nocivo. Metomil e espinosade apresentaram redução de 100% da viabilidade, sendo estes classificados como nocivos quanto à emergência. Segundo Santos et al. (2016), o inseticida metomil reduziu o percentual de emergência de ovos de *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae) em 98,33%, corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho. Os demais produtos não diferiram da testemunha e foram seletivos quanto à emergência.

A redução na emergência do parasitoide causada por esses inseticidas pode estar relacionada com má-formação dos parasitoides que não conseguem romper o córion do ovo hospedeiro (Cormier et al., 2017). Alguns produtos tem a capacidade de atravessar o córion do ovo hospedeiro, esta habilidade dos inseticidas está relacionada a propriedades físico-químicas dos compostos nocivos em conjunto com as características do ovo (Costa et al., 2014; Stecca et al., 2017), interferindo na eficiência do controle biológico com o parasitoide do gênero *Trichogramma*. A presença dos inseticidas na superfície dos ovos pode ter mascarado as características físico-químicas do hospedeiro (Santos et al., 2016) e afetar a aceitação e a adaptação do parasitoide, o que pode interferir na agressividade e características biológicas (Valente et al., 2016).

Os produtos clorpirifós, espinosade e metomil foram prejudiciais ao *T. pretiosum*, não permitindo a associação desses produtos em conjunto com o parasitoide, devendo estes ser evitados sempre que possível em um programa MIP (Bueno et al., 2008). O uso de compostos seletivos, que têm alta toxicidade contra as espécies de pragas alvo, é importante desde que a dose recomendada não seja excedida (Anjum et al., 2016).

Tabela 3. Percentuais de emergência, redução da viabilidade da geração F₁ *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* e classe de seletividade dos inseticidas.

Inseticidas	Emergência (%) *	PR (%)**	Classe***
<i>B. thuringiensis</i>	88,2±0,83a	6,12	1
Clorantraniliprole	78,0±0,85a	17,02	1
Clorpirifós	5,5± 0,83b	94,15	3
Espinosade	0,0±0,52c	100,00	4
Indoxacarbe	91,0±0,83a	3,20	1
Lambdacialotrina	88,5±0,83a	5,85	1
Metomil	0,0±0,53c	100,00	4
Testemunha	94,0±0,83a	---	---
CV (%)	33.54	---	---

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** PR = Potencial de redução na viabilidade comparado com a testemunha; *** Classes da IOBC para teste de seletividade: 1 = inócuo (<30%); 2 = levemente nocivo (30-79%); 3 = moderadamente nocivo (80-99%); 4 = nocivo (>99%).

Todas as características biológicas avaliadas, dos descendentes F₁ de *T. pretiosum* foram significativamente afetadas pela aplicação de inseticidas nos ovos de *H. armigera* (Tabela 4). Foram analisados os efeitos dos inseticidas que apresentaram emergência de *T. pretiosum* (*B. thuringiensis*, indoxacarbe, lambdacialotrina e clorpirifós). A indução de efeitos subletais pelos inseticidas podem potencialmente modificar o equilíbrio de parasitoides e seus hospedeiros (Delpech, 2017). Costa et al. (2014) encontraram efeitos subletais, com características biológicas da geração F₁ alteradas, quando apenas a geração F₀ foi exposta aos inseticidas.

A duração do ciclo do parasitoide no hospedeiro foi em média de 10 dias para *B. thuringiensis*, indoxacarbe, lambdacialotrina, não diferindo da testemunha (Tabela 4). Clorantraniliprole e clorpirifós apresentaram um tempo de desenvolvimento menor, com 8 e 9 dias, respectivamente.

Tabela 4. Características biológicas da geração F₁ de *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* tratados com inseticidas.

Inseticidas	Duração do ciclo (dias)	Indivíduos por ovo	Razão sexual	Longevidade (dias)
<i>B. thuringiensis</i>	10,4±0,10a	1,2±0,07b	0,7±0,02b	12,3±0,22a
Clorantraniliprole	8,5±0,10b	1,6±0,072a	0,7±0,02b	8,9±0,23b
Clorpirifós	9,0±0,22b	0,2±0,07c	0,1±0,02c	1,00±0,22c
Indoxacarbe	10,00±0,10a	1,5±0,07ab	0,9±0,02a	9,9±0,23b
Lambdacialotrina	10,0±0,10a	1,5± 0,07ab	0,9±0,02a	9,9±0,22b
Testemunha	10,2±0,10a	1,2±0,07b	0,7±0,02b	12,4±0,22a
CV (%)	5,48	35,57	24,27	14,72

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O inseticida clorpirifós reduziu significativamente o número de indivíduos emergidos por ovo (Tabela 4). Os demais produtos apresentaram número de indivíduos emergidos superior a 1. Os ovos de *H. armigera* apresentam alta qualidade (Carvalho et al., 2017), assegurando quantidade de nutrientes suficiente para mais de um indivíduo. Clorantraniliprole, indoxacarbe e lambdacialotrina apresentaram maior número de indivíduos emergidos que a testemunha e *B. thuringiensis*. Esse aumento no número de indivíduos por ovo em relação ao tratamento testemunha pode indicar ocorrência de hormese, que é a relação de dose-resposta bifásica que se caracteriza por uma reversão da resposta entre doses baixas e altas de um estressor (Guedes et al., 2013).

A razão sexual de *B. thuringiensis*, clorantraniliprole e da testemunha não diferiram entre si e o número de fêmeas foi superior a 70% (Tabela 4). Os inseticidas indoxacarbe e lambdacialotrina ocasionaram um aumento na razão sexual, com 94% dos indivíduos fêmeas. O inseticida clorpirifós causou redução na razão sexual, sugerindo que fêmeas de *T. pretiosum* são mais susceptíveis ao inseticida (Costa et al., 2014).

A longevidade dos descendentes de *T. pretiosum* oriundos de ovos tratados com *B. thuringiensis* e água (testemunha) foi em média de 12 dias, enquanto que para indoxacarbe e lambdacialotrina a longevidade foi 9 dias, para clorantraniliprole 8 dias e para clorpirifós apenas 1 dia (Tabela 4). A redução da longevidade dos descendentes dos ovos tratados com clorpirifós pode estar relacionada a mortalidade dos adultos recém-emergidos devido à ingestão acidental durante a emergência ou pelo contato de ovos tratados após o surgimento do parasitoide (Firake et al., 2017). O clorpirifós ocasiona a morte por agir inibindo a transmissão do impulso nervoso através das sinapses (Casida et al., 2013) e a toxicidade do

inseticida é relatada em *T. pretiosum* (Amaro et al., 2015). O clorpirifós é prejudicial para *T. pretiosum* independentemente do momento em que o parasitoide é exposto a ovos do hospedeiro tratados com o inseticida (Souza et al., 2013). Parasitoides mais longevos podem apresentar maior eficiência em campo. No entanto, a capacidade de parasitismo deve ser conhecida, pois, quando concentrada nos primeiros dias, não haverá necessidade de indivíduos mais longevos em campo (Valente et al., 2016).

O único inseticida compatível com *T. pretiosum* em todas as avaliações foi *B. thuringiensis*. O inseticida foi classificado como seletivo para sobrevivência, parasitismo e emergência, além de não apresentar efeitos subletais a geração F₁. A compatibilidade entre *T. pretiosum* e *B. thuringiensis* já havia sido relatada por Silva et al. (2015). O inseticida também é seletivo a outras espécies como *Trichogramma cacoeciae* Marchal, *Trichogramma bourarachae* Pintureau & Babault e *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Ksentini et al., 2010). A ordem Hymenoptera tende a não apresentar susceptibilidade a toxinas de *B. thuringiensis* (Spagnol et al., 2017).

Existe uma forte tendência para que os inimigos naturais sejam mais suscetíveis a inseticidas em comparação com seus hospedeiros (Khan et al., 2015), desse modo conhecer a seletividade de inseticidas recomendados para a cultura da soja sobre *T. pretiosum* constitui uma importante ferramenta para o manejo de *H. armigera*.

CONCLUSÃO

Bacillus thuringiensis é recomendado para utilização em conjunto com *T. pretiosum* em cultivos de soja. Em contrapartida, o uso de metomil deve ser evitado, uma vez que esse inseticida é nocivo ao parasitoide. A utilização de clorantprilprole, clorpirifós, espinosade, indoxacarbe e lambdacialotrina deve ser analisada para uso em programas de MIP com o *T. pretiosum*, para esses inseticidas mais estudos devem ser realizados em condições de semi-campo e campo, já que os inseticidas podem ter um impacto negativo menor nessas condições.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott WS (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. econ. Entomol, 18(2): 265-267.
- Abid AD et al. (2020). Field evaluation of nucleopolyhedrosis virus and some biorational insecticides against *Helicoverpa armigera* Hubner (Noctuidae: Lepidoptera). Saudi Journal of Biological Sciences, 27(8): 2106-2110.
- AGROFIT. (2018). Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Disponível em:<http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 20 de janeiro de 2018.

- Amaro JT et al. (2015). Selectivity of organic products to *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Neotropical entomology, 44(5): 489-497.
- Anjum F et al. (2016). Relative toxicity of insecticides to the crucifer pests *Plutella xylostella* and *Myzus persicae* and their natural enemies. Crop Protection 88: 131-136.
- Bacci L et al. (2007). Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies. Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 63(7): 699-706.
- Barzman M et al. (2015). Eight principles of integrated pest management. Agronomy for sustainable development, 35(4): 1199-1215.
- Behere GT et al. (2013). Population genetic structure of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) in India as inferred from EPIC-PCR DNA markers. PLoS One 8(1): e53448.
- Biondi A et al. (2013). Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects?. PLoS One 8(9): e76548.
- Brugger KE et al. (2010). Selectivity of chlorantraniliprole to parasitoid wasps. Pest Management Science, 66(10): 1075-1081.
- Bueno AF et al. (2009). Effects of pesticides used in soybean crops to the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. Ciência Rural, 38(6): 1495-1503.
- Bueno AF et al. (2017). Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. Ciência Rural, 47(6): 1-10.
- Carmo EL et al. (2010). Pesticide selectivity for the insect egg parasitoid *Telenomus remus*. BioControl, 55(4): 455-464.
- Dos Santos Carvalho G et al. (2017). Biological parameters of three *Trichogramma pretiosum* strains (Riley, 1879) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805) (Lepidoptera: Noctuidae). Acta Scientiarum. Biological Sciences, 39(3): 349-355.
- Casida JE et al. (2013). Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. Annual review of entomology, 58: 99-117.
- Cormier D et al. (2017). Effects of two reduced-risk insecticides on the egg parasitoid *Trichogramma minutum* in apple orchards. IOBC-WPRS Bulletin 123: 110-114.
- Costa MA et al. (2014). Sublethal and transgenerational effects of insecticides in developing *Trichogramma galloi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Ecotoxicology 23(8): 1399-1408.
- Delpuech JM. (2017). Elicitation of superparasitization behavior from the parasitoid wasp *Leptopilina boulardi* by the organophosphorus insecticide chlorpyrifos. Science of The Total Environment, 580: 907-911.
- Firake DM et al. (2017). Eco-toxicological risk and impact of pesticides on important parasitoids of cabbage butterflies in cruciferous ecosystem. Chemosphere, 168: 372-383.

- Ghodke A B et al. (2013). Isolation and in vitro identification of proteinase inhibitors from soybean seeds inhibiting *Helicoverpa* gut proteases. *Journal of plant interactions*, 8(2): 170-178.
- Goulart RM et al. (2012). Insecticide selectivity to two species of *Trichogramma* in three different hosts, as determined by IOBC/WPRS methodology. *Pest management Science*, 68(2): 240-244.
- Grande MLM et al. (2018). Effect of increasing rate of insecticides on its selectivity for *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Semina: Ciências Agrárias*, 39(3): 933-946.
- Guedes RNC et al. (2013). Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest Management Science*, 70(5): 690-697.
- Guerra WD et al. (2014). Molecular identification of a parasitic fly (Diptera: Tachinidae) from the introduced *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Entomology, Ornithology & Herpetology*, 3(3): 1.
- Hassan SA (1997). Métodos padronizados para testes de seletividade, com ênfase em *Trichogramma*. *Trichogramma eo controle biológico aplicado*. 354.
- Hazarika S et al. (2016). Efficacy of local isolate of *Nomuraea rileyi* (Farlow) Sampson against *Helicoverpa armigera* (Hubner). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4: 167-169.
- IOBC (2018). Pest Select Database: a new tool to use selective pesticide for IPM. IOBC- International Organization for Biological Control. Disponível em: https://www.iobc-wprs.org/ip_ipm/archive/IPM_Future_Jansen_20130320.pdf. Acesso em: 20 de janeiro de 2018.
- Kasten JR et al. (1978). Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. *Revista de Agricultura*, 53(1): 68-78.
- Khan MA et al. (2017). Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 73: 2465–2472.
- Khan MA et al. (2015). Lethal and behavioral effects of selected novel pesticides on adults of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 71(12):1640-1648.
- Ksentini I et al. (2010). *Bacillus thuringiensis*, deltamethrin and spinosad side-effects on three *Trichogramma* species. *Bulletin of Insectology*, 63(1): 31-37.
- Leite NA et al. (2014). Demographics and genetic variability of the new world bollworm (*Helicoverpa zea*) and the old-world bollworm (*Helicoverpa armigera*) in Brazil. *PLoS One*, 9(11): e113286.
- Liu TX et al. (2012). Side effects of two reduced-risk insecticides, indoxacarb and spinosad, on two species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on cabbage. *Ecotoxicology*, 21: 2254-2263.
- Narendra G et al. (2013). Effect of insecticides on some biological parameters of *Trichogramma chilonis* Ishii (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Biological Control*, 21(2): 130-134.

- Oliveira HN et al. (2016). Parasitism of *Helicoverpa armigera* pupae (Lepidoptera: Noctuidae) by *Tetrastichus howardi* and *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae). *Semina: Ciências Agrárias*, 37(1): 111-115.
- Paiva ACR et al. (2018). Sublethal effects of insecticides used in soybean on the parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ecotoxicology*, 27: 1-9.
- Parsaeyan E et al. (2018). Effects of emamectin benzoate and cypermethrin on the demography of *Trichogramma brassicae* Bezdenko. *Crop Protection*, 110: 269-274.
- Pazini JDB et al. (2016). Selectivity of pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma pretiosum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(3): 327-335.
- Pinto JD (1999). Systematics of the North American species of *Trichogramma* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Entomological Society of Washington. 287p.
- Querino RB (2002). Relative warp analysis to study morphological variations in the genital capsule of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Neotropical Entomology*, 31: 217-224.
- R CORE TEAM R (2014). A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing.
- Saber M et al. (2013). Acute toxicity and sublethal effects of methoxyfenozide and thiodicarb on survival, development and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 43: 14-17.
- Santos VPD et al. (2016). Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) submitted to insecticides and fungicides in two hosts. *Revista Ceres*, 63(5): 653-660.
- Sas Institute (Cary, Estados Unidos). (2001). SAS user's guide: statistics 8.2. Cary. 1028p.
- Sattar S et al. (2011). Toxicity of some new insecticides against *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory and extended laboratory conditions. *Pakistan Journal of Zoology*, 43(6): 1117-1125.
- Silva DMD et al. (2015). Organic products selectivity for *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Arquivos do Instituto Biológico*, 82: 1-8.
- Siqueira JR et al. (2012). Host preference of the egg parasitoid *Trichogramma pretiosum*. *Ciência Rural*, 42: 1-5.
- Souza JR et al. (2013). Impact of insecticides used to control *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) in corn on survival, sex ratio, and reproduction of *Trichogramma pretiosum* Riley offspring. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2): 122-127.
- Spagnol D et al. (2017). Compatibilidade de milho transgênico com o parasitoide *Trichogramma pretiosum*. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16(1): 43-51.

- Stecca CS et al. (2017). Impact of Insecticides Used in Soybean Crops to the Egg Parasitoid *Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae). Neotropical entomology, 47(2), 281-291.
- Stein CP et al. (1987). Uso da radiação para inviabilizar ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) visando estudos com *Trichogramma* spp. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, 16(1): 229-231.
- Sterk G et al. (1999). Results of the seventh joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-Working Group 'Pesticides and Beneficial Organisms'. BioControl, 44: 99-117.
- Tahir HM (2017). Indirect effect of spiders on herbivory of insects: A review. Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(4): 753-757.
- Uma S et al. (2014). Acute contact toxicity of selected conventional and novel insecticides to *Trichogramma japonicum* Ashmead (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Journal of Biopesticides, 7:133-136.
- Valente ECN et al. (2016). Performance of *Trichogramma galloi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae). Pesquisa Agropecuária Brasileira, 51(4): 293-300.
- Vincent DL, Goodpasture C. Three new species of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from North America. Entomological Society of Washington, 1: 491-501.
- Voegelé JJ et al. (1980). Une nouvelle espèce de *Trichogramme*, *Trichogramma maxacalii* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Annales Sociedade Entomologica. 16: 599-603.
- Wang J et al. (2017). CRISPR/Cas9 mediated genome editing of *Helicoverpa armigera* with mutations of an ABC transporter gene HaABCA2 confers resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry2A toxins. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 87(1): 147-153.
- Wang Y et al. (2012). Susceptibility of adult *Trichogramma nubilale* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to selected insecticides with different modes of action. Crop protection, 34: 76-82.
- Wei Y et al. (2017). Baseline Susceptibility of Field Populations of *Helicoverpa armigera* to *Bacillus thuringiensis* Vip3Aa Toxin and Lack of Cross-Resistance between Vip3Aa and Cry Toxins. Toxins, 9(4): 127-133.
- Zantedeschi R et al. (2018). Toxicity of soybean-registered agrochemicals to *Telenomus podisi* and *Trissolcus basalidis* immature stages. Phytoparasitica, 46(2): 203-212.

Alterações morfológicas em variedades de cana-de-açúcar induzidas pela restrição hídrica

Recebido em: 20/04/2022

Aceito em: 22/04/2022

 10.46420/9786558722694cap4

Kátia Cristina da Silva¹ 

Michele dos Santos Leite² 

Diógenes Martins Bardivieso¹ 

Alan Mario Zuffo³ 

Fábio Steiner^{1*} 

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com uma área plantada de cerca de 8,48 milhões de hectares e produção de 568 milhões de toneladas de colmos produzidos na safra 2021/2022 (Conab, 2022). A produtividade brasileira estimada na safra 2021/2022 foi de 68,8 Mg ha⁻¹, considerada baixa quando comparada com o potencial de produção da cultura que é superior à 200 Mg ha⁻¹ (Santos; Borém, 2013). A ocorrência de adversidades climáticas, especialmente a deficiência hídrica tem sido apontada como um dos principais fatores que contribuem para a baixa produtividade da cultura no Brasil (Silva et al., 2008; Pincelli; Silva, 2012).

A frequência e a intensidade da deficiência hídrica constituem os fatores mais importantes à limitação do crescimento das plantas e da produção da cana-de-açúcar. Na região do Cerrado, a ocorrência de deficiência hídrica tem sido frequente e as perdas, na produtividade de colmos podem chegar à 70% em alguns anos (Marin et al., 2013). Portanto, estudos que visam identificar variedades com maior tolerância à seca são importantes para impulsionar a produção agrícola em regiões com ocorrência de deficiência hídrica, como a região do Cerrado.

A restrição hídrica afeta diversos processos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos nas plantas, e as respostas das plantas de cana-de-açúcar à restrição hídrica dependem do genótipo, do estágio de desenvolvimento da planta, da severidade e da duração da restrição hídrica, dentre outros fatores ambientais (Pincelli; Silva, 2012; Vieira et al., 2014). Plantas expostas às condições de deficiência hídrica possuem redução da condutância estomática, da taxa de transpiração, da área foliar, da taxa fotossintética,

¹ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. MS 306, km 6.4, CEP 795400-000, Cassilândia, MS, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Rod. Graziela Maciel Barroso, km 12, CEP 79200-000, Aquidauana, MS, Brasil.

³ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

* Autor correspondente: steiner@uems.br

redução da taxa de crescimento relativo (Silva et al., 2007; Silva et al., 2008; Patanè et al., 2013; Naghavi et al., 2013; Vieira et al., 2014), além, de modificações na atividade das enzimas do metabolismo do nitrogênio e carbono e mudanças nos níveis de antioxidantes (Flexas et al., 2006).

Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos adversos da deficiência hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca. De acordo com Nepomuceno et al. (2001), a identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são fatores fundamentais para o desenvolvimento de novas variedades comerciais com maior tolerância à deficiência hídrica.

As variedades de cana-de-açúcar podem possuir mecanismos diferenciados de tolerância à seca. Estes mecanismos visam manter o crescimento e o desenvolvimento das plantas em condições de baixa disponibilidade de água no solo. As principais características para tolerância à seca das variedades estão relacionadas à eficiência do uso da água pelas plantas, à redução na área foliar, à redução da altura das plantas e à capacidade das raízes em explorar camadas mais profundas do solo (Pincelli; Silva, 2012; Ferreira et al., 2017).

Diferenças genéticas na tolerância à seca têm sido reportadas em variedades brasileiras de cana-de-açúcar (Silvério et al., 2017), o que pode ser útil na identificação de genótipos mais adaptados ao cultivo em regiões com longos períodos de restrição hídrica durante o ano. No entanto, a identificação de genótipos tolerantes à seca não é uma tarefa fácil devido ao fato de ocorrer fortes interações entre genótipos e ambiente, além do conhecimento restrito a respeito da função e do papel dos mecanismos de tolerância (Naghavi et al., 2013).

Este estudo foi conduzido com o objetivo de verificar as alterações morfológicas de treze variedades de cana-de-açúcar quando cultivadas sob níveis de deficiência hídrica moderada e severa.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em condições de casa de vegetação na Estação Experimental Agronômica na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), no período de novembro de 2018 a abril de 2019. As condições ambientais no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento foram de 26 °C ($\pm$ 2 °C) de temperatura média do ar e 68% ($\pm$ 6%) à umidade relativa do ar. Foram utilizados vasos plásticos com 12 dm³ de capacidade, preenchidos com 11 dm³ de solo arenoso peneirado em malha de 5,0 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – NQo (Santos et al., 2018), coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. As principais características químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) = 4,6, matéria orgânica = 14 g dm⁻³, P (Mehlich⁻¹) = 7,8 mg dm⁻³, K⁺ = 0,16 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 1,50 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 0,50 cmol_c dm⁻³, H⁺ + Al³⁺ = 3,60 cmol_c dm⁻³, Al³⁺ = 0,25 cmol_c dm⁻³, CTC = 5,80 cmol_c dm⁻³ e 38% de saturação

por bases. Todas as análises químicas foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira et al. (2017). A capacidade de retenção de água do solo sob condições de drenagem livre foi mensurada usando a taxa de decréscimo do teor de água de $0,1 \text{ g kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ como sugerido por Casaroli e Lier (2008), e o valor da capacidade máxima do solo em reter água foi de 210 g kg^{-1} .

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de $1,10 \text{ g}$ de calcário por dm^3 de solo (CaO: 38%; MgO: 11%; PRNT: 85%; e, PN: 62%), visando elevar a saturação por base do solo a 70% (Sousa & Lobato, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi homogeneizado, umedecido até alcançar 80% da capacidade de retenção de água, e incubado por 30 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 50 mg dm^{-3} de N (ureia), 250 mg dm^{-3} de P (superfosfato simples), 100 mg dm^{-3} de K (cloreto de potássio), 15 mg dm^{-3} de S (gesso agrícola), 2 mg dm^{-3} de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm^{-3} de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm^{-3} de Mo (molibdato de amônio) e 1 mg dm^{-3} de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais et al. (1991) para ensaios em vasos sob condições de casa de vegetação. Aos 30 e 60 dias após o transplântio das mudas de cana-de-açúcar também foram aplicados 50 mg dm^{-3} de N em cobertura na forma de ureia (45% de N).

Tabela 1. Principais características agrônômicas das 13 variedades de cana-de-açúcar utilizadas no estudo.

Variedade	Exigência em ambientes	Velocidade de crescimento	Potencial de perfilhamento	Porte
CTC2	Média-Alta restrição	Rápido	Alto	Alto
CTC4	Alta-Média restrição	Regular	Médio	Alto
IACSP95-5000	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB825336	Baixa restrição	Regular	Alto	Médio
RB835054	Média-Alta restrição	Lento	Médio	Médio
RB855035	Baixa-Média restrição	Regular	Médio	Médio
RB855156	Baixa-Média restrição	Rápida	Médio	Médio
RB855453	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB855536	Alta restrição	Regular	Médio	Médio
RB867515	Média restrição	Rápido	Médio	Alto
RB965902	Média restrição	Rápido	Alto	Alto
RB966928	Média restrição	Rápido	Alto	Médio
SP80-1842	Alta restrição	Lento	Médio	Médio

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 3×13 , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos por três níveis de manejo da irrigação [100% da capacidade de retenção de água do solo (controle), 50% do controle (estresse moderado) e 25% do controle (estresse severo)] e por treze variedades de cana-de-açúcar (Tabela 1). Cada unidade experimental foi constituída por um vaso plástico de 12 L contendo uma planta, perfazendo um total de 117 vasos.

Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) de 3,0 cm de comprimento utilizados para a produção das mudas pré-brotadas foram extraídos de colmos-sementes provenientes de um viveiro de multiplicação de 10 meses de idade das treze variedades de cana-de-açúcar, localizado na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, em Cassilândia (MS). As mudas pré-brotadas foram produzidas em caixas plásticas ($42 \times 28 \times 6$ cm), preenchidas com substrato comercial (Carolina Soil®), como mostrado da Figura 1.

O transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) das variedades de cana-de-açúcar para os vasos plásticos foi realizado aos 18 dias após a brotação (Figura 2).



Figura 1. Ilustração do plantio dos minirrebolos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em bandejas plásticas contendo substrato comercial para a produção das mudas pré-brotadas (MPB). UEMS/Cassilândia (MS). Fotos: F. Steiner, 2019.

Após o transplântio as plantas foram mantidas em condições controladas de casa de vegetação por um período total de 100 dias. Durante os primeiros 65 dias, todos os tratamentos foram diariamente irrigados para manter o conteúdo de água próximo a 100% da capacidade de retenção de água do solo (Figura 3). Posteriormente, a imposição da restrição hídrica (50% e 25% da capacidade de retenção de água do solo) foi realizada por um período de 35 dias. O conteúdo de água no solo foi monitorado

diariamente nos períodos da manhã e da tarde (9:00 e 15:00 horas) com o sensor Three-way Meter, instalado no centro dos vasos de cada tratamento, na profundidade de 12 cm.



Figura 2. Ilustração das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) aos 10 dias após o transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) para os vasos plásticos de 12 L. UEMS/Cassilândia (MS). Fotos: F. Steiner, 2019.



Figura 3. Ilustração do crescimento das plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) aos 65 dias após o transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) e mantidas em condições de casa de vegetação com irrigação para manter a umidade do solo em 100% da capacidade de retenção de água do solo. UEMS/Cassilândia. Fotos: F. Steiner, 2019.

Após os 35 dias de exposição à deficiência hídrica, as plantas foram retiradas dos vasos, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1,0 mm, para remoção do solo. Em seguida, foram mensuradas as seguintes características morfológicas: altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas por planta (NFP), número de perfilhos por planta (NPP), área foliar (AF), volume radicular (VR), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR) e matéria seca total (MST). A razão parte aérea/raiz (MSPA/MSR) foi calculada dividindo-se a matéria seca da parte aérea pela massa seca do sistema radicular.

A altura de planta (AP), em centímetros, foi determinada a partir do nível do solo até a altura de inserção da folha +1 (sistema de numeração de Kuijper), utilizando uma fita métrica. O diâmetro do colmo (DC), em milímetros, foi mensurado na base do colmo principal, utilizando um paquímetro digital. O número de folhas por perfilho foi obtido por meio da divisão do número total de folhas computadas pelo número de perfilhos.

A área foliar (AF, em dm^2) foi mensurada seguindo metodologia proposta por Benincasa (2003), com modificações. Após a separação de todas as folhas das plantas, foram retirados 10 discos foliares de área conhecida ($15,0 \text{ cm}^2$), que foi considerada a área foliar da amostra (AF_{Amostra}). Em seguida, após a secagem em estufa à 65°C , por 72 horas, foi determinada a massa seca da amostra (MS_{Amostra}) e a massa de matéria seca das folhas (MSF). A área foliar total (AF) foi obtida por meio da seguinte equação: $AF = [(AF_{\text{Amostra}} \times MSF) / MS_{\text{Amostra}}] / 100$. O volume radicular (VR, em cm^3) foi determinado pelo método de deslocamento de água, utilizando uma proveta de volume conhecido de água (1.000 mL) graduada em mililitros (mL).

A determinação da massa de matéria seca da parte aérea (folhas + colmos) e das raízes foi realizada após a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar à 65°C , por 72 horas, e os resultados expressos em g/planta. A matéria seca total (MST) foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folhas, colmos e raízes).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos níveis de deficiência hídrica e das variedades de cana-de-açúcar foram comparadas, respectivamente, pelos testes t (LSD) e Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância reportou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) da interação entre os fatores variedades de cana-de-açúcar e nível de deficiência hídrica para a maioria das características morfológicas das plantas, exceto para altura de planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos. A existência de interação significativa para a maioria das características morfológicas das plantas indica que as variedades de cana-de-açúcar possuem respostas distintas quando são expostas à níveis de deficiência hídrica.

Tabela 2. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na altura de planta, diâmetro do colmo e número de perfilhos por planta para as 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle	Moderada	Severa	
	(100% CRA)	(50% CRA)	(25% CRA)	
Altura de planta (cm)				
CTC2	107,0	77,7	76,0	86,9 b
CTC4	95,0	75,7	69,0	79,9 c
IACSP95-5000	71,3	47,0	45,7	54,7 e
RB825336	87,7	71,0	57,3	72,0 d
RB835054	77,3	58,3	62,0	65,9 d
RB855035	106,3	94,7	84,7	95,2 a
RB855156	92,0	71,3	61,3	74,9 c
RB855453	94,0	68,3	66,7	76,3 c
RB855536	81,3	57,7	50,0	63,0 d
RB867515	95,0	80,3	65,7	80,3 c
RB965902	89,0	84,3	64,0	79,1 c
RB966928	110,7	92,0	76,6	93,1 a
SP80-1842	91,3	85,0	80,3	85,6 b
Média	92,1 A	74,1 B	66,1 C	
Diâmetro do colmo (mm)				
CTC2	20,6	19,3	17,7	19,2 c
CTC4	19,9	20,4	18,6	19,6 c
IACSP95-5000	20,3	19,7	19,2	19,8 c
RB825336	19,5	20,1	19,5	19,7 c
RB835054	22,1	21,2	20,2	21,1 b
RB855035	19,3	19,5	20,0	19,6 c
RB855156	21,3	21,6	19,3	20,7 b
RB855453	26,3	24,1	22,2	24,2 a
RB855536	20,5	19,5	19,3	19,7 c

RB867515	24,8	24,1	23,1	24,0 a
RB965902	21,0	22,6	19,9	21,2 b
RB966928	22,0	21,0	21,3	21,4 b
SP80-1842	19,4	19,0	18,9	19,1 c
Média	21,3 A	20,9 A	19,9 B	
Número de perfilhos por planta				
CTC2	10,33	11,00	8,33	9,89 a
CTC4	8,67	8,33	8,33	8,44 b
IACSP95-5000	7,00	7,33	7,33	7,22 c
RB825336	9,00	9,33	6,67	7,78 b
RB835054	5,33	5,00	6,00	5,44 d
RB855035	8,33	7,67	7,33	7,78 b
RB855156	6,67	7,00	6,67	6,78 c
RB855453	5,33	6,00	5,67	5,67 d
RB855536	7,00	7,67	7,33	7,89 b
RB867515	6,00	5,33	6,67	6,00 d
RB965902	7,33	6,00	7,33	6,89 c
RB966928	5,67	8,33	7,33	7,11 c
SP80-1842	8,00	7,33	5,67	7,00 c
Média	7,28 A	7,41 A	6,97 A	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

A altura de planta foi maior nas variedades RB855035 e RB965902, e menor na variedade de cana-de-açúcar IACSP95-5000 (Tabela 2). O diâmetro de colmo foi maior nas variedades RB855453 e RB867515, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855035, RB855536 e SP801842 (Tabela 2). O NPP foi maior na variedade CTC2, seguida das variedades CTC4, RB825336, RB855035 e RB855536, e menor potencial de perfilhamento nas variedades RB835054, RB855453 e RB867515 (Tabela 2). Essas diferenças entre as variedades de cana-de-açúcar para as principais características de crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser devido a característica e a variabilidade genética dos genótipos de cana-de-açúcar utilizados neste estudo. A altura de planta, o diâmetro do colmo e o potencial de perfilhamento de uma variedade de cana-de-açúcar são

características morfológicas determinadas pela característica genética do genótipo, e afetadas pelas condições edafoclimáticas do ambiente de cultivo (Inman-Bamber; Smith, 2005).

Os níveis de deficiência hídrica afetaram a altura e o diâmetro do colmo das plantas de cana-de-açúcar, ao passo que o número de perfilhos por planta não foi influenciado pelos níveis de deficiência hídrica (Tabela 2). A exposição das plantas de cana-de-açúcar aos níveis de deficiência hídrica resultou no menor crescimento em altura e em diâmetro das plantas, especialmente em condições de restrição hídrica severa. O nível de deficiência hídrica moderada e severa resultou na redução média de 19% e 28% na altura das plantas, respectivamente, quando comparado às plantas em condições controle. Por sua vez, as plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram, em média, redução de 6% no diâmetro do colmo quando comparadas às plantas em condições controle. Estes resultados indicam que a menor disponibilidade de água no solo limitou o crescimento das plantas de cana-de-açúcar. Resultados semelhantes foram relatados por Maia-Júnior et al. (2018), os quais constataram que a altura das plantas de cana-de-açúcar foi reduzida em 38% quando expostas às condições de restrição hídrica severa.

A deficiência hídrica é um importante estresse abiótico que por alterar diversos processos metabólicos da planta, afeta diretamente o seu crescimento e desenvolvimento. Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), a altura da planta é uma característica morfológica altamente sensível à restrição hídrica por ser o crescimento o resultado da divisão e do alongamento celular, levando a redução da assimilação do CO₂ e desenvolvimento da planta (Taiz et al., 2017).

Efeitos negativos da restrição hídrica no crescimento das plantas de cana-de-açúcar também foram reportados por Batista et al. (2015), os quais avaliando os efeitos da deficiência hídrica nas características morfológicas das variedades RB92579, RB855453, RB867515 e RB928064, verificaram redução de até 60% na altura e de até 25% no diâmetro do colmo das plantas expostas à restrição hídrica severa. Avaliando o crescimento das variedades de cana-de-açúcar RB835486 e RB867515 em duas condições de disponibilidade hídrica, Macêdo et al. (2012) também constataram que a deficiência hídrica resultou no menor diâmetro dos colmos. No entanto, Oliveira et al. (2010) afirmaram que a restrição hídrica tem pouco efeito em modificar a espessura do diâmetro dos colmos de cana-de-açúcar, principalmente porque esta característica morfológica tem maior influência do material genético do que das condições ambientais de cultivo.

No entanto, o maior ou menor impacto negativo da deficiência hídrica no crescimento em altura das plantas de cana-de-açúcar é determinado pela característica genética de tolerância do genótipo à condição de restrição hídrica (Silva et al., 2008; Machado et al., 2009). Avaliando o desenvolvimento de 25 variedades de cana-de-açúcar em diferentes níveis de deficiência hídrica, Silva et al. (2008) reportaram que apenas dez genótipos de cana-de-açúcar foram considerados tolerantes ao avaliar a altura sob condições de baixa disponibilidade de água do solo. Estes autores também reportaram as diferenças na

altura das plantas quando cultivadas sob condições de restrição hídrica podem ser um indicativo de tolerância e/ou suscetibilidade da variedade de cana-de-açúcar.

O potencial de perfilhamento das plantas de cana-de-açúcar não foi influenciado pelas condições de deficiência hídrica moderada e severa (Tabela 2). Resultados contrários foram reportados por Oliveira et al. (2010), os quais avaliando as características morfológicas de 11 variedades de cana-de-açúcar sob condições de restrição hídrica, constataram que a taxa de perfilhamento da maioria das variedades de cana-de-açúcar foi limitado pela menor disponibilidade de água do solo. De modo similar, avaliando o potencial de produção de 78 genótipos de cana-de-açúcar sob condições de restrição hídrica, Silva et al. (2008) reportaram redução de 16% no número de perfilhos por planta.

Considerando que a deficiência hídrica pode ocorrer durante todo o ciclo da cultura, os efeitos adversos da restrição hídrica na produtividade de colmos estão diretamente relacionados com o estágio de desenvolvimento da planta (Oliveira et al., 2016), com a intensidade e duração da restrição hídrica (verânico ou seca prolongada) e com velocidade de exposição da restrição hídrica (Silva et al., 2007; Silva et al., 2008). A cultura da cana-de-açúcar é, particularmente, suscetível à deficiência hídrica durante a fase de brotação e estabelecimento das plantas e na fase de perfilhamento, período compreendido do plantio até os 90-120 dias (Oliveira et al., 2016). A ocorrência de deficiência hídrica durante estas fases iniciais de desenvolvimento pode acarretar redução da condutância estomática, da taxa de fotossíntese, e menor potencial de perfilhamento e menor altura de planta (Zhao et al., 2010), podendo ocorrer perdas significativas de produção de colmos, dependendo da duração e intensidade da restrição hídrica (Silva et al., 2008). Segundo Landell & Silva (2004), as principais características morfológicas que possuem efeito direto no potencial de produção da cultura são altura de planta, diâmetro de colmo e número de perfilhos.

Os resultados para o número de folhas por perfilho, área foliar e volume radicular das variedades de cana-de-açúcar em função dos níveis de deficiência hídrica são mostrados na Tabela 3. Em condições controle sem restrição hídrica, o número de folhas variou de 7,25 a 9,28 folhas por perfilho, sendo maior nas variedades RB835054, RB855035, RB855453, RB867515, RB965902 e RB 966928. Em condições de deficiência hídrica moderada, o número de folhas foi maior nas variedades RB835054, RB855453 e RB867515, e menor nas variedades CTC2, RB825336, RB855536 e RB966928.

Por sua vez, quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica severa, as variedades RB825336, RB855156, RB855453 e SP80-1842 tiveram maior número de folhas por perfilho quando comparado as demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 3). Ao comparar as variedades de cana-de-açúcar nas diferentes condições de disponibilidade hídrica, constatou que as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB855156 e SP80-1842 apresentaram maior quantidade de folhas por perfilho em todos os ambientes de cultivo, ao passo que para as demais variedades de cana-de-açúcar o número de folhas por perfilho foi reduzido com os níveis de restrição hídrica (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito dos níveis de deficiência hídrica no número de folhas, área foliar e volume radicular das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle	Moderada	Severa	
	(100% CRA)	(50% CRA)	(25% CRA)	
Número de folhas por perfilho				
CTC2	7,74 bA	6,82 cB	6,40 cB	6,99
CTC4	7,31 bA	7,32 bA	6,72 cA	7,12
IACSP95-5000	7,81 bA	7,95 bA	7,50 bA	7,75
RB825336	7,63 bA	6,74 cB	7,80 aA	7,39
RB835054	8,44 aA	8,93 aA	7,28 bB	8,22
RB855035	8,48 aA	7,65 bB	6,36 cC	7,50
RB855156	8,70 bA	7,86 bA	8,00 aA	8,19
RB855453	9,25 aA	8,39 aB	8,76 aB	8,80
RB855536	8,10 bA	6,07 cC	7,59 bB	7,25
RB867515	9,28 aA	8,75 aA	7,15 bB	8,39
RB965902	8,45 aA	8,17 aA	6,95 bB	7,86
RB966928	9,00 aA	6,24 cC	7,55 bB	7,60
SP80-1842	7,25 bA	7,23 bA	7,82 aA	7,43
Média	8,26	7,55	7,38	
Área foliar (dm²/planta)				
CTC2	89,6 aA	57,9 cB	54,8 aB	67,4
CTC4	55,3 dA	50,5 cA	40,4 bB	48,4
IACSP95-5000	87,7 aA	71,2 aB	54,7 aC	71,2
RB825336	77,5 bA	61,6 bB	55,3 aB	64,8
RB835054	75,1 bA	57,4 cB	54,4 aB	62,3
RB855035	84,7 aA	79,9 aA	48,4 aB	70,7
RB855156	87,4 aA	56,5 cB	48,9 aB	64,2
RB855453	65,5 cA	64,6 bA	49,1 aB	59,7
RB855536	57,4 dA	60,9 bA	45,6 aB	54,6
RB867515	78,3 bA	52,8 cB	47,6 aB	59,6

RB965902	66,2 cA	49,5 cB	41,7 bB	52,5
RB966928	54,2 dA	49,2 cA	40,4 bA	47,9
SP80-1842	54,5 dA	48,2 cA	30,6 bB	44,4
Média	71,7	58,4	47,1	
Volume radicular (cm³/planta)				
CTC2	543,3 aA	500,0 aA	340,0 bB	461,1
CTC4	546,7 aA	453,3 aB	350,0 bC	450,0
IACSP95-5000	496,7 bA	453,3 aA	420,0 aA	456,7
RB825336	560,0 aA	410,0 bB	340,0 bB	436,7
RB835054	543,3 aA	480,0 aB	386,7 aC	470,0
RB855035	586,7 aA	523,3 aA	420,0 aB	510,0
RB855156	566,7 aA	340,0 bB	286,7 bB	397,8
RB855453	433,3 bA	365,3 bB	339,7 bB	379,4
RB855536	606,7 aA	433,3 aB	406,7 aB	482,2
RB867515	580,0 aA	493,3 aA	363,3 bB	478,0
RB965902	630,0 aA	445,0 aB	413,3 aB	496,1
RB966928	520,0 bA	376,7 bB	363,3 bB	420,0
SP80-1842	506,7 bA	413,3 bB	343,3 bB	421,1
Média	547,7	437,7	367,0	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

O menor número de folha por perfilho em variedades de cana-de-açúcar expostas às condições de deficiência hídrica também foi reportado por Pincelli e Silva (2012). Avaliando o crescimento das variedades RB855453, RB92579, RB965902 e RB965917 em condições controle e de restrição hídrica, Holanda et al. (2014) verificaram que as variedades RB855453 e RB92579 tiveram maior redução no número de folhas por perfilho em condições de deficiência hídrica moderada. A redução da taxa de emissão de folhas em condições de deficiência hídrica tem sido considerada estratégia da planta para reduzir a taxa de transpiração e com isso reduzir o gasto metabólico (Inman-Bamber & Smith, 2005; Inman-Bamber et al., 2008), no entanto, esta estratégia está condicionada à reposta que é específica do genótipo (Smit; Singels, 2006). A redução do número de folhas tem sido resposta das plantas de cana-de-açúcar para garantir a sua sobrevivência a períodos relativamente longo de escassez de água no solo.

Em condições controle sem restrição hídrica, a área foliar foi maior nas variedades CTC2, IACSP95-5000, RB855035 e RB855156, e menor nas variedades CTC4, RB855536, RB966928 e SP80-1842 (Tabela 3). Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica moderada, a área foliar foi maior nas variedades IACSP95-5000 e RB855035, ao passo que a menor área foliar foi obtida nas variedades CTC2, CTC4, RB835054, RB855156, RB867515, RB965902, RB966928 e SP80-1842. Em condições de deficiência hídrica severa, a área foliar das variedades CTC2, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855453, RB855536, RB867515 foi maior quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar (Tabela 3). Ao comparar as variedades de cana-de-açúcar dentro dos níveis de deficiência hídrica pode-se verificar que as variedades IACSP95-5000 e RB855035 apresentaram maior área foliar em todos os ambientes de cultivo, indicando uma possível tolerância dessas variedades de manter seu desenvolvimento mesmo em condições de baixa disponibilidade de água no solo.

Maia-Júnior et al. (2018) avaliaram o efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento das variedades RB72910, RB99382, RB72454, RB92579, RB855536 e RB931011, e constataram redução de 44% na área foliar quando as plantas foram expostas às condições de deficiência hídrica severa. A redução da área foliar em plantas de cana-de-açúcar submetida à restrição hídrica tem sido relatada por diversos autores (Pincelli; Silva, 2012; Holanda et al. 2014; Rodolfo-Júnior et al. 2018). A menor área foliar resulta na diminuição da interceptação da radiação solar (Santos; Carlesso, 1998), reduzindo a taxa de transpiração, a taxa fotossintética e iniciação da senescência e abscisão das folhas (Taiz et al., 2017).

O volume radicular das variedades CTC2, CTC4, RB825336, RB835054, RB855035, RB855156, RB855536, RB867515 e RB965902 foi maior quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar em condições controle sem restrição hídrica (Tabela 4). Em condições de deficiência hídrica moderada, o volume radicular foi maior nas variedades CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515 e RB965902 quando comparado às demais variedades. Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica severa, o volume radicular foi maior nas variedades IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536 e RB965902 (Tabela 4).

As variedades RB835054, RB855035, RB855536 e RB965902 apresentaram maior quantidade de volume radicular em todas as condições de disponibilidade hídrica do solo (Tabela 3). Khonghintaisong et al. (2018) afirmaram que em condições de deficiência hídrica as plantas de cana-de-açúcar utilizam alguns mecanismos de resistência para se adaptar as condições de baixa disponibilidade hídrica, e o maior volume do sistema radicular é um desses mecanismos de adaptação para permitir que as plantas possam absorver água em camadas mais profundas do solo. O maior volume do sistema radicular aumenta a área superficial de contato das raízes com o solo e por isso pode absorver mais água. Além disso, em períodos de escassez de água há maior expansão das raízes para explorar o perfil do solo em busca de umidade (Santos; Carlesso, 1998).

As características de desenvolvimento das raízes são relevantes para identificar variedades com maior capacidade de adaptação às condições de deficiência hídrica. Na cultura da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de raízes profundas pode ser utilizado como critério de seleção de genótipos tolerantes a deficiência hídrica (Lakshmanan et al., 2005). Endres et al. (2010) afirmaram que tolerância de genótipos de cana-de-açúcar à restrição hídrica está diretamente associada a maior densidade das raízes, por garantir a absorção de água e de nutrientes e melhorar o desenvolvimento das plantas em condições de restrição hídrica.

Os resultados reportaram efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação entre os fatores variedades de cana-de-açúcar e nível de deficiência hídrica para a produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total (Tabela 4). Em condições controle sem restrição hídrica, a matéria seca da parte aérea variou de 246,6 a 129,0 g/planta, e foi maior nas variedades RB855035, RB855453 e SP80-1842, e menor nas variedades IACSP95-5000, RB855536 e RB867515. Quando as plantas foram expostas à deficiência hídrica moderada, a matéria seca da parte aérea variou de 88,6 a 196,2 g/planta, e foi maior nas variedades RB855035 e RB965902, enquanto a menor matéria seca da parte aérea foi obtida na variedade RB855536. Em condições de deficiência hídrica severa, a matéria seca da parte aérea variou de 147,8 a 77,4 g/planta, e foi maior na variedade RB966928, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855536, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 4).

A exposição das plantas aos níveis de deficiência hídrica resultou na menor produção de matéria seca em todas as variedades de cana-de-açúcar. O nível de deficiência hídrica moderada e severa resultou na redução, média, de 16% e 43% na produção da matéria seca da parte aérea das plantas, respectivamente, quando comparado às plantas em condições controle. Pincelli & Silva (2012) também reportaram menor produção de matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica. Holanda et al. (2014) constataram que houve redução de 44,7% na produção da matéria seca da parte aérea das plantas em condições de deficiência hídrica.

A produção de matéria seca das raízes em condições controle sem restrição hídrica foi maior nas variedades RB855536 e RB965902, ao passo que a menor produção de matéria seca das raízes foi obtida nas variedades CTC4, RB855453 e RB966928 (Tabela 4). Quando as plantas foram expostas à restrição hídrica moderada, a maior produção de matéria seca das raízes foi obtida na variedade RB855035, ao passo que as variedades CTC2, CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855156, RB855453, RB855536, RB965902, RB966928 e SP80-1842 apresentaram menor matéria seca das raízes.

Em condições de deficiência hídrica severa, as variedades RB825336, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515 e RB965902 apresentaram maior produção de matéria seca das raízes quando comparado às demais variedades de cana-de-açúcar. As variedades RB855453 e RB966928 não foram influenciadas pelos níveis de restrição hídrica.

Tabela 4. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle	Moderada	Severa	
	(100% CRA)	(50% CRA)	(25% CRA)	
Matéria seca da parte aérea (g/planta)				
CTC2	198,6 bA	148,3 cB	121,9 bC	156,3
CTC4	173,6 cA	136,3 cB	85,9 cC	131,9
IACSP95-5000	144,6 dA	129,3 cA	86,2 cB	121,4
RB825336	169,4 cA	138,2 cB	82,8 cC	130,1
RB835054	169,0 cA	159,6 bA	105,2 bB	144,6
RB855035	246,6 aA	190,5 aB	127,5 bC	188,2
RB855156	180,8 cA	176,3 bA	107,2 bB	154,5
RB855453	226,8 aA	174,4 bB	116,7 bC	172,6
RB855536	129,0 dA	88,6 dB	85,6 cB	101,1
RB867515	149,0 dA	145,3 cA	115,4 bB	139,1
RB965902	199,7 bA	196,2 aA	92,9 cB	165,8
RB966928	168,4 cA	169,7 bA	147,8 aB	162,0
SP80-1842	228,2 aA	136,8 cB	77,4 cC	147,5
Média	183,4	152,8	104,0	
Matéria seca das raízes (g/planta)				
CTC2	76,7 cA	72,7 cA	53,7 bB	67,7
CTC4	65,7 dA	56,0 cA	48,0 bB	56,6
IACSP95-5000	80,3 cA	63,0 cB	53,7 bB	65,7
RB825336	86,3 bA	57,7 cB	57,7 aB	67,2
RB835054	78,3 cA	81,7 bA	61,7 aB	73,9
RB855035	95,0 bA	117,3 aB	62,0 aC	91,4
RB855156	88,7 bA	46,0 cB	38,0 bB	57,5
RB855453	59,3 dA	54,0 cA	48,0 bA	53,8
RB855536	100,0 aA	56,7 cB	61,0 aB	72,5
RB867515	84,7 bA	80,0 bA	62,7 aB	75,1

RB965902	112,0 aA	60,3 cB	65,7 aB	79,3
RB966928	68,7 dA	57,7 cA	53,0 bA	59,8
SP80-1842	80,3 cA	52,0 cB	45,7 bB	59,3
Média	82,8	65,6	54,7	

Matéria seca total (g/planta)				
CTC2	275,3 cA	221,0 cB	175,5 bC	223,9
CTC4	241,3 dA	190,3 dB	133,9 cC	188,5
IACSP95-5000	229,0 dA	192,3 dB	139,9 cC	187,1
RB825336	255,7 cA	195,8 dB	140,5 cC	197,3
RB835054	246,3 dA	242,2 cA	166,9 bB	218,5
RB855035	341,6 aA	307,8 aB	189,5 aC	279,6
RB855156	266,1 cA	224,8 cB	145,2 cC	212,0
RB855453	286,1 bA	228,4 cB	164,3 bC	226,4
RB855536	229,0 dA	145,3 eB	146,6 cB	173,6
RB867515	233,7 dA	231,7 cA	178,1 bB	214,5
RB965902	311,7 bA	264,9 bB	158,6 cC	245,1
RB966928	229,1 dA	235,4 cA	200,8 aB	221,8
SP80-1842	308,5 bA	188,9 dB	123,1 cC	206,8
Média	265,5	220,8	158,7	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

A menor disponibilidade de água no solo pode limitar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, tem-se menor acúmulo de matéria seca das raízes (Machado et al., 2009). As raízes são o primeiro órgão da planta responsável por identificar a condição de baixa disponibilidade hídrica do solo e sinalizar o estresse abiótico às células, tecidos e demais órgãos vegetais (Taiz et al., 2017). A deficiência hídrica ocasiona aumento na síntese de ácido abscísico (ABA) nas raízes, redução da síntese de citocininas e outros hormônios vegetais que são transportados pelo xilema para a parte aérea da planta, alterando o metabolismo fisiológico e químico das plantas, muito antes do que tenha ocorrido redução no conteúdo relativo de água nas folhas (Davies et al., 1990).

A produção de matéria seca total em condições controle sem restrição hídrica foi maior na variedade RB855035, ao passo que a menor produção de matéria seca total foi obtida nas variedades CTC4, IACSP95-5000, RB835054, RB855536, RB867515 e RB966928 (Tabela 4). Em condições de deficiência hídrica moderada, a produção de matéria seca total foi maior na variedade RB855035, e menor na variedade RB855536. Em condições de deficiência hídrica severa, a produção de matéria seca total foi maior nas variedades RB855035 e RB966928, e menor nas variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB855156, RB855536, RB965902 e SP80-1842 (Tabela 4). O menor acúmulo de matéria seca pelas plantas sob condições de restrição hídrica é consequência dos mecanismos de adaptação das plantas para evitar a perda excessiva de água. Em condições de restrição hídrica ocorre diminuição da área foliar, o que reduz a interceptação de radiação solar e reduz a condutância estomática, e consequentemente, tem-se menor assimilação de CO₂ e menor acúmulo de matéria seca (Cavatte et al., 2011).

A altura da planta, área foliar e a produção de matéria seca da parte aérea e total de todas as variedades de cana-de-açúcar foram menores em condições de deficiência hídrica (Tabelas 2, 3 e 4). As plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram, em média, redução de 28% na altura de planta, 35% na área foliar, e redução de 43% e 40% na produção de matéria seca da parte aérea e total, respectivamente, quando comparadas às plantas em condições controle. Estes resultados reportam a resposta das plantas de cana-de-açúcar comumente relatada na literatura quando expostas à deficiência hídrica (Silva et al., 2008; Machado et al., 2009). Um dos primeiros processos que é alterado ou afetado em resposta à menor disponibilidade de água no solo é a expansão celular, um processo altamente dependente da turgescência das plantas (Taiz et al., 2017). No entanto, com o avanço da deficiência hídrica, outros processos fisiológicos e bioquímicos da planta são afetados, com efeitos diretos na produção e translocação de fotoassimilados pela planta, redução na taxa de assimilação de carbono e redução da taxa de crescimento relativo (Pinheiro; Chaves, 2011). Como resultado desses efeitos, há uma redução na altura da planta, na área foliar e no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes. A redução da área foliar ocorre como uma reação de defesa das plantas à restrição hídrica, reduzindo a taxa de transpiração e, portanto, a amenizando a perda de água para a atmosfera (Taiz et al., 2017).

A razão parte aérea/raiz em condições controle sem restrição hídrica variou 1,26 a 3,81, e foi maior na variedade RB855453, e menor na variedade RB855536 (Tabela 5). Em condições de deficiência hídrica moderada, a razão parte aérea/raiz variou de 1,54 e 3,85, e foi maior na variedade RB855156, e menor nas variedades de cana-de-açúcar CTC2, IACSP95-5000, RB835054, RB855035, RB855536 e RB867515. Quando as plantas foram expostas à restrição hídrica severa, a razão parte aérea/raiz variou de 1,41 a 2,83, e foi maior na variedade RB855156, e menor para as variedades CTC4, IACSP95-5000, RB825336, RB835054, RB855035, RB855536, RB867515, RB965902 e SP801842 (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito dos níveis de deficiência hídrica na razão parte aérea/raiz das 13 variedades de cana-de-açúcar. UEMS/Cassilândia, 2019/2020.

Variedade	Nível de deficiência hídrica			Média
	Controle (100% CRA)	Moderada (50% CRA)	Severa (25% CRA)	
CTC2	2,60 bB	2,05 aA	2,26 bAB	2,32
CTC4	2,56 cB	2,53 bB	1,76 aA	2,31
IACSP95-5000	1,83 cA	2,03 aA	1,61 aA	1,86
RB825336	1,93 cB	2,39 bB	1,42 aA	1,95
RB835054	2,18 cA	1,93 aA	1,70 aA	1,96
RB855035	2,59 cB	1,62 aA	2,05 aA	2,11
RB855156	1,99 cA	3,85 dC	2,83 cB	2,93
RB855453	3,81 dC	3,19 cB	2,41 bA	3,17
RB855536	1,26 aA	1,54 aA	1,40 aA	1,44
RB867515	1,76 bA	1,94 aA	1,83 aA	1,88
RB965902	1,73 bA	3,35 cB	1,41 aA	2,27
RB966928	2,31 bA	3,09 cB	2,76 cB	2,76
SP801842	2,83 cB	2,63 bB	1,69 aA	2,41
Média	2,30	2,51	1,96	

Média seguida pela mesma letra maiúscula na linha para os níveis de deficiência hídrica, e letra minúscula na coluna para as variedades de cana-de-açúcar não diferem, respectivamente, pelo teste t (LSD) e teste Scott-Knott, ambos ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: os autores.

As condições de deficiência hídrica resultaram na menor razão matéria seca: raiz das plantas de cana-de-açúcar, especialmente sob restrição hídrica severa (Tabela 5). Esses resultados indicam que houve maior partição de fotoassimilados da parte aérea das plantas para as raízes das plantas expostas a menor disponibilidade de água no solo. O padrão de alocação de matéria seca entre as diferentes estruturas e órgãos das plantas pode ser alterado ao longo do desenvolvimento da planta, especialmente em condições ambientais adversas. No entanto, este padrão de alocação de matéria seca entre as diferentes partes da planta é essencial para a otimização do desenvolvimento da cultura em condições ambientais adversas, especialmente porque o padrão de alocação de fotoassimilados pode afetar a capacidade competitiva e de adaptação das plantas e as suas respostas aos estresses impostos pelo ambiente (Larcher, 2006).

De acordo com Lambers et al. (2008), esses padrões de alocação de matéria seca estão diretamente relacionados à otimização da captação dos recursos mais escassos. Por exemplo, em condições de

adequado suprimento de água no solo as plantas podem investir mais em folhas de modo a aumentar a captação de energia luminosa e aumentar a taxa fotossintética, e consequentemente, aumentar a produção de fotoassimilados, que podem ser translocados para os colmos. Por outro lado, em condições de restrição hídrica, as plantas podem investir mais em raízes de modo a aumentar a captação de água e nutrientes, quando a disponibilidade de água no solo é baixa ou limitada (Lambers et al., 2008).

De forma geral, o maior investimento em raízes quando há menor disponibilidade de água no solo ocorre logo na fase inicial do período de escassez de água, depois que houver a sinalização da redução gradual da disponibilidade de água do solo. Nessa fase, a planta precisa de pleno abastecimento de nutrientes e água para manter seu crescimento e diferenciação (Larcher, 2006).

CONCLUSÃO

As alterações morfológicas das variedades de cana-de-açúcar expostas às condições de restrição hídrica moderada e severa são dependentes do genótipo cultivado. Portanto, as características morfológicas da cana-de-açúcar podem ser utilizadas para diferenciar genótipos com maior ou menor potencial de desenvolvimento quando cultivado em condições de deficiência hídrica.

Sob deficiência hídrica moderada, as variedades com maior potencial de desenvolvimento da parte aérea e das raízes foram CTC2 e RB855035, e sob deficiência hídrica severa foram CTC2, RB855035, RB867515 e RB966928. Portanto, estas variedades são as mais indicadas para serem cultivadas em áreas que estão sujeitas a ocorrência de algum nível de restrição hídrica.

As variedades de cana-de-açúcar CTC4, RB825336 e SP80-1842 possuem menor potencial de desenvolvimento da parte aérea e das raízes em condições de deficiência hídrica moderada e severa, e não devem ser recomendadas para o cultivo em região com ocorrência restrição hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista ELS et al. (2015) Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, 35(2): 215-229.
- Benincasa MMP (2003). *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: Funep, 42 p.
- Casaroli D, Lier QJ (2008) Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(1): 59-66.
- Cavatte PC et al. (2011) *A fisiologia dos estresses abióticos. Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 79p.

- Conab (2022). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, Safra 2021/2022. v. 6, n. 3, 58p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: mar. 2022.
- Davies WJ et al. (1990) Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development. *Plant, Cell & Environment*, 13(3): 709-719.
- Endres L et al. (2010) Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, 4(1): 31-37.
- Ferreira THS et al. (2017) Sugarcane water stress tolerance mechanisms and its implications on developing biotechnology solutions. *Frontiers in Plant Science*, 8:e1077.
- Ferreira DF (2014) Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, 38(2): 109-112.
- Flexas J et al. (2006) Decreased rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. *New Phytologist*, 172(1): 73-82.
- Holanda LA et al. (2014). Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. *Irriga*, 19(4): 573-584.
- Inman-Bamber NG et al. (2008). Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(1): 231-240.
- Inman-Bamber NG, Smith DM (2005) Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, 92(2): 185-202.
- Khonghintaiong J et al. (2018) Rooting and physiological trait responses to early drought stress of sugarcane cultivars. *Sugar Tech*, 20(3): 396-406.
- Lakshmanan P et al. (2005) Sugarcane biotechnology: the challenges and opportunities. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 41(4): 345-363.
- Lambers H et al. (2008) *Plant physiological ecology*. New York: Springer, 345p.
- Landell MGA, Silva MA (2004) As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. *Visão Agrícola*, 1(1): 18-23.
- Larcher W (2006) *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Editora Rima, 117p.
- Macêdo GAR et al. (2012) Características agrônômicas e químicas das variedades de cana-de-açúcar RB83-5486 e RB86-7515 sob irrigação e sequeiro. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(6): 599-603.
- Machado RS et al. (2009) Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(12): 1575-1582.

- Maia-Júnior SO et al. (2018) Respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico no segundo ciclo de cultivo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(3): 2661-2672.
- Marin F, Nassif DSP (2013) Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, 17(2): 232-239.
- Naghavi MR et al. (2013) Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 5(3): 388-393.
- Nepomuceno AL et al. (2001) Tolerância a seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, 23: 12-18.
- Novais RF et al. (1991) Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD & Lourenço S (Eds.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: Embrapa, p. 189-254.
- Oliveira ECA et al. (2010) Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(9): 951-960.
- Patanè C et al. (2013) Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1): 30-37.
- Pincelli RP, Silva MA (2012) Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. *Bioscience Journal*, 28(4): 546-556.
- Pinheiro C, Chaves MM (2011) Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3): 869-882.
- Rodolfo-Júnior F et al. (2018) Biometric responses of third ratoon sugarcane varieties under variable water regime. *Comunicata Scientiae*, 9(1): 81-92.
- Santos F, Borém A (2013). *Cana-de-açúcar: do plantio à colheita*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 317p.
- Santos HG et al. (2018) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ª Ed. Brasília: Embrapa, 812p.
- Santos RF, Carlesso R (1998) Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, 2(3): 287-294.
- Silva MA et al. (2008) Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. *Bragantia*, 67(3): 655-661.
- Silva MA et al. (2007) Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 193-201.
- Silva MA et al. (2013) Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 56(5): 735-748.

- Silvério JM et al. (2017) Drought tolerance of the sugar cane varieties during the initial development. *Australian Journal of Crop Science*, 11(6): 711-715.
- Smit MA, Singels A (2006) The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, 98(1): 91-97.
- Sousa DMG, Lobato E (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 418p.
- Taiz L et al. (2017) *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto alegre: Artmed, 888p.
- Teixeira Pc et al. (2017) *Manual de métodos de análise de solo*. 3ª ed. Brasília: Embrapa Solos, 573p.
- Vieira EA et al. (2017) Physiological and biochemical changes attenuate the effects of drought on the Cerrado species *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115(3): 472-483.
- Zhao D et al. (2010) Sugarcane response to water-deficit stress during early growth on organic and sand soils. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(2): 403-414.

Mapeamento do estande e distribuição longitudinal de plantas de milho¹

Recebido em: 08/03/2022

Aceito em: 14/03/2022

 10.46420/9786558722694cap5

Gustavo Coelho Arantes^{2*} 

Jorge Wilson Cortez³ 

Diandra Pinto Della Flora³ 

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) pertence ao grupo dos cereais e, devido às suas qualidades nutricionais, é extensivamente usado na alimentação humana e de animais. O milho tem alto potencial produtivo e é altamente adaptável a novas tecnologias, além de ser uma cultura de grande relevância para a agropecuária brasileira e mundial. Na safra de 2018/19, foi a segunda cultura de grãos com maior área total estabelecida nas lavouras brasileiras, com 17,49 milhões de hectares, e um aumento de um milhão de hectares na safra 2019/20 (Conab, 2020).

O estabelecimento da cultura é primordial para obter elevadas produtividades e muitos agricultores não conseguem atingir esta meta de espaçamentos adequados por diversos fatores que podem influenciar positivamente e negativamente o estabelecimento das plantas, dependendo da maneira como são empregados, tais como a tecnologia, vigor e os tratamentos de sementes (Andreoli et al., 2002), adubação de pré-semeadura do solo, níveis de nutrientes desejáveis para um bom desenvolvimento da planta (Cortez et al., 2009) e a distribuição uniforme das plantas ao longo do sulco de semeadura (Tourino, 1986).

A distância longitudinal das plantas influencia diretamente na qualidade do estande, pois arranjos espaciais equidistantes entre as plantas na área permitem maior exploração de recursos naturais, aproveitando a máxima potencialidade produtiva das plantas. Esta organização não apenas do número de plantas por hectare, mas também da distribuição espacial tanto na linha quanto na entrelinha são fundamentais para obter altas produtividades.

¹ Parte do Trabalho de Conclusão de Curso do primeiro autor

² Graduando em Agronomia na da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

³ Eng. Agr. Doutor, Professor, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

*Autor(a) correspondente: jorgecortez@ufgd.edu.br

Todos estes fatores alinhados de forma positiva e equivalente dependem, ainda, da semeadura mecanizada. A uniformidade de distribuição das sementes é de relevância na produtividade e pode ser afetada por diversas variáveis (Delafosse, 1986; Kurachi et al., 1989). Isto envolve a profundidade adequada que a semente é depositada no solo (Santo et al., 2008), a equidistância e uniformidade das plantas na linha de semeadura (Pinheiro Neto et al., 2008).

Bottega et al. (2018) em seu estudo comparando dosadores de sementes empregados no Brasil e diferentes velocidades de semeadura, obtiveram melhores resultados com uma semeadora equipada com mecanismo dosador pneumático, trabalhando a velocidades de 4 km h⁻¹ e 6 km h⁻¹; e observaram que o aumento da velocidade interfere diretamente na precisão da distribuição das sementes gerando maiores porcentagens de espaçamentos duplos no estande.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a distribuição espacial do estande e da distribuição longitudinal das plantas de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em fazenda comercial, localizada no distrito de Picadinha, município de Dourados, MS, latitude 22° 18' S e longitude 54° 99' W. A lavoura de milho estava em uma área com um histórico de 20 anos de cultivo com sucessão de soja e milho com braquiária em plantio direto.

O contorno da área de estudo foi realizado por um aplicativo de GNSS para smartphone, por meio de um trajeto percorrido, resultando em contorno de aproximadamente 35 ha, e malha gerada com grade amostral de dois (2) pontos por ha (Figura 1).

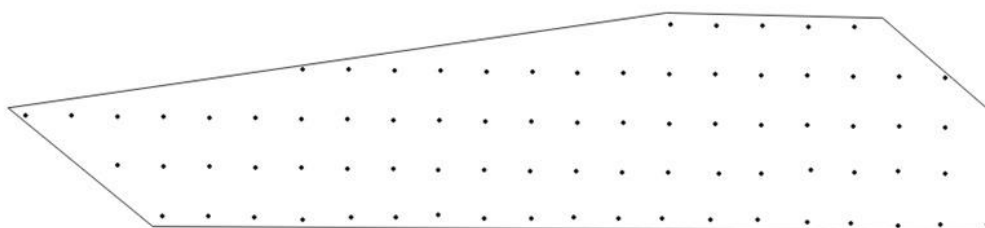


Figura 1. Malha e contorno da área amostral. Fonte: os autores.

A região possui temperatura média anual de 22°C e clima do tipo CWa, segundo a classificação de (Köppen, 1948), com solo de altos teores de argila com baixa atividade, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Santos et al., 2018). Dados de pluviosidade média e temperatura ao longo do período de ensaio estão apresentados na Figura 2.

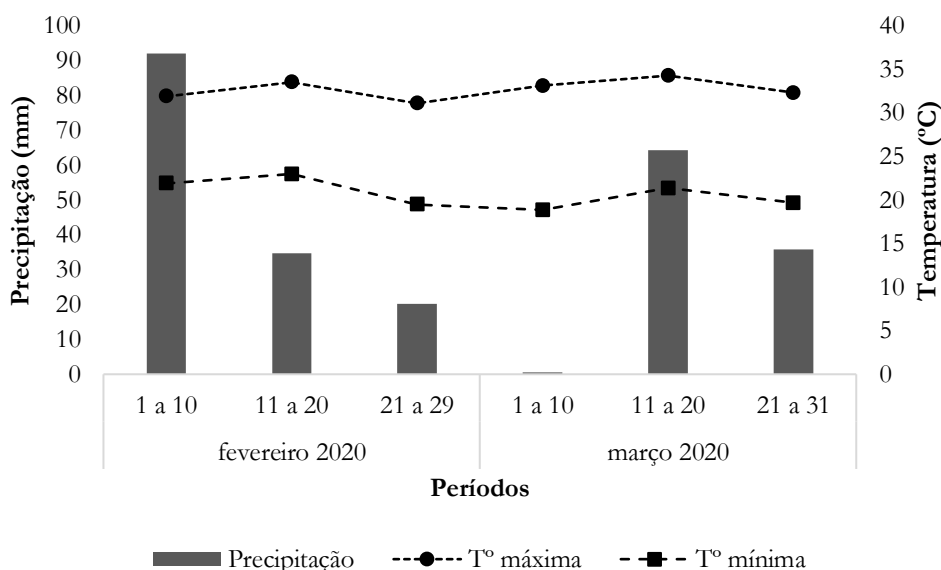


Figura 2. Temperatura máxima e mínima do ar e precipitação pluviométrica acumulada no período de estabelecimento do estande, dados obtidos da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste. Fonte: Embrapa (2020).

A semeadura do milho foi realizada no dia 05 de março de 2020 com o híbrido super precoce da Syngenta, o 488 VIP3, que tem por características um ciclo curto com 798 graus dias de florescimento aliado com uma genética de apelo produtivo e de um alto investimento, esperando uma população de 57.777,77 plantas por hectare. Para a semeadura foi utilizada a semeadora John Deere 11/13 equipada com sistema pneumático e espaçamentos entre linhas de 0,45 cm com um total de treze linhas, capacidade da caixa de adubo de 1680 kg e 50 kg de semente. A semeadora foi acoplada a um trator New Holland T8 com 301,5 kW de potência, trabalhando a uma velocidade de 6 km h⁻¹.

O estande de plantas foi amostrado por meio de contagem direta de plantas em 2 metros, com 3 repetições (linhas) em cada ponto, após 10 dias da semeadura do milho.

A determinação de espaçamentos normais, falhos e duplos foi realizado por meio da contagem direta de plantas em 2 metros, com 3 repetições (linhas) em cada ponto, após 10 dias da semeadura do milho, de acordo com as normas da Abnt (1984) e Kurachi et al. (1989), considerando-se porcentagens de espaçamentos: "duplos" (D): < 0,5 vez o Xref., "normais" (A): 0,5 < Xref. < 1,5, e "falhos" (F): > 1,5 o Xref.

Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo Vieira et al. (2002), obtendo-se média, variância, desvio padrão, mínimo, máximo, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi utilizado o teste de normalidade de Ryan-Joiner, sendo considerados como distribuição normal os dados que obtiveram *p*-valor > 0,05.

A análise geoestatística foi realizada por meio de semivariogramas experimentais (Vieira, 2002). O ajuste dos modelos foi realizado com base no melhor coeficiente de determinação (*r*²). O interpolador

utilizado, quando constatada dependência espacial entre os dados, foi a krigagem e os dados que não apresentaram dependência espacial foram interpolados pelo inverso do quadrado da distância (IDW).

Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação: $IDE=[C_0/(C_0+C_1)]*100$. Com base nos IDE, foi classificado o grau de dependência espacial (GDE) como: forte, para $IDE \leq 25\%$; moderado, para IDE entre 25 e 75%; e fraco, para $IDE > 75\%$ (Cambardella et al., 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva do estande e da distribuição longitudinal estão apresentados na Tabela 1. Observa-se alto valor do coeficiente de variação para espaçamentos falho e duplo, que se deve principalmente pela grande variação destes espaçamentos na área e também que não se espera uma recorrência deste destes ao longo da área.

Observando dos dados do estande (Tabela 1), e que o produtor desejava alcançar uma média de 57.777,77 plantas por hectare, verifica-se que conseguiu atingir na média apenas 2,51 plantas por metro, resultando em 55.777,77 plantas por hectare, ficando abaixo do esperado pelo produtor.

Tabela 1. Estatística Descritiva do estande e das distribuições longitudinais da cultura do milho. Fonte: os autores.

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	DP	CV%	Cs	Ck	RJ
Estande	1,80	2,51	3,00	0,29	11,56	0,02	-0,49	0,99 ^{ns}
Falho (%)	0,00	9,81	35,60	8,82	89,91	0,70	-0,09	0,99 ^{ns}
Duplo (%)	0,00	1,84	19,00	3,59	195,21	2,42	7,19	0,97*
Normal (%)	57,80	88,36	100,00	9,66	10,93	-0,75	0,66	0,99 ^{ns}

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; RJ: teste de normalidade de Ryan-Joiner, onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (^{ns}) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

A Tabela 1 apresenta o coeficiente de assimetria negativo para o espaçamento normal deslocando a curva de distribuição dos dados para a esquerda e valores positivos deste coeficiente para as demais deslocando a distribuição para a direita. Sendo, ainda, classificados como uma distribuição platicúrtica o estande e o falho por ter o coeficiente de curtose negativo; uma distribuição leptocúrtica para o duplo e normal pois possuem coeficiente de curtose positivo. Segundo Snedecor e Cochran (1967), os valores que podem ser considerados normais para os coeficientes de assimetria e curtose dentro de uma distribuição vão de zero a três. Assim, quando os valores se distanciam de zero, tendem a indicar a falta

de normalidade dos dados. Para confirmar a normalidade ou não se faz o teste de normalidade que segundo o teste aplicado de Ryan Joiner (Tabela 1) demonstrou que as variáveis estande, falho e normal apresentam uma distribuição caracterizada como normal, enquanto a variável dupla apresentou resultado significativo para o teste, indicando que os dados não seguem a distribuição normal, confirmado pelos altos valores de assimetria e curtose.

Na análise espacial da distribuição longitudinal de plantas de milho e do estande, por meio da geoestatística (Tabela 2), observa-se que apenas o estande apresentou dependência espacial com um modelo de semivariograma exponencial, com índice de dependência espacial classificado como moderado. Ainda para a variável estande, o alcance obtido foi de 94 m. O alcance da dependência espacial é um parâmetro geoestatístico importante na agricultura por auxiliar o delineamento de futuras amostragens de estandes, indicando a máxima distância entre amostras para obter boa representatividade (Sampaio et al., 2010), o que indica que, no presente trabalho, a distância considerada para amostragem (70,71 m) foi satisfatória para analisar a dependência espacial.

Tabela 2. Parâmetros geoestatísticos do estande de plantas. Fonte: os autores.

	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ +C ₁)	Contribuição (C ₁)	Alcance (a) m	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
							IDE	GDE
Estande	0,0282	0,0875	0,0593	94	Exp.	0,99	32,23	Moderado

r²: coeficiente de determinação; Exp.: Modelo Exponencial; IDE: índice de dependência espacial; GDE: grau de dependência espacial.

A distribuição longitudinal para os espaçamentos normais, falho e duplos apresentou efeito pepita puro, evidenciando que não existe a dependência espacial entre os pontos de amostragem no falho, duplo e normal. Assim, a espacialização dos dados foi gerada pelo interpolador inverso da distância.

No estande de plantas (Figura 3a) mais de 99% da área teve de duas a três plantas por metro o que é considerado aceitável. O ideal para a cultura do milho pode variar de acordo com a seleção genética, arquitetura da planta e sua relação com o ambiente, além de fatores como o solo e as correções feitas no mesmo com isso deve ser feito um estudo para a escolha da densidade de plantas ideal de acordo com as características apresentáveis da área, o que não aconteceu no caso do projeto (Sangoi, 2000). No entanto, segundo as conclusões de Penariol et al. (2003), trabalhando com duas cultivares de milho safrinha, os espaçamentos de 0,40 m entre linhas obtiveram maior produtividade para ambas as variedades. Demétrio et al. (2008) encontraram em suas pesquisas resultados que confirmam o espaçamento entre linhas de 0,40 m sendo mais adequado juntamente com o adensamento das populações entre 70000 à 80000 plantas por hectare que garantiram os melhores resultados de produtividade para o híbrido utilizado no seu estudo tendo um estande de em média 3,2 plantas por metro. Que se comparado com o utilizado neste

trabalho, 2,6 plantas por metro, esperando 57.777,77 plantas por hectare e 0,45 m entre linhas, mostra que o índice populacional almejado pelo produtor está abaixo do que é classificado como o ideal para o estudo em questão.

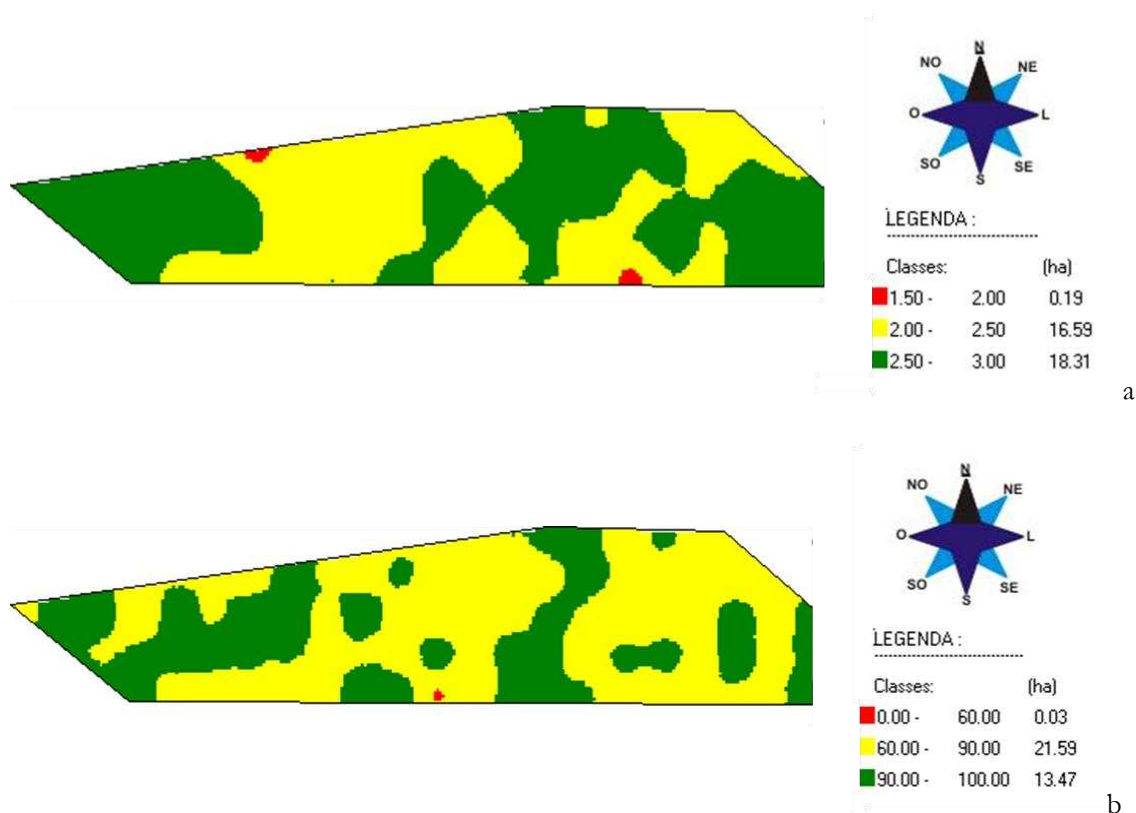


Figura 3. Variabilidade do estande de plantas – plantas por metro (a) e espaçamento normal - % (b) da cultura de milho. Fonte: os autores.

Os espaçamentos normais são importantes para não se ter uma grande variabilidade do estande evitando espaçamentos falhos e duplos. Obteve-se resultados de 38,39% da área com valores de 90% dos espaçamentos como normal (Figura 3), no entanto, 61,53% da área ficou com valores entre 60-90% de espaçamentos normais.

As plantas podem ter tido dificuldades no seu estabelecimento pelo fato da baixa pluviosidade durante o estabelecimento destas, evidenciado na Figura 1, aumentando o número de espaçamentos falhos.

A espacialização dos dados de espaçamentos falhos (Figura 4a) mostra que em 95,41% da área se tem menos de 20% de espaçamentos falhos sendo que destes mais da metade é menor que 10%. A média de plantas por metro revela que faltaram plantas (Tabela 1), o que é explicado quando se vê o mapa de espaçamentos falhos revelando a falta de plantas para uma população almejada, perdendo de produzir por não se ter o estabelecimento dessas plantas no talhão.

A espacialização dos dados de espaçamento duplo (Figura 4b) tem em 98,7% da área total apresenta menos de 10% de espaçamentos duplos. O que é um percentual baixo afetando muito pouco

a equidistância das plantas. Assim, ao analisar o mapa verifica-se que estes espaçamentos duplos ocorreram de maneira concentrada e bem pouco variada no talhão.

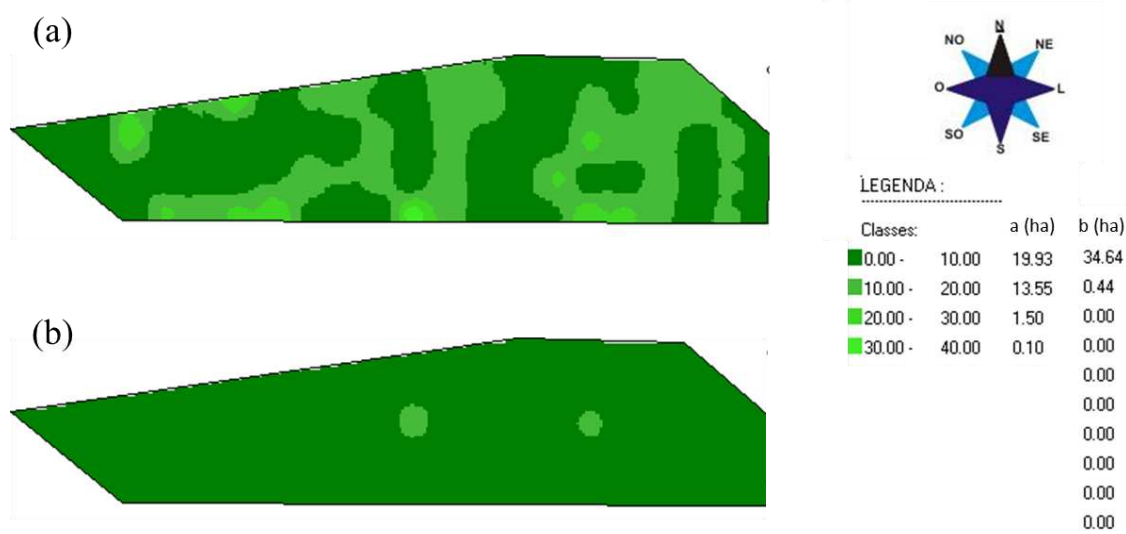


Figura 4. Variabilidade de espaçamentos falhos- % (a) e duplos - % (b) da cultura do milho. Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Ocorre variabilidade espacial no estande de plantas de milho, tendo a maior parte da área com um estande de abaixo do esperado na semeadura.

A distribuição longitudinal dos espaçamentos normais demonstrou que a maior parte da área ficou abaixo de 90% de espaçamentos aceitáveis e também que ocorre maior variabilidade nos espaçamentos falhos do que os duplos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli C et al. (2002). Influência da germinação da semente e da densidade de semeadura no estabelecimento do estande e na produtividade de milho. *Revista Brasileira de Sementes* 24(2): 1-5.
- ABNT (1984). Projeto de norma 04:015.06-004 - semeadoras de precisão: ensaio de laboratório - método de ensaio. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 26p.
- Bottega EL et al. (2018). Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana* 22(e201707): 1-5.
- Cambardella CA et al. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1501-1511.

- CONAB (2020). Acompanhamento da Safra de Grãos: Sétimo levantamento, abril 2020 – safra 2019/2020. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>. Acesso em: 7 jul. 2020.
- Cortez JW et al. (2009). Sistemas de adubação e consórcio de culturas intercalares e seus efeitos nas variáveis de colheita da cultura do milho. *Engenharia Agrícola* 29(2):277-287.
- Demétrio CS et al. (2008). Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. *Pesquisa agropecuária brasileira* 43(12):1691-1697.
- Delafosse RM (1986). Máquinas sembradoras de grano grueso: descripción y uso. Santiago: Oficina Regional de La FAO para América Latina y el Caribe. 48p.
- Köppen W (1948). Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica. 478p.
- Kurachi SAH et al. (1989). Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento e dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. *Bragantia* 48(2): 249-262.
- Penariol FG et al. (2003). Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 2(2): 52-60.
- Pinheiro Neto R et al. (2008). Desempenho de mecanismos dosadores de sementes em diferentes velocidades e condições de cobertura do solo. *Acta Scientiarum Agronomy* 30(suppl spe): 611-617.
- Sangoi L (2000). Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural* 31(1): 159-168.
- Snedecor GW; Cochran WG (1967) Statistical methods. 6.ed. Ames: Iowa State University Press. 593p.
- Santo AP et al. (2008). Qualidade de semeadura na implantação da cultura do milho por três semeadoras-adubadoras de plantio direto. *Revista Ciência e Agrotecnologia* 32(5): 1601-1608.
- Santos HG et al. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília: Embrapa. 356p.
- Tourino MCC (1986). A semente no lugar certo. *A Granja* 42(461): 36-40.
- Vieira SR et al. (2002). Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez VVH et al. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1-45p.

Variabilidade espacial da fertilidade do solo antes e após aplicação de calcário para o cultivo da soja¹

Recebido em: 08/03/2022

Aceito em: 14/03/2022

 10.46420/9786558722694cap6

Realdo Felix Cervi² 

Jorge Wilson Cortez^{3*} 

Sálvio Napoleão Soares Arcoverde⁴ 

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas produzidas no Brasil, cuja produção encontra-se distribuída nas diferentes regiões do país. Nos últimos 40 anos ocorreu significativa expansão das áreas destinadas à produção de grãos, fazendo-se necessário a adoção de tecnologias e ferramentas para melhorar o gerenciamento da propriedade rural (Trentin et al., 2018).

Entre as ferramentas utilizadas ao longo do tempo, destacam-se as ferramentas de agricultura de precisão (AP), como o emprego de amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço (Soares Filho; Cunha, 2015). Estas ferramentas são utilizadas para o gerenciamento de sistemas de produção intensivo, principalmente àqueles voltados à produção de grãos e algodão, cuja atividade gera um custo elevado especialmente com a adubação (Zonta et al., 2014).

Trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo constitui um importante instrumento no processo da escolha da área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e análise de produtividade (Santos et al., 2012; Dalchiavon et al., 2012).

De acordo com Dalchiavon et al. (2012), a variabilidade dos atributos químicos do solo é consequência de interações complexas em processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo. O estudo da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo mostra-se uma importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial dos macronutrientes do solo, auxiliando no planejamento de coletas de amostras e

¹ Parte da Dissertação de Mestrado em Agronomia do primeiro autor.

² Eng. Agr. Mestre em Agronomia. Egresso da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

³ Eng. Agr. Doutor, Professor, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

⁴ Eng. Agríc. e Ambiental, Doutor, Professor Visitante, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

* Autor(a) correspondente: jorgecortez@ufgd.edu.br

nas práticas de manejo do solo (Zonta et al., 2014) e, portanto, no auxílio à tomada de decisão que vise atender à exigência nutricional da cultura (Santos et al., 2015).

A descrição da distribuição espacial dos macronutrientes do solo, considerando-se os efeitos conjuntos de práticas de fertilização/correção e de manejo do solo, permite melhor entendimento do comportamento dos elementos no solo, gerando informações importantes como subsídio à melhoria da fertilidade do solo e à sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, antes e após aplicação de calcário a taxa variável, para o cultivo da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Água Santa, localizada no município de Maracaju - MS, Brasil, na latitude de -21,25 S e longitude de -55,49 W, fuso horário 21S, e altitude de 380 m acima do nível do mar. O clima é do tipo Cwa, caracterizado como temperado úmido com inverno seco e verão quente. O solo da área, conforme Embrapa (2013) é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Tabela 1), tendo na camada de 0,00-0,20 m 57% de argila, 16% de silte e 27% de areia. Na área experimental foi introduzida agricultura de grãos com a cultura de soja na safra 2018/2019, sendo anteriormente pecuária, com bovinocultura de corte por mais de 40 anos, com vegetação pastagem predominante a *Brachiaria humidicola*.

Tabela 1. Descrição dos insumos agrícolas utilizados na correção do solo antes da semeadura, safra 2018-2019 (soja). Fonte: os autores.

Calcário	Dolomítico (Região de Bonito MS)
	Composição CaO 45 - 48% MgO 6 - 10%
	PN 98 - 102 % PRNT 85 – 90 %
Dose media (kg ha ⁻¹)	3605 kg ha ⁻¹
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/06/2018
Calcário	Calcítico (Região de Bonito MS)
	composição CaO 50 - 53% e MgO 00 - 03%
	PN 98 - 102% PRNT 85 – 90%
Dose media (kg ha ⁻¹)	1808 kg ha ⁻¹
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/06/2018
KCl Dose (kg ha ⁻¹)	100 kg ha ⁻¹
Data da aplicação	28/10/2018

Selecionou-se uma área de aproximadamente 100 ha, sendo alocados (20) pontos amostrais, com grid de 5 ha (Figura 2). A coleta foi realizada no dia 10/04/2018, com amostrador de rosca acoplado a veículo motorizado, sendo ao redor de cada ponto amostral retiradas 12 subamostras na profundidade de 0,00-0,20 m. Depois de realizado a aplicação de calcário, entre os dias 02 de maio de 2018 e 06 de junho do mesmo ano, com dolomítico e calcítico em taxa variada, provenientes da região de Bonito, MS, realizou-se nova coleta (01/11/2018) na área, com grade amostral de 2 ha, tendo 50 pontos (Figura 3) com 12 subamostras por ponto na camada de 0,00-0,20 m. Os insumos e equipamentos utilizados estão descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 2. Descrição dos equipamentos utilizados durante a condução das safras agrícolas. Fonte: os autores.

Equipamento	Marca	Modelo	Especificações
Trator	New Holland	T7060	164 kW (223cv), 1800 rpm
Distribuidor	STARA	HERCULES 10.000	TOPPER 4500
Grade aradora	TATU	PESADA 16 discos	Off-set, 38 polegadas, 4400 mm de largura

Tabela 3. Atributos químicos do solo e os seus padrões de referências.

Atributo	Baixo	Médio	Alto	Fonte
pH	<5,0	5,0-6,0	>6,0	Sobral et al. (2015)
MO (g dm ⁻³)	<15	15-30	>30	Sobral et al. (2015)
P (mg dm ⁻³)	0-4,0	4,1-8,0	>8,0	Sobral et al. (2015)
K (mmol _c dm ⁻³)	<0,8	0,8-1,5	>1,5	Sobral et al. (2015)
Ca (mmol _c dm ⁻³)	<16	16-30	>30	Sobral et al. (2015)
Mg (mmol _c dm ⁻³)	<4	4-10	>10	Sobral et al. (2015)
Al (mmol _c dm ⁻³)	<5	5-10	>10	Sobral et al. (2015)
CTC (mmol _c dm ⁻³)	<50	50-150	>150	Sobral et al. (2015)
V (%)	<50	50-70	>70	Sobral et al. (2015)
S (mg dm ⁻³)	0-4	5-10	>10	Souza e Lobato (2004)

pH - acidez, MO – matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg – magnésio, Al- alumínio, H+AL – hidrogênio mais alumínio, SB – soma de bases, CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0, V – saturação por bases e S - enxofre

Após a coleta das amostras, o solo foi encaminhado para laboratório onde foram determinados os valores dos atributos, sendo estes: Potencial hidrogenionico (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+AL), soma de

bases SB, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), saturação por bases (V%) e enxofre (S). O P e K foram extraídos pela metodologia (Mehlich 1), Ca, Mg e Al via (KCl), H+Al por (SMP), S pelo (Fosfato de Cálcio) e MO através do método Walkley – Black. A interpretação dos atributos químicos do solo (pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, V% e CTC), foram baseadas em Sobral et al. (2015), descrito na Tabela 3. O S foi baseado nos limites estabelecidos por Souza e Lobato (2004).

Os dados foram inicialmente submetidos à análise descritiva para obtenção das medidas de tendência central e dispersão. Os dados também foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, entre dados iniciais e pós-correção do solo para verificar a significância ou não das aplicações de correção. A fim de entender a variabilidade espacial dos dados na área do estudo, foi realizada a confecção de mapas usando-se como interpolador o inverso do quadrado da distância, conhecido como IDW na potência dois, utilizando o software de plataforma livre e aberta o QGIS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a estatística descritiva (Tabela 4), observou-se que o coeficiente de variação (CV) dos atributos K, Ca, Mg, SB, CTC e S diminuíram significativamente após o processo de aplicação de corretivos em taxa variada e posterior incorporação. Observou-se após a correção do solo que a maioria dos atributos estudados apresenta CV médio ($10\% < CV < 20\%$) a alto ($20\% < CV < 30\%$), exceto o P, K, Al, e S, com valores CV muito altos ($> 30\%$).

De acordo com Dalchiavon et al. (2012), trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, a variabilidade dos atributos químicos do solo é consequência de interações complexas em processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo. Todavia, neste estudo, a variabilidade nos atributos da fertilidade do solo, possivelmente, esteve associada ao efeito das sucessivas e irregulares adubações e calagens, que vêm sendo aplicadas na área (Gontijo et al., 2012; Zonta et al., 2014), bem como a eventuais práticas de preparo do solo (Gontijo et al., 2012).

De maneira geral, analisando os valores médio, máximo e mínimo dos atributos químicos (Tabela 4), verificou-se que, antes e após aplicação de corretivos em taxa variável, os teores de Ca e Mg variaram de médio a alto (Sousa; Lobato, 2004), da mesma forma que o V%; e o teor de K foi classificado como muito bom/alto (Sousa; Lobato, 2004), enquanto o de P foi muito baixo (Sousa; Lobato, 2004). Ressalta-se, ainda, que o pH variou de médio a ideal, porém com valores altos (Sousa; Lobato, 2004) após a aplicação de corretivos.

Nota-se que a variação do pH (Tabela 4) entre valores baixos a altos influencia atributos dependentes do mesmo, logo, a acidez do solo possivelmente afetou nesta área a disponibilidade de P, já que Ca e Mg foram altas. Ressalta-se que, após a aplicação de corretivos e sua incorporação, houve decréscimo de Ca médio e manutenção dos teores de Mg, o que indica que deve ser estudada a viabilidade

de práticas mecânicas de manejo do solo em conjunto com a correção do solo. No entanto, o Mg mesmo sendo um elemento mais móvel do que o Ca, se manteve mesmo com a possíveis perdas pós-mobilização.

Tabela 4. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo. Fonte: os autores.

Atributos	Média	EP	DP	V	CV	Mín	Máx	Ass	K	RJ	P
Inicial											
pH	5,82b	0,05	0,25	0,06	4,22	5,20	6,30	-0,29	0,99	0,98	>0,10 ^{ns}
MO	41,20b	0,68	3,04	9,22	7,37	32,00	45,00	-1,69	3,55	0,92	<0,01*
P	1,08b	0,08	0,37	0,13	33,80	0,60	1,70	0,36	-1,35	0,97	>0,10 ^{ns}
K	2,08b	0,28	1,27	1,60	61,02	0,90	5,10	1,58	1,26	0,86	<0,01*
Ca	59,35a	6,54	29,25	855,29	49,28	16,00	136,00	0,79	1,23	0,96	>0,10 ^{ns}
Mg	14,10a	1,37	6,13	37,57	43,47	5,00	28,00	0,39	-0,12	0,99	>0,10 ^{ns}
H+Al	52,95a	2,11	9,42	88,79	17,80	38,00	74,00	0,54	0,07	0,98	>0,10 ^{ns}
Al	1,00a	0,53	2,36	5,58	236,20	0,00	10,00	3,30	11,91	0,86	<0,01*
SB	75,50a	7,72	34,52	1191,5	45,72	22,00	165,00	0,65	1,06	0,97	>0,10 ^{ns}
CTC	128,45a	7,34	32,82	1077,0	25,55	84,00	210,00	0,96	1,02	0,96	>0,10 ^{ns}
V	56,20a	3,13	14,00	195,96	24,91	23,00	79,00	-0,79	0,26	0,97	>0,10 ^{ns}
S	4,70b	0,49	2,20	4,85	46,87	3,00	12,00	2,89	7,63	0,84	<0,01*
Pós-correção											
PH	5,99a	0,04	0,29	0,08	4,77	5,40	7,00	0,90	2,03	0,97	0,044*
MO	42,14a	0,85	6,00	36,00	14,24	28,00	55,00	0,20	-0,26	0,99	>0,10 ^{ns}
P	1,76a	0,10	0,68	0,46	38,73	1,00	3,00	0,37	-0,87	0,99	>0,10 ^{ns}
K	2,81a	0,13	0,92	0,84	32,63	1,40	5,30	1,15	0,99	0,99	<0,01*
Ca	41,02b	1,24	8,75	76,62	21,34	24,00	72,00	0,88	1,87	0,97	0,043*
Mg	14,85a	0,47	3,33	11,07	22,40	7,00	21,60	0,06	-0,29	0,99	>0,10 ^{ns}
H+Al	55,89a	1,50	10,60	112,46	18,97	27,00	80,00	-0,18	0,25	0,96	<0,01*
Al	0,24b	0,08	0,59	0,35	246,29	0,00	3,00	2,98	10,05	0,99	>0,10 ^{ns}
SB	58,56b	1,64	11,60	134,54	19,81	34,00	95,00	0,62	1,01	0,98	>0,10 ^{ns}
CTC	114,53b	0,84	5,94	35,29	5,19	102,00	128,00	0,34	-0,02	0,99	>0,10 ^{ns}
V	51,10a	1,31	9,26	85,77	18,12	30,00	78,00	0,34	0,30	0,99	>0,10 ^{ns}
S	11,66a	0,50	3,50	12,27	30,04	6,00	22,00	0,85	0,93	0,97	0,035*

Letras minúsculas na coluna comparam cada atributo com a época de amostragem. ^{ns}: distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner (>0,05). *: distribuição não normal pelo teste de Ryan-Joiner (<0,05). EP: erro padrão; DP: desvio padrão; V: variância; CV.: coeficiente de variação; Mín: mínimo; Máx: máximo; As: Assimetria; K: curtose; RJ: Ryan-Joiner; P: probabilidade. pH - acidez, MO – matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg – magnésio, Al- alumínio, H+AL – hidrogênio mais alumínio, SB – soma de bases, CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0, V – saturação por bases e S - enxofre. g dm⁻³ = MO; mmol_c dm⁻³ = K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB e CTC; mg dm⁻³ = P, S.

Prado e Natale (2004) citam que a absorção de Ca para assegurar a absorção contínua do nutriente pela planta a distribuição deve ser adequada no solo, para o bom desenvolvimento do sistema radicular. Enquanto Leite et al. (2018) observaram que o comportamento do Mg no solo depende das dosagens de calcário para correção, e sua movimentação pode ser explicado pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis para cada tipo de solo, promovendo efeito crescente ou decrescente no decorrer do tempo.

Os altos valores de CV para o P (33,80% e 38,73%) (Tabela 4) são normalmente encontrados em trabalhos com solos tropicais, como o de Dalchiavon et al. (2012), atribuído à dificuldade na adubação fosfatada que sofre interferências de vários fatores, como, por exemplo, o teor de argila. O aumento do seu teor pode estar relacionado à correção do solo e à consequente elevação do pH, que, mesmo após o revolvimento do solo, minimizou o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção (Dalchiavon et al., 2012).

Após a correção do solo com incorporação, observou-se a diminuição dos teores máximos de Al na camada superficial do solo (Tabela 4), podendo ser consequência das altas concentrações de calcário aplicados em superfície com incorporação, responsável por promover a alta translocação do calcário no perfil. Ressalta-se que este resultado foi benéfico, uma vez que, quando o calcário é aplicado em superfície sem incorporação em sistema plantio direto, normalmente ocorre diminuição de Al em relação a outros preparos, devido à baixa translocação do mesmo.

Farias et al. (2016) relatam que solos do Cerrado brasileiro exibem naturalmente baixa disponibilidade nutricional, elevada acidez e alta concentração de alumínio, fato este que pode inibir e dificultar a absorção de diversos nutrientes, afetando na adsorção/fixação de fósforo. Desse modo, após a correção do solo com incorporação fica evidente, nesta área, os efeitos do manejo químico na redução dos teores de Al, bem como no aumento dos teores de P (Tabela 4).

Analizando os mapas de espacialização dos atributos químicos do solo (Figura 1, 2 e 3), antes e após a aplicação de calcário, observou-se influência das práticas de manejo químico e mecânico do solo sobre a variabilidade espacial dos elementos na área experimental. Outro aspecto que influencia no conhecimento detalhado da propriedade rural é a densidade amostral. De maneira geral, observou-se, pós-aplicação, aumento da classe com maiores valores de pH ($>6,0$), em relação à intermediária ($5,0-6,0$). Houve também diminuição da variabilidade de Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V e S, ou seja, com predominância de menor número de classes. Ressalta-se que a predominância de classe de maior valor para as bases trocáveis ao longo da área do estudo, contribuiu para a elevação do pH, concordando com Dalchiavon et al. (2012) em um Latossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto, e com Leite et al. (2018) em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Leite et al. (2018), estudando o efeito de doses crescentes de calcário para correção do solo, verificaram que com o aumento destas ocorre decréscimo dos valores de H+Al, destacando que existe

relação entre a quantidade de elevação dos macronutrientes a partir do momento que acontece a neutralização de $H+Al$ na primeira dosagem de $CaCO_3$.

Quanto à MO (Figura 1), houve predominância de classes intermediárias antes e após aplicação, evidenciando que sua espacialização possivelmente está mais relacionada ao manejo mecânico do solo, cuja mobilização altera sua distribuição vertical, bem como a maior densidade amostral pós-aplicação que aumenta a representatividade das menores classes (Caon; Genú, 2013).

Geralmente no sistema plantio direto, no decorrer no tempo de cultivo, há aumento do teor de MO na camada superficial do solo (0-0,10 m), decorrente da ausência de preparo do solo e da quantidade e qualidade dos resíduos das culturas ao longo dos anos (Dalchiavon et al., 2012). No entanto, segundo os autores, com o preparo do solo há tendência de aumento da taxa de decomposição com a incorporação da palhada; todavia, neste estudo, o recente revolvimento do solo para incorporação de corretivos não foi capaz de alterar significativamente nem os teores nem a espacialização de MO na área.

Observa-se que para a SB (Figura 3) houve maior abrangência de menores classes, do mesmo modo para Al (Figura 2) e CTC (Figura 3), enquanto o contrário foi observado para S (Figura 3) que, nitidamente, apresentou pós-aplicação maior abrangência da maior classe e predominância de níveis alto e intermediário, respectivamente. Assim, pode-se explicar a redução na variabilidade de V (Figura 3) pós-aplicação, com predominância de classes baixa e intermediária, como consequência dos resultados de SB e CTC.

De acordo com Caon e Genú (2013), a diminuição da densidade amostral baixa a qualidade de exatidão dos mapas a níveis não desejados na agricultura de precisão. Por outro lado, o aumento da mesma não acarretaria grandes ganhos em precisão, poderia inviabilizar o processo de amostragem pelo intenso trabalho de coleta e custo com análises aumentando a relação custo benefício. Os autores analisaram diferente densidade amostral que ofereça precisão nos mapas de atributos químicos e mensuraram sua implicação prática na adubação e calagem para a cultura da soja, na região de Guarapuava. Observaram que, na densidade amostral de uma amostra a cada 1 ha, os atributos apresentaram boa qualidade de exatidão em relação aos mapas gerados com a maior densidade amostral (4 ha). As demais densidades amostrais que compreendem uma amostra a cada 2 e 4 ha apresentaram qualidade de razoável a ruim, sendo então ineficiente para utilização em agricultura de precisão que preza pela qualidade de representação das características encontradas a campo.

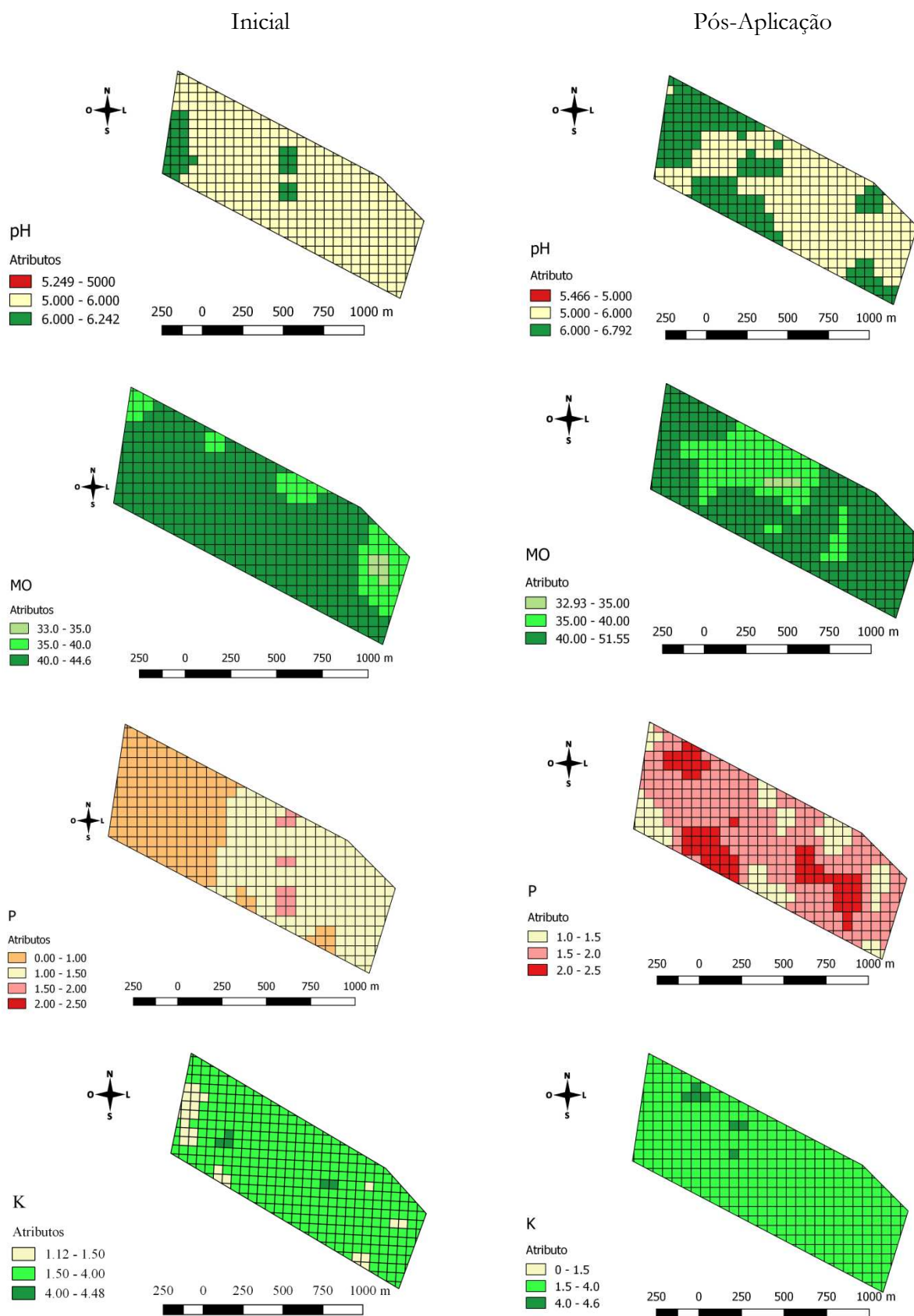


Figura 1. Espacialização dos atributos do solo antes e após a aplicação com IDW. Fonte: os autores.

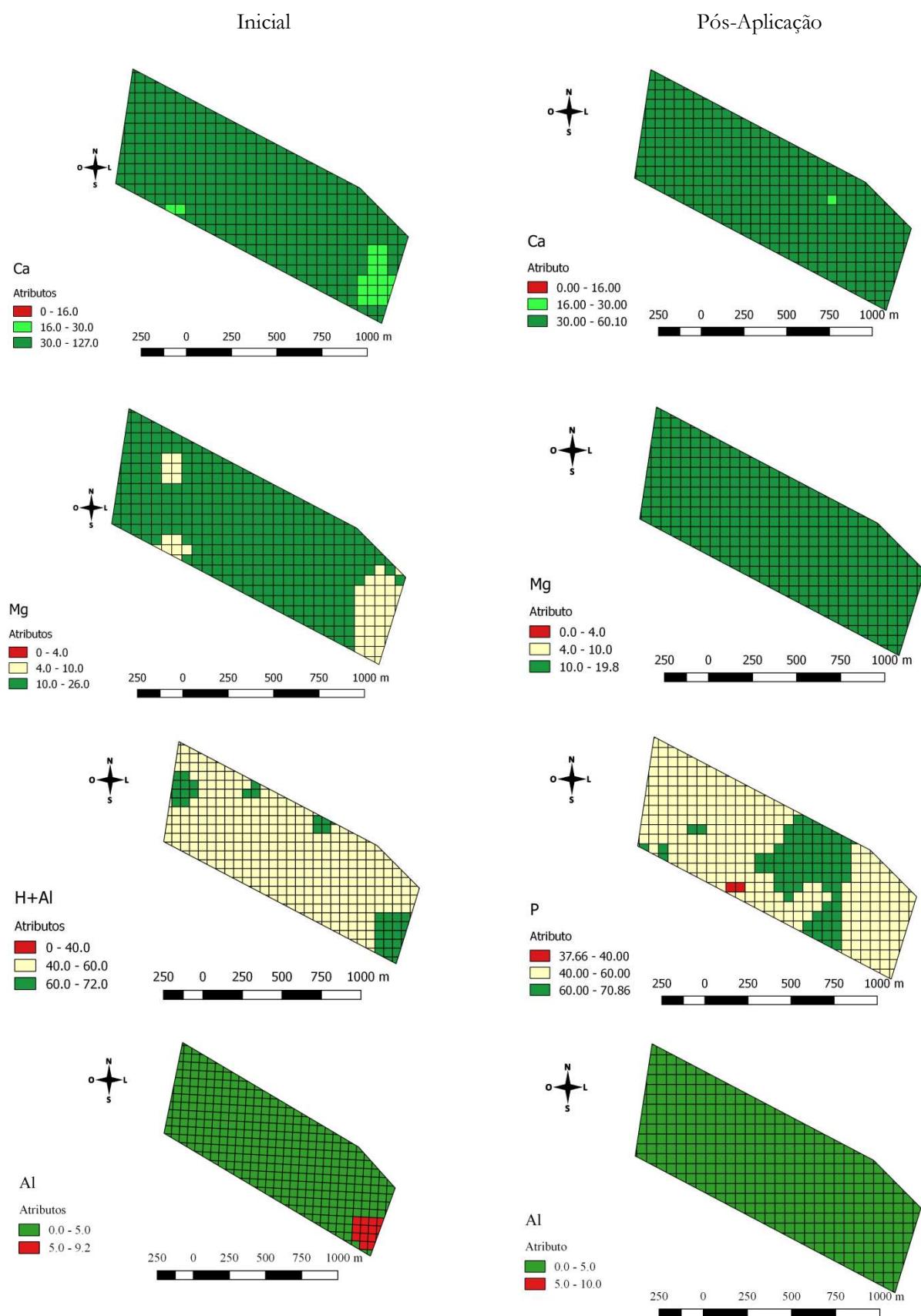


Figura 2. Espacialização dos atributos do solo antes e após a aplicação com IDW. Fonte: os autores.

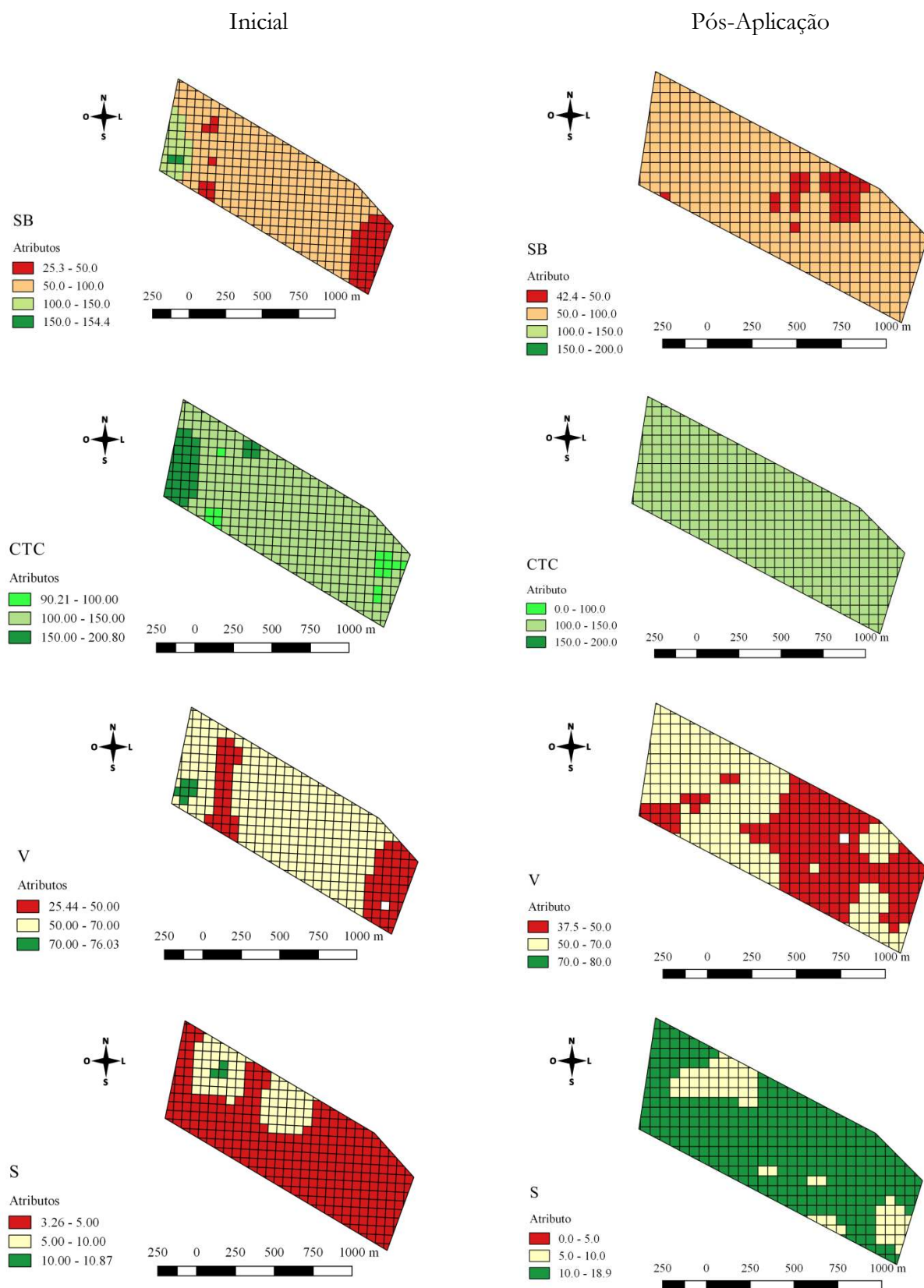


Figura 3. Espacialização dos atributos do solo antes e após a aplicação com IDW. Fonte: os autores.

De maneira geral, os resultados indicaram variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, com teores variando desde a classe baixa até a classe alta. Por outro lado, os médios e altos teores de Ca e Mg, os quais são atributos da fertilidade do solo utilizados como critérios para definição da necessidade e da quantidade de corretivo para neutralizar a acidez do solo, estavam homogêneos em toda a malha experimental. Aliado a isso, a elevação do pH a níveis moderados e altos e a média saturação por bases ($V\% > 50,0\%$), evidenciaram a importância da realização de calagem na área, podendo esta ser realizada a lanço. Uma vez que, pelos resultados obtidos num primeiro momento na área, novos estudos serão necessários com relação à viabilidade das práticas de manejo do solo posteriores às aplicações em taxa variável.

CONCLUSÕES

A aplicação de calcário em taxa variável proporciona diminuição da variabilidade de Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V e S, aumento dos teores de bases trocáveis e eficiência na correção da acidez do solo.

Em geral houve melhoria da fertilidade do solo pós-aplicação de calcário, evidenciado pelo aumento dos macronutrientes do solo e do pH, com predomínio de classe com maiores teores na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caon D, Genú AM (2013) Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(6): 629-639.
- Dalchiavon FC et al. (2012) Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica* 43(3): 453-461.
- EMBRAPA (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária, Brasília, Embrapa Solos, 353p.
- Farias SCC et al. (2016) Phosphorus forms in Ultisol submitted to burning and trituration of vegetation in Eastern Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40: e0150198.
- Gontijo I et al. (2012) Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(4): 1093-1102.
- Leite OC et al. (2018) Influência de dosagens de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no Sul de Tocantins. *Enciclopédica Biosfera* 15(28): 640-650.
- Prado RM, Natale WA (2004) calagem na nutrição e no desenvolvimento do sistema radical da caramboleira. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 3(1): 3-8.
- Santos EOJ et al. (2012) Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16(10): 1062-1068.

- Santos EOJ et al. (2015) Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. *Revista Ciência Agronômica* 46(3): 469-476.
- Soares Filho R, Cunha JPAR (2015) Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. *Engenharia Agrícola* 35(4): 689-698.
- Sobral LF et al. (2015). Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 13p.
- Sousa DMG, Lobato E (Ed.) (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 416p.
- Trentin RG et al. (2018) Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. *Acta Scientiarum. Agronomy* 40(35015): 1-9.
- Zonta JH et al. (2014) Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18(6): 595-602.

Variabilidade espacial de micronutrientes catiônicos do solo¹

Recebido em: 09/03/2022

Aceito em: 14/03/2022

 10.46420/9786558722694cap7

Karina Maraschi Pereira² 

Jorge Wilson Cortez^{3*} 

Realdo Felix Cervi⁴ 

Salvio Napoleão Soares Arcoverde⁵ 

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura de grande importância socioeconômica para o Brasil (Dalchiavon et al., 2012). Nesse cenário, o sistema de produção de grãos no Brasil vem experimentando profunda transformação com a adoção de tecnologias e ferramentas envolvidas no gerenciamento da propriedade rural (Trentin et al., 2018). Sendo assim, o estudo da variabilidade espacial da fertilidade do solo de uma propriedade agrícola é uma excelente ferramenta, pois gera informações importantes para o estabelecimento de estratégias de manejo de fertilizantes e corretivos (Burrough et al., 1996).

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a adoção da agricultura de precisão (AP), que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (Molin, 2000).

A variabilidade espacial do solo é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas (Li et al., 2007; Zanão Junior et al., 2007; Chaves e Faria, 2009; Gontijo et al., 2012; Rutkowska et al., 2014). Estas influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, causando alterações no movimento e

¹ Parte da Dissertação de Mestrado em Agronomia do primeiro autor.

² Enga. Agra. Mestre em Agronomia. Egressa da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

³ Eng. Agr. Doutor, Professor, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

⁴ Eng. Agr. Mestre em Agronomia. Egresso da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

⁵ Eng. Agríc. e Ambiental, Doutor, Professor Visitante, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

* Autor correspondente: jorgecortez@ufgd.edu.br

na redistribuição de compostos mais solúveis e, portanto, na variabilidade dos índices de pH do solo e dos seus de micronutrientes (Zanão Junior et al., 2007).

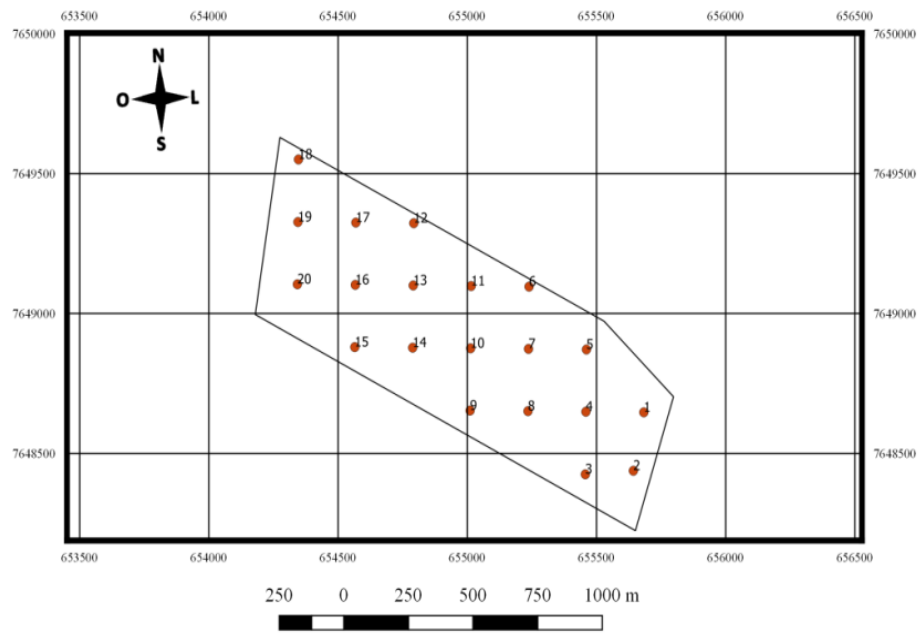
Apesar dos benefícios das tecnologias de AP, estas ainda são pouco utilizadas em algumas regiões do Brasil, tendo como principais motivos da baixa utilização, a amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço. Esse tipo de amostragem pressupõe que há dependência espacial dos parâmetros de solo analisados, dentro da área trabalhada (Soares Filho e Cunha, 2015). Os solos de Cerrado se caracterizam pela baixa fertilidade natural e necessitam da aplicação de altas doses de corretivos e de fertilizantes para garantir a obtenção de boa produtividade. Nesse contexto, a utilização correta de micronutrientes é imprescindível para a maximização dos macronutrientes, resultando em nutrição mineral adequada (Vitti e Grando Junior, 2006). Contudo, poucas informações são disponíveis sobre a variabilidade espacial de micronutrientes (Gontijo et al., 2012).

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial e disponibilidade de micronutrientes do solo (Fe, Cu, Mn, Zn) e pH em CaCl_2 ao longo da área de estudo por meio de mapas bidimensionais.

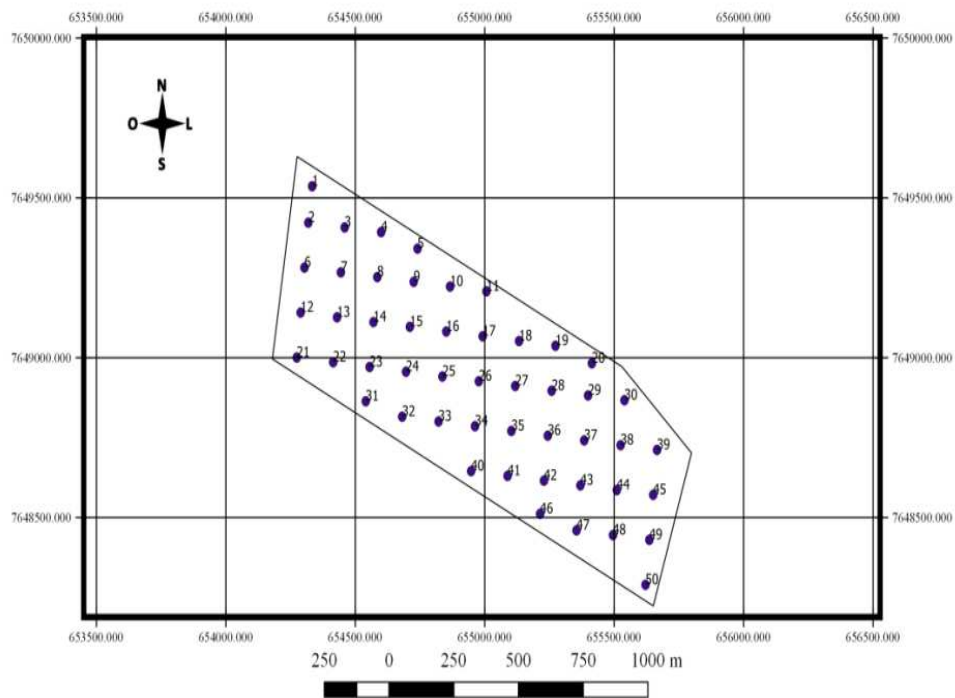
MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Água Santa, localizada no município de Maracaju - MS, Brasil. Na latitude de $-21^\circ 25' \text{ S}$ e longitude de $-55^\circ 49' \text{ W}$, fuso horário 21S, e altitude de 380 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am (tropical de monções), com precipitações médias anuais de 1200 mm; temperaturas máximas e mínimas de 33°C e $19,6^\circ\text{C}$, respectivamente. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (Santos et al., 2018), textura argilosa, com sua caracterização física na camada de 0,00 a 0,20 m composta por 56,8% de argila, 16,3% de Silte e 26,9% de Areia.

A área experimental vinha sendo explorada com pecuária, com bovinocultura de corte por mais de 40 anos. Com vegetação pastagem predominante a *Brachiaria humidicola*. Selecionou-se uma área de aproximadamente 100 ha, sendo alocados (20) pontos amostrais compostos, com grid de 5 ha (Figura 1). A coleta no grid de 5 ha foi realizada no dia 10/04/2018, com amostrador de rosca acoplado a veículo motorizado, sendo ao redor de cada ponto amostral retiradas 12 subamostras na profundidade de 0,00-0,20 m, cujos dados médios estão na Tabela 1.



(a)



(b)

Figura 1. Área e grade amostral inicial de 5 ha (a) e após a aplicação de calcário, grid a cada 2 ha (b).
Fonte: os autores.

Tabela 1. Análise química de alguns atributos do solo em 10/04/2018 e 01/11/2018 (Média). Fonte: os autores.

pH em CaCl ₂	M.O	SB	CTC	V	H+Al	Fe	Cu	Mn	Zn
	(g dm ⁻³)	%	(mmol _c dm ⁻³)	%	-----mg dm ⁻³ -----				
10/04/2018									
5,01	40,15	51,05	109,03	46	52,95	78,33	8,91	98,48	1,08
01/11/2018									
5,32	42,4	51,13	114,4	44	55,89	104,52	14,10	98,49	1,09

pH: Acidez; M.O: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: Saturação por Bases; H+Al: Acidez Potencial; Fe: Ferro; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

Com os dados da análise de solo, da coleta do dia 10/04/2018, foram elaborados mapas de recomendação de calagem tendo como critério a recomendação pela Fundação MS em que deve-se elevar saturação por bases a 70% em solos argilosos, com CTC entre 8 e 11 cmol dm⁻³, nível bom de matéria orgânica e níveis altos de Zn, Cu e Mn, considerando-se o PRNT de 85-90% do calcário magnesiano (CaO 45 - 48% MgO 6 - 10%) e calcítico (CaO 50 - 53% e MgO 00 - 03%) em taxa variável, provenientes da região de Bonito, MS, incorporado ao solo juntamente com a brachiaria, com a utilização de grade aradora e grade niveladora entre os dias 02/05/2018 a 05/05/2018. Posteriormente, no dia 28/10/2018 foi aplicado doses de taxa fixa de cloreto de potássio (100 kg ha⁻¹) a lanço.

Após a calagem realizou-se nova coleta (01/11/2018) na área, com grade amostral de 2 ha, tendo 50 pontos (Figura 1), com 12 subamostras por ponto, na camada de 0,00-0,20 m, com a utilização de amostrador de rosca acoplado a veículo motorizado.

Após a coleta das amostras de solo, do dia 01/11/2018, o solo foi encaminhado para um laboratório comercial, onde foram analisados os atributos pH, Fe, Cu, Mn e Zn. A obtenção dos micronutrientes foi pelo método de extração via Mehlich 1 e o pH em CaCl₂ conforme Silva et al. (1999). A interpretação dos micronutrientes (Tabela 2) no solo foi baseada em Souza e Lobato (2004).

Os dados dos micronutrientes do solo e do pH foram inicialmente submetidos a análise descritiva para obtenção de medidas de tendência central e dispersão. Posteriormente procedeu-se à análise geoestatística e obteve-se o semivariograma.

A fim de analisar a variabilidade espacial dos micronutrientes e pH da área do estudo, foi realizada a confecção de mapas por meio do interpolador Krigagem Ordinária com o software de plataforma livre e aberto o QGIS.

Tabela 2. Limites e interpretação dos teores de pH e micronutrientes do solo. Fonte: Adaptado de Souza e Lobato (2004).

Faixas	pH em CaCl ₂	Fe*	Cu	Mn	Zn
-----mg dm ⁻³ -----					
-					
Baixo	<4,4	<25	<0,4	<1,9	<1,0
Médio	4,5-5,5	25,0-40,0	0,5-0,8	2,0-5,0	1,1-1,6
Alto	5,6-5,8	>40,0	>0,8	>5,0	>1,6

pH - acidez, Fe – ferro, Cu – cobre, Mn – manganês e Zn – Zinco. MA: muito alto. *Adaptado de Souza e Lobato (2004)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH estava médio (5,01) (Tabela 1) e após a aplicação e reação do calcário, o pH do solo passou para 5,32 (Tabela 3), considerado um valor médio de acidez para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja (Tabela 2). Os Latossolos são provenientes de rochas eruptivas básicas, se caracterizam por ter uma baixa fertilidade natural, com baixa saturação por base e altos teores de ferro e manganês nos horizontes superficiais (Santos et al., 2018), corroborando com as características do solo de estudo. Apesar de ter aplicado dose média de calcário magnesiano (3605 kg ha⁻¹) e calcário calcítico (1808 kg ha⁻¹), o pH não teve um aumento relevante pela alta aplicação desses corretivos. Isso se justifica devido ao poder tampão do solo, que é definido como a resistência do solo à alteração do pH, sendo necessário mais que uma correção. Quanto mais elevado é o teor de matéria orgânica do solo e CTC, o teor de argila e o de óxidos, maior será o poder tampão, pois são fontes de H⁺ e Al³⁺ para a solução do solo (Lopes, 1998). Fato que se encontrou no presente trabalho.

Observou-se que as concentrações de Fe, Cu e Mn, eram considerados altos para a cultura da soja, já o Zn apresentou-se médio (Tabela 3). Após a aplicação de calcário, houve um aumento em valores absolutos de Fe (104,92 mg dm⁻³), Cu (14,10 mg dm⁻³), Mn (98,49 mg dm⁻³) e Zn (1,09 mg dm⁻³) na camada de solo influenciada pelo manejo (0,00-0,20 m), considerados altos com base nos critérios de Souza e Lobato (2004). Apesar do teor do pH da área experimental ter aumentado, segundo estudos realizados por Malavolta (1979), verifica-se que o pH nas faixas entre 4,5 e 5,5, são valores nos quais propõem uma maior disponibilidade de micronutriente catiônicos no solo. A medida em que o pH aumenta, os teores de Fe, Cu, Mn, e Zn diminuem devido ao aumento da CTC (maior fixação) e precipitação de cátions em solução, na forma de hidróxidos insolúveis. De maneira geral, a disponibilidade desses elementos depende do valor do pH e sua dinâmica é inversamente proporcional ao mesmo.

Tabela 3. Estatística descritiva dos micronutrientes do solo e pH. Fonte: os autores.

Parâmetros	pH	Fe	Cu	Mn	Zn
	CaCl ₂	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)
Média	5,32	104,92	14,10	98,49	1,09
DP	0,34	29,96	1,41	13,76	0,42
Variância	0,12	897,67	1,99	189,42	0,17
CV (%)	6,40	28,56	10,01	13,97	38,26
Mínimo	4,60	58,00	10,20	52,90	0,40
Mediana	5,30	105,00	14,00	99,60	1,00
Máximo	6,50	174,00	17,60	141,30	2,10
Amplitude	1,90	116,00	7,40	88,40	1,70
As	0,76	0,43	-0,47	-0,75	0,50
Curtose (k)	1,82	-0,55	1,68	4,54	-0,46
RJ	0,98	0,97	0,98	0,92	0,99
P	0,081 ^{ns}	<0,010*	>0,10 ^{ns}	<0,010*	>0,10 ^{ns}

ns: distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). *: distribuição significativa pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). CV.: coeficiente de variação. DP: desvio padrão. As: Assimetria. RJ: Ryan-Joiner. P: probabilidade.

Diante dos resultados encontrados no presente trabalho, os Latossolos Vermelhos Distrofêrricos, têm como principal limitação a baixa fertilidade do solo, porque são solos distróficos com baixa saturação por bases. Estudos realizados por Zanão Junior et al. (2007) confirmam que os maiores teores de Zn e Mn nos primeiros 10 cm de solo podem ser explicados pela maior quantidade de matéria orgânica na referida camada, uma vez que esta, é uma das principais fontes destes nutrientes no solo. A disponibilidade do Cobre também pode ser influenciada por esse componente, que é um dos principais reservatórios do elemento (Costa, 2009). Condizente com este trabalho, no qual apresentou um alto índice de matéria orgânica (Tabela 1).

O coeficiente de variação (CV) é calculado a fim de obter informações sobre a dispersão e a distribuição das variáveis em estudo. As variabilidades dos atributos foram classificadas com base nos critérios de Pimentel-Gomes (2009) para experimentos de campo com culturas agrícolas, que considera os valores de CV como baixos, quando são inferiores a 10%, médios, quando estão entre 10 e 20%, altos, quando estão entre 20 e 30%, e muito altos quando são superiores a 30%. A análise mostrou que o pH (Tabela 3) teve CV considerado baixo (6,40%), tendo seus conjuntos de dados mais parecidos entre si, havendo mais homogêneos, e conseqüentemente uma menor variabilidade. O CV de Cu (10,01%) e Mn (13,97%), foram classificados como médio, tendo um grupo de dados com menor homogeneidade e uma variabilidade moderada, comparado com o pH. Já o CV do Fe (28,26%) e Zn (38,26%) foram

considerado altos e muito altos, respectivamente, tendo seus conjuntos de dados com os valores amostrais mais contrastantes entre si. Sugerindo alta heterogeneidade em torno da média entre os atributos químicos nos compartimentos do terreno. Isso evidencia que o Zn e o Fe são elementos que ocorrem segundo uma distribuição aleatória no espaço e apresenta grande variação ao redor da média, mostrando-se um elemento crítico para o adequado manejo do ponto de vista da agricultura de precisão. Referida heterogeneidade pode ter várias causas, dentre as quais merecem destaque: processos de formação do solo, acúmulo e distribuição das partículas do solo em função da forma do relevo e do fluxo de água na área (Artur et al., 2014).

O desvio padrão (Tabela 3) determina o quanto os valores dos dados oscilaram em torno da média central. Quanto mais próximo a zero for o valor obtido, menos dispersos serão os valores. O pH, o Cu e o Zn obtiveram desvio padrão com os valores de 0,34; 1,41; e 0,42, respectivamente, apresentando uma baixa dispersão, oscilação em torno da média e amplitude dos dados e, conseqüentemente, uma distribuição normal pelo teste de Ryan- Joiner. Os valores de 29,96 e 13,76 correspondem ao Fe e Mn, respectivamente, onde apresentaram uma alta oscilação em torno da média, demonstrando uma maior amplitude, havendo uma alta dispersão dos dados. Além do mais, apresentaram uma distribuição significativa pelo teste de Ryan- Joiner.

O pH e o Cu mostraram dependência espacial de seus dados, considerado forte, condizente com o semivariograma, em que as curvas apresentaram melhor ajuste ao modelo de função quadrática dos dados. O Zn e o Mn apresentaram uma dependência espacial classificada como moderada, pois ambos apresentaram no semivariograma alguns pontos distantes da curva. Diferente do Fe que demonstrou uma dependência espacial considerada fraca e mostrou uma curva de semivariância com maior diferença em relação às demais. A dependência espacial fraca pode ser devido à baixa densidade amostral em relação ao tamanho da área, resultando em vizinhos próximos com valores discrepantes, associada à variabilidade. Essa variabilidade do Fe pode ser explicada pelas áreas onde o solo pode ter maior umidade. Em condições anaeróbias, elevadas quantidades de Fe na forma reduzida (Fe^{2+}) são liberadas para a solução do solo e, conseqüentemente, aumentam a sua possibilidade de absorção pelas plantas, podendo, em casos de excesso, atingir níveis de toxidez prejudiciais à cultura (Schmidt et al., 2013). Assim, não foi gerado o mapa da distribuição do Fe para a área de estudo.

O pH em partes da área apresentou manchas (Figura 2), porém, houve uma distribuição uniforme do mesmo ao longo da unidade produtiva com predominância da faixa alaranjada entre 5,16 a 5,4, esse resultado se dá devido ao seu baixo CV, apontando uma baixa variabilidade. Essa homogeneidade é consequência da suavização ocorrida no processo de interpolação por meio da krigagem (Santos et al., 2011).

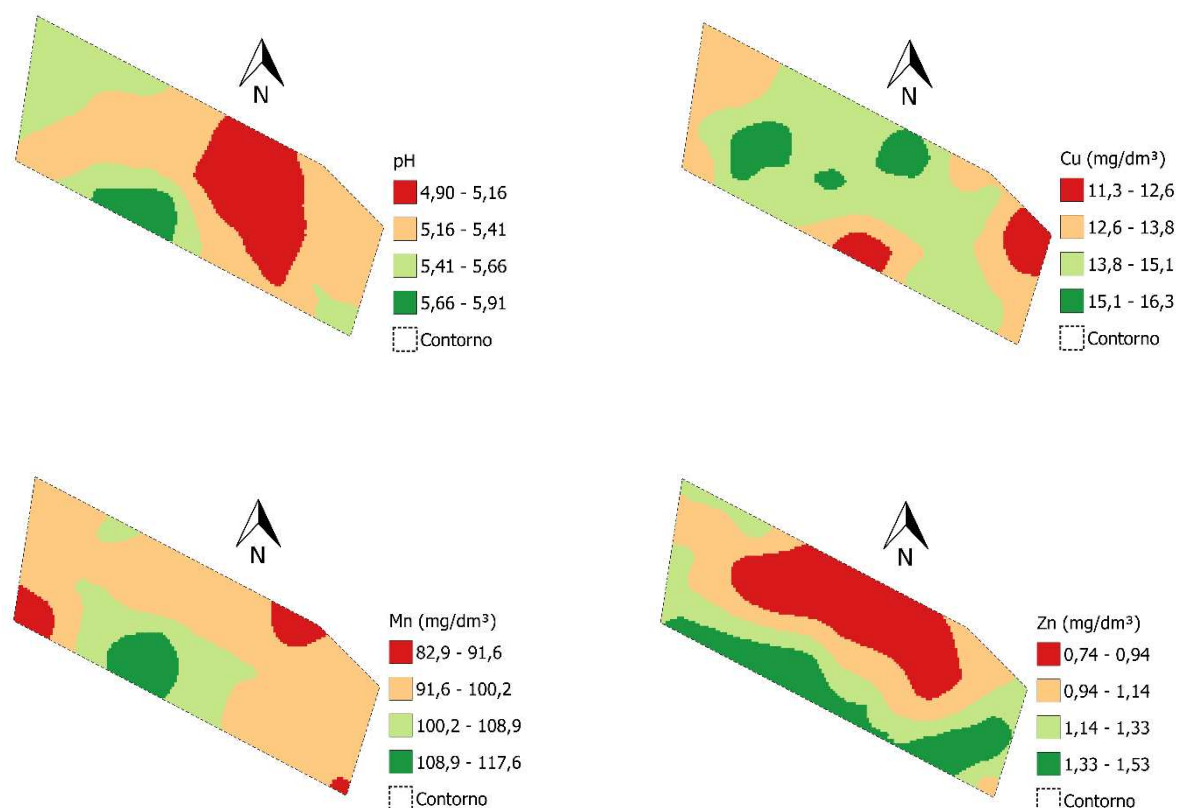


Figura 2. Variabilidade espacial do pH e micronutrientes. Fonte: os autores.

Apesar de o mapa temático de Cu (Figura 2) apresentar algumas manchas, este apontou uma maior predominância de teores entre 13,8- 15,1 mg dm⁻³, havendo maior uniformidade no mapa estimado, concordando com seu baixo CV. O mesmo ocorre com o Mn (Figura 2), que apresentou ao longo da área, predominância da faixa de 91,6 mg dm⁻³ a 100,2 mg dm⁻³. Sendo assim, tem maior uniformidade desse micronutriente devido ao seu baixo CV. Enquanto que para o Zn (Figura 2) é possível observar sua distribuição ao longo da área, resultando em variabilidade alta, devido o valor de CV que apresentou muito alto.

Estes mapas, que mostram a distribuição espacial dos micronutrientes na área estudada após a correção à taxa variável, servirão de base para o acompanhamento, nos próximos anos, do efeito da aplicação em relação ao comportamento dos referidos elementos. A separação da área em regiões uniformes também permitirá um planejamento adequado do manejo da fertilidade das mesmas, no sentido de evitar que ocorra deficiência dos elementos para as culturas, como a da soja, ou que os níveis dos mesmos aumentem a ponto de se tornarem tóxicos. Assim, após anos da prática de aplicação de fertilizantes em taxa variável, há redução na variabilidade e elevação dos teores de nutrientes, entretanto, é necessário identificar regiões com potencial produtivo distinto, para atuar com manejo diferenciado (Gimenez e Molin, 2018).

CONCLUSÕES

O pH apresentou menor variabilidade na área experimental, enquanto que o Cu e Mn foram classificados com uma variabilidade moderada, seguido de Fe e Zn que demonstraram alta variabilidade espacial na área estudada.

As concentrações de Fe, Cu e Mn foram considerados altos, já o Zn apresentou-se média concentração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artur A et al. (2014) Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, 18(2):141-149.
- Burrough PA et al. (1996). Using public domain geostatistical and GIS software for spatial interpolation. *Photogrammetric. Engineering & Remote Sensing*, 62(7):845-854.
- Chaves LHG, Farias CHA (2009) Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argisolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, 40(2):211-218.
- Costa WPLB (2009) Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira. Universidade Federal Rural de Pernambuco (Dissertação), Recife. 80p.
- Dalchiavon FC et al. (2012). Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, 43(3):453-461.
- Gimenez LM, Molin JP (2018). Agricultura de Precisão sob a perspectiva de seus diversos atores. *Informações agronômicas*, 162(?):15-19.
- Gontijo I et al. (2012). Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(4):1093-1102.
- Li BY et al. (2007). Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Soil and Tillage Research*, 96(1-2):166-173.
- Lopes AS (1998). Manual Internacional de fertilidade do solo: Traduzido e adaptado. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS. 177p.
- Malavolta E (1979). ABC da adubação. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 256p.
- Molin R (2000) Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária. p.1-2.
- Pimentel-Gomes F (2009). Curso de estatística experimental. 15. ed., Piracicaba: Fealq. 451 p.
- Rutkowska B et al. (2014). Stepień Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Plant Soil Environmental*, 60(5):198-203.
- Santos HG et al. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa. 356p.

- Santos PC et al. (2011). O emprego da geoestatística na determinação do tamanho “ótimo” de amostras aleatórias com vistas à obtenção de estimativas dos volumes dos fustes de espécies florestais em Paragominas no estado do Pará. *Ciências Florestais*, 41(2):213-222.
- Shmidt F et al. (2013). Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(5):1226-1235.
- Silva WM et al. (1999). Eficiência de extratores de fósforo em dois latossolos do Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34(12):2277- 2285.
- Soares Filho R, Cunha, JPAR (2015). Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. *Engenharia Agrícola*, 35(4):689-698.
- Sousa DMG, Lobato E (2014). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416p.
- Trentin RG et al. (2018). Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40(1):e35015.
- Vitti GC, Grando Jr. N (2006). O uso de micronutrientes na maximização da produção. *Visão Agrícola*, 5(?):24-26.
- Zanão Júnior LA et al. (2007). Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Ciência Rural*, 37(4):1000-1007.

Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação¹

Recebido em: 11/03/2022

Aceito em: 15/03/2022

 10.46420/9786558722694cap8

Laurenço Quintão Scalon² 

Jorge Wilson Cortez^{3*} 

Dario Alexandre Schwanbach⁴ 

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a adoção de tecnologias tem melhorado o gerenciamento dos sistemas de produção intensivo. As ferramentas de agricultura de precisão (AP) com o emprego de amostragem de solo em grade e a aplicação de fertilizantes à lanço em taxa variável tem sido uma alternativa para economia de insumos e para melhorar a fertilidade do solo (Soares Filho; Cunha, 2015).

A agricultura de precisão foi essencial para o aperfeiçoamento da agricultura, especialmente na região central do Brasil, cujos solos geralmente são considerados ácidos e de baixa fertilidade. Parte dos solos brasileiros, especialmente aqueles de expansão da fronteira agrícola como os solos na região do Cerrados, apresentam como características a acidez, toxidez de alumínio (Al^{3+}) e/ou manganês (Mn^{2+}) e baixos níveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Nos últimos anos, tem-se observado alta correlação entre o pH do solo, ausência de Al^{3+} e aumento de Ca^{2+} em profundidade com a produtividade, especialmente da soja (Kerber, 2016).

A prática de adubação utilizada na maioria das áreas de produção de grãos do cerrado brasileiro, desconsidera questões ambientais nos métodos de recomendação, bem como não adota de maneira eficiente estratégias que possam reduzir as doses de fertilizante sem comprometer a rentabilidade das culturas (Mermut; Eswaran, 2001). Assim, uma aplicação bem sucedida de corretivos ou fertilizantes, em taxa fixa ou variada, dependerá de máquinas devidamente reguladas e calibradas, das propriedades físicas dos corretivos e fertilizantes e de mapas de recomendação bem elaborados. Milani et al. (2006) afirmam que o manejo localizado apresenta produtividades mais homogêneas e superiores ao manejo uniforme.

¹ Parte do Trabalho de Conclusão de Curso do primeiro autor.

² Eng. Agr., Egresso da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

³ Eng. Agr. Doutor, Professor, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

⁴ Eng. Agr., M. Sc., Egresso da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Rodovia Dourados-Itahum km 12, Cidade Universitária, Dourados/MS, Brasil.

* Autor correspondente: jorgecortez@ufgd.edu.br

Ressalta-se que a produtividade das culturas anuais é altamente dependente da correção do pH do solo por meio da prática da calagem, e neste contexto, a agricultura de precisão tem ganhado espaço com a utilização de técnicas, como as aplicações de calcário em taxa variada, efetuada no local e com a quantidade exata que o solo necessita.

Assim, a análise da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo pode auxiliar na escolha da área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e análise de produtividade (Silva; Chaves, 2006; Santos et al., 2012; Dalchiavon et al., 2012). O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é essencial pois possibilita o manejo do solo e minimiza as consequências da variabilidade na produção final.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo e obter os mapas de recomendação de calagem, potássio e fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma fazenda comercial, localizada no município de Ponta Porã, MS cultivada no sistema de sequeiro. O local situa-se na latitude de 22°22'58" S, longitude de 55°10'30" W e altitude média de 440 m.

O clima é do tipo tropical úmido com inverso seco - Cwa (Köppen, 1948). O solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 1a), apresentando em média 343 g kg⁻¹ de argila, 84 g kg⁻¹ de silte e 572 g kg⁻¹ de areia total e relevo suavemente ondulado (Santos et al., 2018).

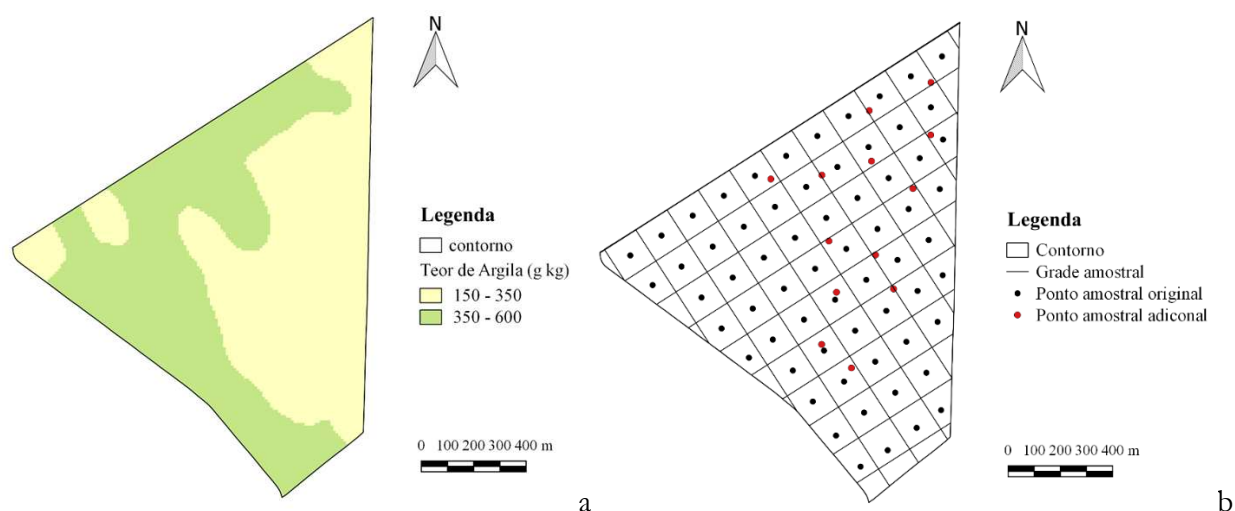


Figura 1. Mapa detalhado da variabilidade do teor de argila no talhão (a), representando a textura média (amarelo) e textura argilosa (verde); e grade regular com ponto amostral central e ponto amostral adicional para a coleta de amostras de solo (b). Fonte: Schwambach (2020).

A área experimental possui 132 hectares cultivados com semeadura direta sobre a palha, sempre com a cultura da soja no período de primavera-verão, e nos últimos 5 anos, as culturas de milho e trigo

semeados alternadamente no período do outono-inverno. Após a colheita de trigo em 2017 e milho em 2018 houve aplicação de calcário dolomítico e gesso agrícola nas doses de $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

Para a caracterização dos atributos químicos do solo foi georreferenciada a área de estudo de 132 ha e gerado grade amostral pelo software geoestatístico em plataforma livre QGIS (versão 2.18.24), sendo uma grade regular com 64 pontos com um ponto a cada 2,06 hectares ($143,61 \times 143,61 \text{ m}$), e, adicionado 13 pontos amostrais de forma aleatória. Para a determinação do número de pontos coletados aleatoriamente, estipulou-se um acréscimo de aproximadamente 20% no número de pontos alocados de forma regular. Assim, a densidade amostral final foi de 01 amostra a cada 1,78 hectares, totalizando 77 pontos amostrais. A Figura 1b representa a área de estudo com a posição do ponto amostral na malha regular com 64 pontos e os 13 pontos aleatórios (pontos adicionais).

A coleta de solo foi realizada, de forma manual, com um perfurador marca Stihl®, modelo BT 45 a gasolina com trado da marca Irwin® modelo Mathieson $1 \frac{1}{2}'' \times 18 \text{ mm}$, na profundidade de 0,0-0,2 m, formada por 10 sub-amostras, tomadas aleatoriamente ao redor de cada ponto amostral, respeitando um raio de 5 m referente ao erro do receptor GNSS. Após a coleta das amostras, o solo foi encaminhado para laboratório onde foram determinados os valores dos atributos, sendo estes: potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio (pH CaCl_2), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+AL), soma de bases SB, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), saturação por bases (V%). A interpretação dos atributos químicos do solo (pH CaCl_2 , MO, P, K^+ , Ca, Mg, Al, V% e CTC), foram baseadas de acordo Raij et al. (1997).

Para o cálculo da calagem, foi elevado a saturação de bases para 80% (V2) e o PRNT - Poder Relativo de Neutralização Total do calcário que foi considerado de 90%.

Para os cálculos de fosfatagem em que os valores foram classificados como baixos, recomenda-se a adubação com 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para valores médios, recomenda-se 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para valores adequados, recomenda-se 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 e para valores altos recomenda-se 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Raij et al., 1997). Para a recomendação de Fósforo, utilizou-se o Superfosfato triplo, o qual possui 41% de P_2O_5 . Ou seja, todos os valores da recomendação foram divididos por 0,41 para que o mapa de recomendação estivesse pronto para este fertilizante. Para os cálculos de recomendação de Potássio em que os valores foram baixos, recomenda-se a adubação com 80 kg ha^{-1} de K_2O , para valores médios recomenda-se 60 kg ha^{-1} de K_2O , para os valores adequados recomenda-se 50 kg ha^{-1} de K_2O e para valores altos recomenda-se 30 kg ha^{-1} de K_2O (Raij et al., 1997). Para o mapa de recomendação, utilizou-se o Cloreto de Potássio, que possui 58% de K_2O , ou seja, todos os valores de recomendação de K_2O foram divididos por 0,58 para que a recomendação já saísse pronta para utilizar o fertilizante em questão.

Os dados foram inicialmente analisados pela estatística descritiva. Para a interpretação do coeficiente de variação (CV%), seguiu-se Warrick e Nielsen (1980) classificando como: baixo se menor

que 15%, médio entre 15 e 50% e alto acima de 50%. Para verificação do ajuste da distribuição normal, utilizou-se o teste de Ryan-Joiner a 5% de probabilidade.

Todos os mapas foram dimensionados para resolução espacial de 10 m e processados utilizando o interpolador IDW, inverso do quadrado da distância na potência dois, o modelo supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do pH CaCl₂ (Figura 2a), encontram-se entre 5,32 e 6,12 (Tabela 1) o que segundo Raij et al. (1997), indica que alguns locais do talhão, a acidez é considerada baixa e muito baixa, respectivamente. Ao analisar o mapa, percebe-se que existem poucas áreas com valores menores, o que é facilmente explicado analisando o baixo coeficiente de variação. Analisando os valores médios dos atributos químicos do solo, observa-se que o pH em CaCl₂ representa acidez baixa.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos químicos do solo. Fonte: os autores.

Atributos	Unidade	Média	DP	V	CV	Mn	Md	Mx	AMP	ASS	K	P
pH CaCl ₂		5,77	0,18	0,03	3,07	5,32	5,76	6,12	0,80	-0,20	-0,38	>0,10 ^{ns}
MO	g dm ⁻³	36,00	5,53	30,59	15,36	24,05	35,53	46,46	22,41	-0,11	-0,61	>0,10 ^{ns}
P	mg dm ⁻³	12,30	4,52	20,42	36,74	5,28	12,08	23,87	18,59	0,54	-0,44	0,030*
K ⁺	cmolc dm ⁻³	0,18	0,08	0,01	46,32	0,08	0,16	0,48	0,40	1,79	3,67	<0,01*
Ca+Mg	cmolc dm ⁻³	6,26	0,98	0,95	15,59	4,30	6,00	9,50	5,20	0,88	1,31	<0,01*
Ca ²⁺	cmolc dm ⁻³	5,09	0,90	0,81	17,71	3,10	5,00	7,30	4,20	0,42	-0,11	0,034*
Mg	cmolc dm ⁻³	1,17	0,20	0,04	17,21	1,00	1,10	2,20	1,20	4,28	19,28	<0,01*
H+Al	cmolc dm ⁻³	2,08	0,50	0,25	23,89	0,80	2,10	3,50	2,70	0,06	-0,02	>0,10 ^{ns}
SB	cmolc dm ⁻³	6,43	1,00	1,00	15,55	4,38	6,22	9,71	5,33	0,83	1,25	<0,01*
T	cmolc dm ⁻³	8,51	1,21	1,46	14,21	5,68	8,46	12,21	6,53	0,28	0,77	>0,10 ^{ns}
CTC	cmolc dm ⁻³	6,43	1,00	1,00	15,55	4,38	6,22	9,71	5,33	0,83	1,25	<0,01*
V	%	75,55	4,70	22,10	6,22	63,19	75,04	85,91	22,72	-0,12	-0,47	>0,10 ^{ns}

DP: desvio padrão; V: variância; CV(%): coeficiente de variação; Mn: mínimo; Md: mediana; Mx: máximo; AMP: amplitude; As: Assimetria; K: curtose; P: probabilidade com o teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk), onde (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) distribuição não significativo. Quando significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. fósforo (P), potássio (K⁺), matéria orgânica (MO), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al+3), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica total (T), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC), saturação por bases (V).

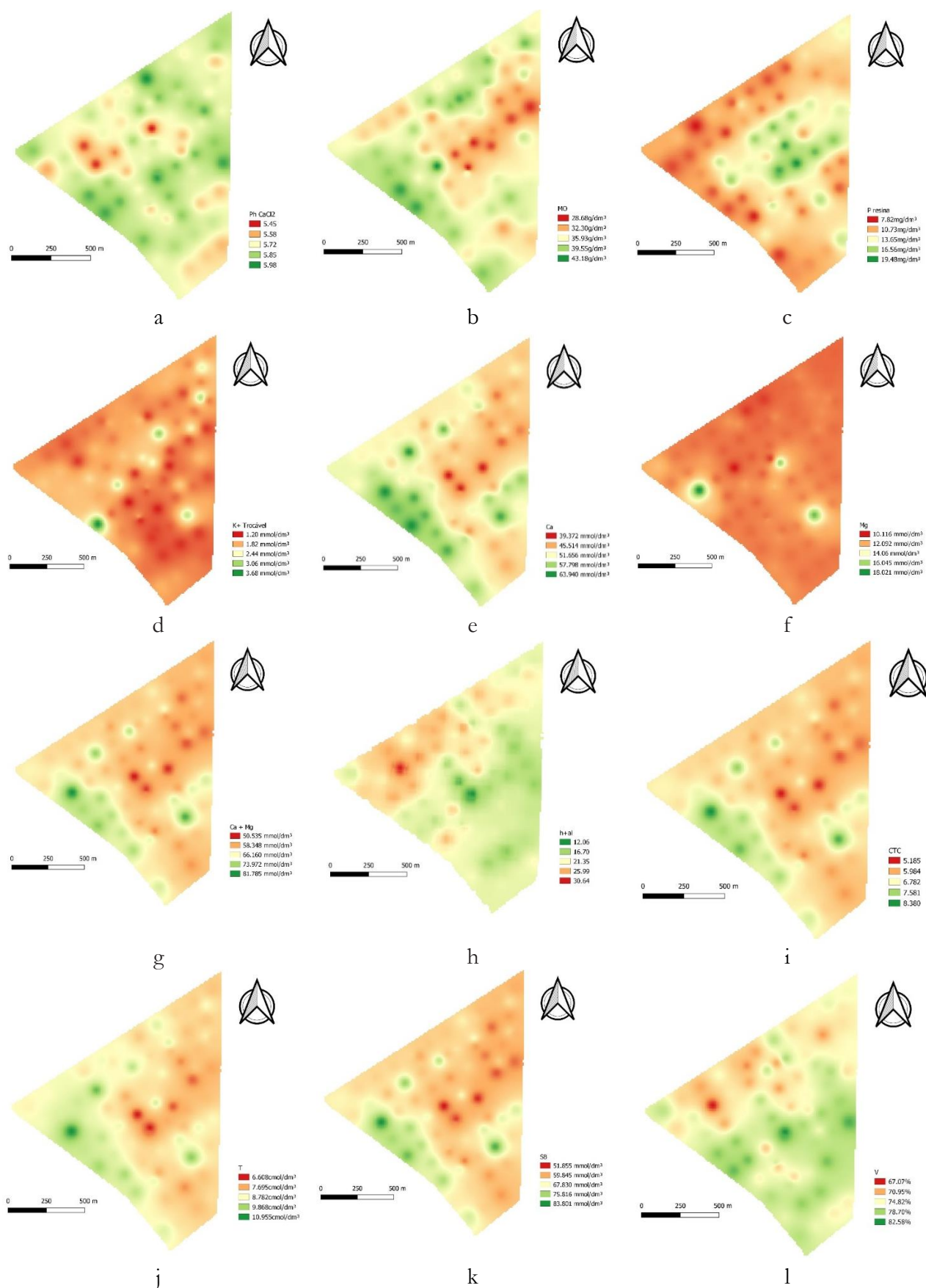


Figura 2. Mapas dos atributos químicos do solo avaliados: pH CaCl₂ (a), matéria orgânica (b), fósforo (c), potássio(d), cálcio(e), magnésio(f), cálcio + magnésio(g), H+Al (h), CTC(i), T(j), SB(k) e V%(l) Fonte: os autores.

Segundo Raij et al. (1997), o teor de matéria orgânica é útil para dar ideia da textura do solo, com valores de até 15 g dm^{-3} para solos arenosos, de 16 a 30 g dm^{-3} para solos de textura média e de 31 a 60 g dm^{-3} para solos argilosos.

Analisando a espacialização da matéria orgânica (Figura 2b), observa-se ampla faixa com valores baixos, podendo possivelmente ser uma área com menor porcentagem de argila, visto que o solo do talhão é considerado misto, o que explica seu CV classificado como médio, e nas áreas de amarelo a verde, pode se considerar que o solo é de textura argilosa.

Analisando a espacialização da distribuição de Fósforo (P) (Figura 2c), percebe-se que a maior parte da área apresenta teores baixos, com exceção da região central da área, que se encontra em nível médio. O médio coeficiente de variação (cv) pode ser explicado devido à alta variabilidade espacial deste elemento, pois este fertilizante é aplicado parcialmente em lance e outra parte no sulco de semeadura, e pelo fator textural, visto que a área não possui solo homogêneo como pode-se analisar pela disponibilidade de matéria orgânica (Figura 2b), o fósforo é altamente adsorvido pelos componentes mineralógicos da fração argilosa (Bahia Filho et al., 1983), ficando mais disponível na área com menor teor de argila.

Analisando o valor médio do potássio (K^+) (Tabela 1), está classificado como médio, mas seus valores variam de 0,8 a $4,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$, classificados como baixo e alto, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada ao avaliar o coeficiente de variação (Tabela 1), classificado como médio. Muitos autores explicam este fato pois parte do fertilizante é aplicado a lanço e outra parte é aplicado no sulco de semeadura. Outra explicação plausível é a distribuição textural do solo, visto que solos com baixa CTC e matéria orgânica, favorecem a lixiviação deste elemento. Ou seja, presume-se que nas partes com maior deficiência deste elemento, o solo possua menor quantidade de argila. A adubação potássica é convertida inicialmente em formas não trocáveis, ou seja, são mais suscetíveis a lixiviação. Solos com baixa CTC não conseguem deixar grandes quantidades de K^+ disponíveis, dificultando a reposição de K^+ não trocável, pois pode ser lixiviado (Werle et al., 2008). Os cátions trocáveis são retidos no solo por meio da força de atração, ou seja, a intensidade da força bem como seu raio iônico, onde cátions menores são mais fortemente retidos. Cada cátion possui uma força diferente, e a sequência liotrópica para os principais cátions do solo seguem a seguinte ordem: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (Raij, 2017). Na maior parte do mapa (Figura 2d), os valores encontram-se baixos e médios, demandando diferentes níveis de cloreto.

Analisando a espacialização de Cálcio (Figura 2e) e magnésio (Figura 2f), pode-se verificar a variabilidade espacial quanto a disposição de cálcio, não ocorrendo tanto em relação ao magnésio. Observa-se que os valores estão muito altos, mesmo as menores quantidades representadas por vermelho no mapa, são consideradas altas, onde o teor médio de cálcio na área é provavelmente resultado de

excesso de calcário utilizado pelo produtor ao longo dos anos anteriores. Todavia, observa-se que a relação Ca/Mg mantém-se entre a recomendação clássica de 3:1.

Analisando ambos os mapas (Figura 2g e 2h), é possível identificar que as somas de Cálcio com Magnésio estão relacionadas com a diminuição de H^+ na área, efeito desejado da calagem. Todavia, a grande distribuição de cálcio e magnésio na área, pode ser efeito de usos anteriores de calcários de baixa reatividade, fato este que disponibiliza muito Ca e Mg na área, mas não havia neutralizado o H^+ .

A CTC representa a capacidade de troca catiônica, ou seja, representa a capacidade do solo em reter cátions, ou seja, elementos de carga positiva que estão retidos nos coloides no solo. Quanto maior a CTC do solo, maior será a quantidade de cátions que o solo poderá reter. Dentre esse fator, analisou-se dois principais tipos de CTC, que foram a CTC efetiva (Figura 2i) e a CTC a pH 7 (T) (Figura 2j). A CTC a efetiva é calculada a partir da soma de bases dos cátions básicos e alumínio, os quais mantem o solo próximo ao valor do pH natural. A CTC a pH 7 (T) é calculada a partir dos cátions básicos e também os cátions ácidos, levando em conta a quantidade de Hidrogênio disponível. Em resumo, pode-se dizer que a diferença de ambos os mapas são basicamente a quantidade de Hidrogênio, visto que a quantidade de Alumínio na área é 0.

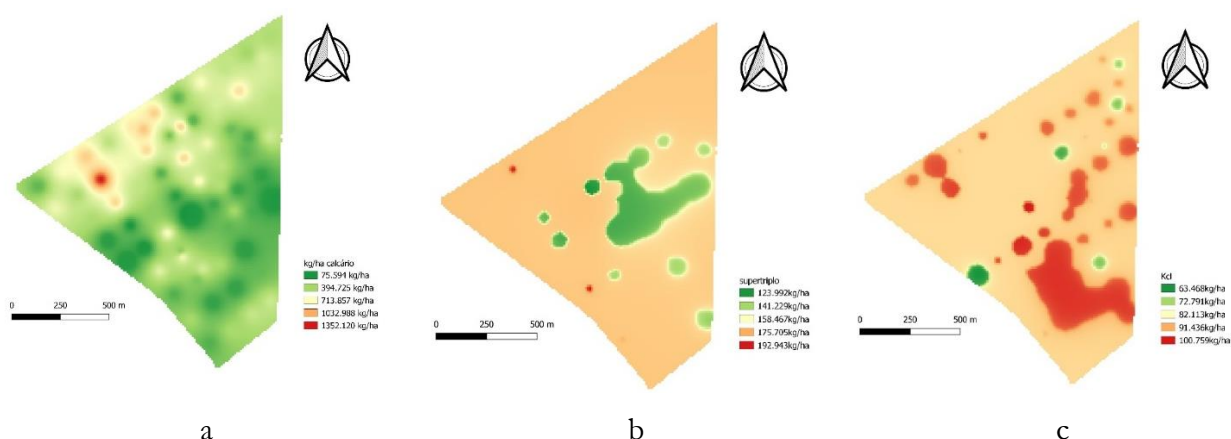


Figura 3. Mapas de recomendação de calcário, de fósforo - Supertríplo (b) e potássio- KCl(c). Fonte: os autores.

Para saturação por bases (V), observa-se na Tabela 1 e Figura 2i o valor médio de 75,55%, classificado como alto, entretanto os valores variam de 63,19% até 85,91%, valores classificados como médio e alto, respectivamente. Como era desejado elevar a saturação por bases para 80%, e o mínimo recomendado de magnésio é de 5 mmolc dm^{-3} , observa-se que o menor valor na análise de solo é de 10 mmolc dm^{-3} , ou seja, não é necessário a reposição de magnésio no solo. Este fato levou a escolha do calcário calcítico, com PRNT de 90. Ao analisar o mapa de $H + Al$ (Figura 2h) e comparar com o mapa de V% (Figura 2l), é possível notar que se assemelham em suas cores, e o mapa de recomendação de calcário traz como resposta a correção com as quantidades necessárias de corretivos.

Para a recomendação de calcário (Figura 3a), é importante analisar os mapas de Ca + Mg (Figura 2g) e H+AL (Figura 2h) e V% (Figura 2l). Pois se assemelham por estarem diretamente ligados entre si e com a correção do solo, pois altas quantidades de H+ Al influenciam em baixa saturação por bases, e altos níveis de Ca + Mg influenciam em altas somas de bases. Baseado na Figura 3a o mapa de recomendação de calcário sugere que a maioria da área deve receber baixa quantidade de calcário com exceção do terço superior que apresenta algumas manchas que necessita de doses mais elevadas.

Para o mapa de recomendação de Supertriplo (Figura 3b), observa-se que no centro da área será aplicado menores quantidades, e os entornos receberão as maiores dosagens. Analisando o mapa de recomendação de cloreto de potássio (Figura 3c), percebe-se que a maior parte da área receberá altas dosagens de fertilizantes, salvo algumas manchas que demandam de dosagens quase 50% inferiores.

Analisando as quantidades gastas a taxa fixa e taxa variável dos produtos para correção, verifica-se que para a aplicação a taxa fixa de calcário, iria-se utilizar 42,38 Mg, enquanto na aplicação a taxa variável, iria utilizar 56,89 Mg. Para a aplicação de fertilizantes potássicos, utilizaria 22,44 Mg na taxa fixa, enquanto que a aplicação a taxa variável, será utilizado 11,89 Mg de cloreto de potássio. Para aplicação de fertilizantes fosfatados, utilizaria 22,44 Mg na taxa fixa, enquanto na aplicação a taxa variável será utilizada 22,27 Mg de superfosfato triplo.

Erroneamente, imagina-se que a aplicação a taxa variável utiliza menos fertilizante. Sua real função é a de aplicar a quantidade certa nos locais certos, enquanto que a aplicação a taxa fixa trabalha com médias, ou seja, a aplicação será insuficiente nas áreas que necessitam, e excessivamente nas áreas saturadas.

CONCLUSÕES

De maneira geral, observa-se para todos os atributos avaliados a ocorrência de variabilidade espacial ao longo da área.

Como resultado de anos de cultivo e correções na área ocorre baixa necessidade de calagem, pois os mapas correlacionados aos atributos químicos de V% estão próximo ao recomendado.

Para o fósforo observa-se que a região central do talhão receberá as menores doses, e em volta dela, serão as maiores dosagens. Enquanto que para o potássio, percebe-se que há uma ampla variabilidade na aplicação, pois os valores do mapa de potássio em sua maioria apresentam valores baixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dalchiavon FC et al. (2012). Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. Revista Ciência Agronômica, 43(3):453-461.
- Kerber L (2016). O impacto da variação entre as doses de calcário na distribuição a lanço. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. 29p.

- Koppen WP (1948). Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica. 478p.
- Mermut AR, Eswaran H (2001). Some Major Developments in Soil Science Since the Mid-1960s. *Geoderma*, 100(3-4):403-426.
- Milani L et al. (2006). Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*, 28(4):591-598.
- Raij BV et al. (1997). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC. 285p. Boletim 100.
- Santos HG et al. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília: Embrapa. 356 p.
- Santos EOJ et al. (2012) Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(10):1062-1068.
- Silva PCM, Chaves LHG (2006). Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. *Agropecuária Técnica*, 27(?):5-12.
- Soares Filho R, Cunha JPAR (2015). Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. *Engenharia Agrícola*, 35(4):689-698.
- Warrick AW, Nielsen DR (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: *Environmental soil physics*. New York: Academic. p. 665-675.
- Werle R et al. (2008). Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(6):2297-2305.

Modelagem estatística utilizando o método de *heatmap* para a avaliação da cultura da laranja irrigada com água residuária

Recebido em: 23/03/2022

Aceito em: 31/03/2022

 10.46420/9786558722694cap9

Fernando Ferrari Putti^{1*} 

Angela Vacaro de Souza^{2*} 

Willian Aparecido Leoti Zanetti¹ 

Bruno Cesar Goes⁴ 

Márcio Lanza³ 

Hélio Grassi Filho² 

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho¹ 

INTRODUÇÃO

A água é caracterizada como um dos elementos responsáveis pelo desenvolvimento de toda a sociedade humana. Assegurando a expansão populacional, por meio do desenvolvimento econômico, urbano, indústria e agrícola. No qual, seu consumo vem aumentando nos últimos anos 100 anos, com valores em torno de seis vezes, principalmente impulsionado pelo crescimento populacional e necessidade de anteder a demanda mundial (Bertoncello et al., 2021; Oliveira et al., 2021).

No entanto, tem observado nos últimos anos mudanças na incidência do volume de precipitação, com uma redução da disponibilidade hídrica. Em decorrência particular ao aumento da interferência das mudanças climáticas. Direcionando reflexões em torno do desenvolvimento atual e seu impacto aos recursos naturais (Jardim et al., 2019).

Fundamentado principalmente pela Organização da Nações Unidas (ONU), que posiciona a necessidade de novas concepções e atitudes de todas as nações, como forma de empregar medidas capazes de atenuar as adversidades e assegurar o uso sustentável (Medeiros et al., 2021).

Configurando a água como um recurso de valor inestimável e com a necessidade de refletir sobre as condutas de sua gestão. Principalmente por sua distribuição no globo terrestre ser caracterizada de apenas 3% de água doce, e pouco mais de 0,5% estar em condições acesso. Além de ser fundamental

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, SP, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, Brasil.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Muzambinho, MG, Brasil.

⁴ Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, MG, Brasil.

*Autor correspondente: fernando.putti@unesp.br

para o desenvolvimento de todo o ecossistema terrestre (Tavares; Araújo, 2020; Baptista; Nascimento, 2022).

O que diante deste cenário de atenção em relação a escassez hídrica, induz diversos setores a empregarem novas possibilidades de implantação e concepções. Como o setor agrícola, que em caráter econômico, é o principal campo de desenvolvimento de muitos países e está intimamente ligado as condições climáticas no desenvolvimento das culturas. Tendo em vista, toda a demanda sobre a necessidade de produzir alimentos, tanto em quantidade como em qualidade, com intuito de atender toda a população mundial (Cintra et al., 2020; Faria et al., 2020).

Impulsionando a introdução de manejos de irrigação cada vez mais eficiente e capazes de garantir lâminas precisas nas culturas. Expondo atualmente novos paradigmas quanto ao uso de água, visto que muitas vezes é apontado com críticas quanto aos volumes empregados. De forma, a trazer espaço para o uso da água de reuso, proveniente do descarte de efluentes líquidos provenientes do setor agropecuário, doméstico, industrial, entre outros (Silva et al., 2019; Medeiros et al., 2020).

Abrindo caminhos para aplicabilidade e implantações sustentáveis no setor agrícola, além de ser uma alternativa quanto a redução do uso de água potável no setor e suprir a deficiência hídrica. Possuindo ainda, a possibilidade de suplementação nutrientes minerais no solo, sobretudo, de nitrogênio. O que favorece seu emprego e reduz custos com o uso de fertilizantes sintéticos (Menezes et al., 2018).

O que diante da importância do agronegócio na produção de alimentos e com destaque a citricultura, principalmente na produção de laranja (*Citrus sinensis* L). No qual, o Brasil é caracterizado como maior produtor mundial, com área de produção em 2018 de 595, 3 mil hectares, com participação mundial de 76% no comércio de suco de laranja. E em meio a pandemia de Covid-19, 2020 representou um aumento de 17% no valor de exportações em relação aos valores da safra anterior (Guerreiro Neto; Figueira, 2021; Mazochi; Okada, 2021).

Considerando a laranjeira em comparação a outras culturas, em que a mesma demanda de altas quantidade de macronutrientes e micronutrientes em seu cultivo. De forma que o emprego de água residuária e lodo de esgoto, possui em sua composição valores expressivos de micronutrientes e elementos capazes de assegurar o desenvolvimento das plantas, pode ser uma alternativa eficiente para substituir a adubação nitrogenada mineral (Romeiro et al., 2019).

O que direciona para a importância de novas técnicas e tecnologias, que possam assegurar uma melhor gestão de recursos hídricos e em contrapartida assegurar a produção agrícola, como forma evitar desperdícios e assegurar a disponibilidade para a população presente e gerações futuras. De forma que, a introdução de água residuária e lodo de esgoto permite ser uma alternativa eficaz, desde que seja empregado segundo os protocolos de tratamento dos patógenos (Guimarães et al., 2018; Siqueira et al., 2018).

Impulsionando a necessidade de estudos, desenvolvimento de programas de informação e capacitação que possam evidenciar os benefícios e aplicações. De modo que, a aplicação de modelos de modelagem estatísticas pode trazer confiabilidade nos resultados analisados (Rodrigues et al., 2020).

O volume de dados coletado em um experimento agrônômico as vezes é muito grande e dificultando uma análise dos padrões identificados e auxiliando o pesquisador na sua interpretação. Desta forma, existem técnicas capazes de auxiliar nessa tomada de decisão.

Uma dessas ferramentas é a análise por *heatmaps* que se trata de uma forma de apresentação geral dos dados. *Heatmap* significa matriz de cores, em que cada célula representa a posição ocupada por um valor de uma determinada variável e em um objeto ou unidade de análise, ou no caso da experimentação o tratamento associado (Tanaka et al., 2015).

Desta forma, a análise por *heatmaps* trata-se de uma representação gráfica que auxilia na visualização dos dados e assim pode proporcionar uma visão geral dos dados. Importante ressaltar que não existe restrição quanto ao tipo de dado utilizado, podendo ser qualitativo ou quantitativo.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo aplicar a modelagem estatística por meio do modelo de *heatmap* em um experimento com o cultivo da laranja quando submetido a diferentes doses de lodo de esgoto e água residuária.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do experimento

O experimento foi realizado na Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu (FCA/UNESP), junto ao departamento de Solos e Recursos Ambientais. O Clima é caracterizado por ser temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa, Koppen) (Cunha; Martins, 2009). O experimento se iniciou em 2008, em que caixas de água e 500 L com solo do tipo Latossolo vermelho, foram preenchidas. Foram plantadas a laranjeira da variedade “Valência” e seu porta enxerto foi o limoeiro “*Swingle*”. A adubação era realizada conforme descrito em Raij (1996).

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, e para análise estatística foram considerados 12 tratamentos com 6 repetições, sendo a combinação das 6 doses de lodo de esgoto comportados (0, 25, 50, 75, 100 e 125%) da recomendação de N para a cultura da laranjeira e 2 tipos de água para a irrigação (Água residuária [AR] e Água Potável [AP]) e para complementar a dose de N necessária para se alcançar os 100% do requerimento da cultura se deu pela aplicação de N mineral, em que foram aplicados por 200g de N por planta (Lanza, 2014) .

O lodo de esgoto aplicado no experimento era oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí, e ressalta-se que seu tratamento estava de acordo com a Resolução Conama nº375/2006 (Conama, 2006) e a água residuária era oriunda da Estação de Tratamento de Botucatu, em que era realizado o transporte até o experimento e armazenado em caixas de água. A irrigação foi realizada com

base no método do Tanque Classe A. Os parâmetros avaliados da qualidade de água podem ser observados em Lanza (2014).

Variáveis analisadas

Para avaliar o efeito das diferentes doses de lodo de esgoto e da água residuária na cultura da laranja, foram avaliados diversos parâmetros físicos – químicos. Assim, para facilitar o desenvolvimento do trabalho foram divididos em três conjuntos.

Conjunto 1: atributos produtivos da cultura da laranja.

- Diâmetro do fruto (DI);
- Comprimento do fruto (Comp);
- Relação diâmetro e comprimento (D/C);
- Peso de casca (PC);
- Peso de fruto (PF);
- Espessura da polpa (ESP);
- Peso de sementes (PS);
- Peso de casca (PC);
- Número gomos (NG);

Para o conjunto um de dados que teve como objetivo de avaliar as características físicas do fruto da laranja, em que foi utilizado um paquímetro com escala de 1 mm e para as medidas de peso, foi utilizada uma balança de precisão com precisão de 1 g e para cada variável foram utilizados 10 frutos.

Conjunto 2: atributos produtivos e qualidade do suco de laranja.

- pH (pH);
- Acidez titulável (AT);
- Teor de Sólidos solúveis (SS);
- Vitamina C (Vit C);
- Ratio (Ratio);

Para os conjuntos dois de dados em que buscamos avaliar os atributos de qualidade, assim foram analisados 24 frutos por tratamento para análises de acidez titulável - AT (Pregnoatto & Pregnoatto, 1985), teor de sólidos solúveis - SS, relação entre sólidos solúveis e acidez titulável ou “ratio” (Tressler & Joslyn, 1961).

Conjunto 3: atributos de produção da laranja

- Peso de Casca (PC);
- Peso de 10 frutos (P10F);
- Peso de Suco (PS);
- Peso total de frutos (PTF);
- Peso Unitário de Frutos (PUF);
- Quantidade de Frutos (QF);

E o conjunto três dos dados buscamos analisar os parâmetros relacionados a produção dos frutos, assim foram amostrados 10 frutos por tratamentos, e utilizou uma balança de precisão.

Modelagem estatística por heatmap

Em cada experimento, inicialmente foi checada a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Utilizando-se o programa estatístico R (versão 4.1.2) e uso do RStudio (versão 2021.09.2 Build 382) como ambiente gráfico e utilizou o pacote ggplot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Conjunto 1

A Figura 1 apresenta a análise de *heatmap* para os 12 tratamentos analisados (6 doses de lodo de esgoto e 2 tipos de águas) e as variáveis analisadas dos atributos produtivos da cultura da laranja. Podemos observar que os tratamentos um e dois apresentaram comportamento semelhante em que o diâmetro (DI), comprimento (Comp) tiveram menos relação e o peso de casca (PC) e de fruto (PF) maior peso. Também podemos inferir que houve um agrupamento entre os tratamentos, em que grupo 1, apresentou apenas o tratamento 6; grupo 2 o tratamento 1; grupo 3 os tratamentos 7 e 9 e grupo 4 os demais tratamentos.

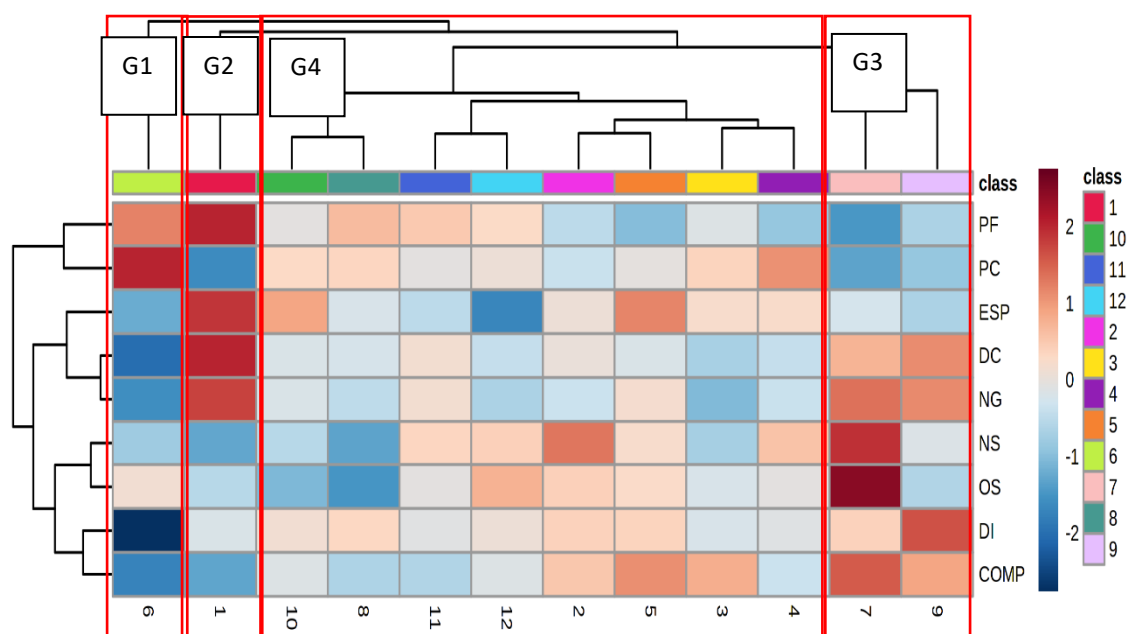


Figura 1. Heatmap dos atributos produtivos da cultura da laranja irrigada com água de reuso, 1: AR 0%; 2: AR 25%; 3: AR 50%; 4: AR 75%; 5: AR 100%; 6: AR 125%; 7: AP 0%; 8: AP 25%; 9: AP 50%; 10: AP 75%; 11: AP 100%; 12: AP 125%. P.F: Peso de frutos; P.C.: Peso de casca; ESP: Espessura, D.C. Relação de diâmetro e comprimento; N.G.: Número de Gomos por Frutos; N.S.: Número de sementes por fruto; D.I.: Diâmetro de fruto; Comp: Comprimento de fruto; P.S.: Peso de sementes. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Desta forma, podemos observar que existem características que evidenciam o comportamento dos tratamentos. Assim, verificamos que o grupo um apresentou o PC como característica mais relevante e DI como menos relevante. Já o grupo dois, observamos que as variáveis PF, ESP, DC e NG tiveram maior relevância e o grupo 3 as características NS e OS apresentaram maior relevância, sendo que a relevância é observada pela escala de cor, em que quanto mais vermelho estiver a casela, mais relevante a variável é em relação aos tratamentos. Desta forma, podemos verificar que os atributos produtivos são afetados em pela presença da água residuária e lodo de esgoto, isso é evidenciado pois ao analisar o heatmap, observamos que existem diferentes intensidade de cores. Para o grupo 4 em que apresentaram a maior parte dos tratamentos os atributos apresentaram relevância que não auxiliaram na diferenciação dos tratamentos.

Análise do Conjunto 2

Podemos observar na Figura 2 que para os atributos produtivos e de qualidade do suco de laranja irrigada com água residuária foram afetados. Os tratamentos 2, 4, 5, 7 1 e 8, apresentaram comportamento semelhantes onde a acidez e acidez titulavel apresentaram maior relevância na interpretação e enquanto o ratio apresentou menor relevância no grau de explicação.

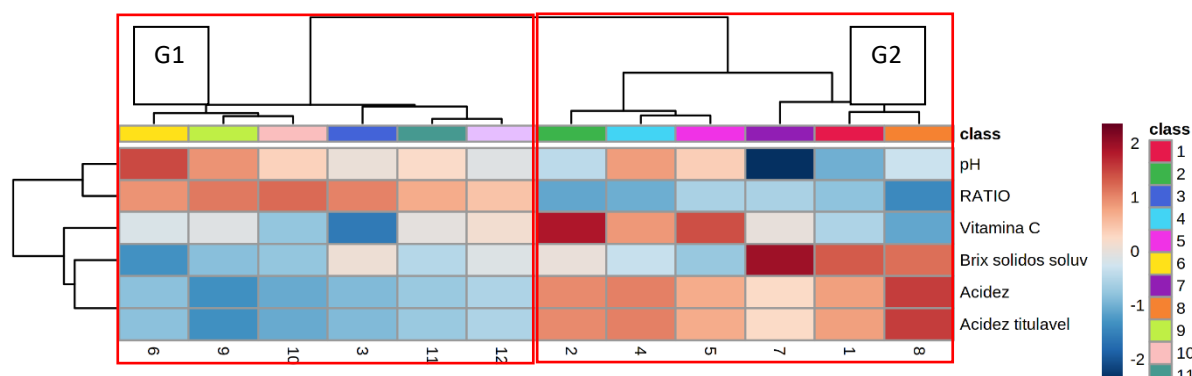


Figura 2. Heatmap dos atributos produtivos e qualidade do suco de laranja irrigada com água de reúso, 1: AR 0%; 2: AR 25%; 3: AR 50%; 4: AR 75%; 5: AR 100%; 6: AR 125%; 7: AP 0%; 8: AP 25%; 9: AP 50%; 10 AP 75%; 11: AP 100%; 12: AP 125%; Fonte: Elaborado pelos Autores

Podemos observar que para os componentes de qualidade do suco de laranja houve efeito das doses de lodo de esgoto e da água residuária, em que houve a classificação em dois grupos.

Observamos que para o grupo um houve menos relevância para os tratamentos a acidez e acidez titulável, e para o grupo dois tendo maior relevância. Já a variável ratio, houve efeito antagônico em que o teve maior relevância para o grupo um e menor para o grupo dois.

Análise do Conjunto 3

Podemos observar na Figura 3, o *heatmap* dos componentes de produção da cultura da laranja irrigadas com água de reúso. Ocorreu o agrupamento em dois grupos, sendo com os tratamentos 8, 1, 6, 11, 3 e 10, que teve maior relevância as variáveis peso unitário de fruto (PUF), volume de suco (VSU), peso de casca (PC) e peso de 10 frutos (P10F).

Os atributos da cultura da laranja foram afetados pelos tratamentos de diferentes doses de lodo de esgoto e da água residuária. Assim a partir da análise do *heatmap*, podemos verificar que houve a diferenciação de dois grupos. O Grupo um apresentou de forma geral maiores relevância para a quantidade de frutos, produção total de frutos e produtividade. Já o grupo dois foi caracterizado pelos demais atributos de produtividade.

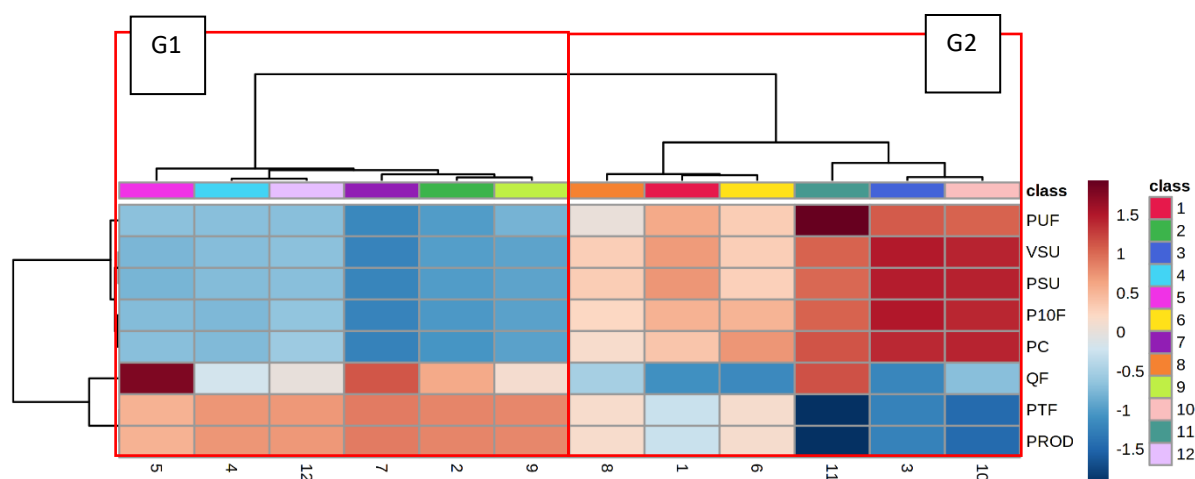


Figura 3. Heatmap dos atributos de produção da laranja irrigada com água de reuso, 1: AR 0%; 2: AR 25%; 3: AR 50%; 4: AR 75%; 5: AR 100%; 6: AR 125%; 7: AP 0%; 8: AP 25%; 9: AP 50%; 10 AP 75%; 11: AP 100%; 12: AP 125%;, sendo PUF: Peso unitário do fruto; VSU: Volume de suco; P10F: Peso de 10 frutos, PC: Peso de Casca; QF: Quantidade de frutos; PTF: Produção total de frutos e PROF: Produtividade. Fonte: Elaborado pelos Autores.

CONCLUSÃO

O uso de ferramentas estatísticas é amplamente utilizado na agropecuária, para a efetiva comprovações de hipóteses. Mas a aplicação de ferramentas de visualização é uma forma interessante de apresentar os dados. Assim o uso das ferramentas como a análise de *heatmap*, ainda pouco difundido na agropecuária, pois trata-se de uma forma de sistematização dos dados de forma simples e fácil de entendimento.

Desta forma este trabalho buscou elucidar e apresentar a sua aplicação junto a um conjunto de dados obtidos em um experimento com o cultivo da laranja quando submetido a diferentes doses de lodo de esgoto e água residuária. Assim, podemos observar que houve efeito das doses do lodo de esgoto e da fonte de água aplicado para os parâmetros avaliados.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (APQ-00498-16) e à UNESP pelo pós-doutorado concedido ao primeiro autor (Processo 408/2015)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baptista OGS et al. (2022). Água potável: escassez e gestão do consumo em condomínios residenciais metropolitanos. *Brazilian Journal of Development*, 8(1): 8384-8397.
- Bertoncello AG et al. (2021). O grafeno na dessalinização d'água e o impacto nas regiões com crise hídrica. *South American Development Society Journal*, 7(19): 74-6.

- Cintra PHN et al. (2020). Produção agrícola: uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no Brasil. *Revista Agrotecnologia, Ipameri*, 11(1): 87-94.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375/2006: Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. 32 p.
- Cunha AR da; Martins D (2009). Classificação climática para os municípios de botucatu e são manuel, SP. *Irriga*, 14(1): 1–11.
- Faria WR et al. (2020). Projeção populacional, mudanças climáticas e efeitos econômicos: uma avaliação a partir de blocos econômicos agrícolas. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 37(1): 1-33.
- Guerreiro Neto G et al. (2021). Maior dificuldade fitossanitária à produção da laranja no principal cinturão citrícola brasileiro - safras de 2017 a 2019. *Citrus Research & Technology*, 42(1): 1-10.
- Guimarães JCS et al. (2018). Utilização do lodo de esgoto na agricultura: uma análise cienciométrica. *Research, Society and Development*, 7(9): 1-31.
- Jardim AMRF et al. (2019). Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(4): 330-337.
- Lanza MH (2014). Utilização de lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira valência. [s. l.].
- Lanza MH (2014). Utilização de lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira valência.
- Mazochi GGL et al. (2021). Complexo agroindustrial de produção e fabricação do suco concentrado de laranja. *Interface Tecnológica*, 18(1): 437-439.
- Medeiros LC et al. (2020). Morfometria de girassóis irrigados com água residuária e adubado com diferentes doses de nitrogênio. *Brazilian Journal of Development*, 6(3): 14936-14950.
- Medeiros RM et al. (2021). Balanço hídrico anual relacionado à crise hídrica na avicultura de São Bento do Una -PE, Brasil. *Recima21-Revista Científica Multidisciplinar*, 2(11): 1-10.
- Menezes LAN et al. (2018). Condutividade elétrica do solo em função da dose de aplicação de água residuária em áreas de fertirrigação. *Revista Engenharia na Agricultura*, 26(4): 383-389.
- Oliveira PHF et al. (2021). Alterações no regime de vazão e precipitação em trecho da Bacia do Rio Araçuaí, Minas Gerais: Caminhamos para a escassez hídrica? *Revista Espinhaço*, 10(2): -10.
- Pregnotatto W, Pregnotatto NP (1985). Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz (Vol. 1, p. 25). São Paulo: Instituto Adolfo Lutz.
- Raij BV (1996). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. [s.l.] : IAC Campinas,. v. 100.
- Rodrigues CG et al. (2020). Sobre modelagem matemática e formalismos estatísticos de sistemas complexos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42(1): 1-7.

- Romeiro JCT (2019). Disponibilização de micronutrientes para o cultivo de laranjeiras 'pêra' fertilizadas com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. AGROFIB, 1(1): 61-70.
- Silva FP et al. (2019). Gestão da água: A Importância de Políticas Públicas para a Implementação do Reuso de Água no Brasil. Revista Episteme Transversalis, 10(2): 309-322.
- Siqueira DP et al. (2018). Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. Floresta, 48(2): 277-284.
- Tanaka OY et al. (2015). Uso da análise de clusters como ferramenta de apoio à gestão no SUS. Saude e Sociedade, 24(1): 34–45.
- Tavares JM et al. (2020). Consumo e Escassez de Água Potável em Salvador-Bahia. Brazilian Journal of Development, 6(9): 70909-70925.
- Tressler DK, Joslyn MA (1961). Fruit and vegetable juice processing technology.

Omissão de Nutrientes em Espécies Florestais Nativas do Brasil

Recebido em: 24/03/2022

Aceito em: 26/03/2022

 10.46420/9786558722694cap10

Renato Nogueira Antas^{1*} 

Luciana Freitas de Medeiros Mendonça² 

Jodiene do Nascimento Silva³ 

Alisson Gean Carvalho Guimarães³ 

Larissa de Medeiros Araújo³ 

Erika Rayra Lima Nonato³ 

Erick da Silva Santos³ 

Isabella Rocha Ribeiro³ 

INTRODUÇÃO

A preocupação social com o meio ambiente cada vez mais ganha notoriedade, especialmente em países como o Brasil que é considerado um dos maiores reservatórios de biodiversidade do mundo e de grande proporção territorial, com diversos biomas e ecossistemas, cada um com suas particularidades, sobretudo, no que diz respeito as ações antrópicas recorrentes das atividades de produção sem planejamento, que resulta em expressivo aumento de áreas degradadas.

Desta forma, a fim de reduzir os impactos ambientais negativos ocasionados pelas atividades antrópicas, a restauração ou recuperação de ecossistemas degradados e a implantação de florestas, através do reflorestamento com espécies florestais nativas, são algumas das ações que contribuem com a preservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos nos ambientes. Contudo, para se obter êxito em qualquer programa de plantio de espécies florestais nativas, bem como elevar a produtividade das plantações florestais brasileiras é necessário conhecer as limitações e exigências nutricionais das espécies a serem plantadas.

Considerando a grande variabilidade de comportamento das espécies florestais nativas utilizadas em programas de restauração florestal em relação às condições do solo faz-se necessário informações a respeito das demandas e exigências mínimas dos nutrientes (Sorreano, 2006) para o pleno crescimento e desenvolvimento do vegetal, pois a nutrição mineral é um fator importante da fisiologia das árvores (Andrade, 2010). Portanto, para evitar o comprometimento da implantação dos povoamentos em áreas

^{1,3} Universidade Federal de Campina Grande – Campus de Patos-PB.

² Professora do Magistério Superior da Universidade Federal de Campina Grande – Campus de Patos-PB.

* Bolsista PIBIC/CNPq. Autor correspondente: renatonogueiraantas@gmail.com

degradadas com espécies nativas é fundamental conhecer as exigências nutricionais das espécies principalmente para facilitar o manejo adequado e garantir a sobrevivência em campo.

Neste capítulo, discute-se informações científicas acerca das exigências nutricionais de espécies florestais nativas do Brasil, uma vez que a nutrição mineral de plantas é imprescindível na produtividade das mesmas, sendo geralmente fator associado ao declínio da fertilidade dos solos que influenciam diretamente no estabelecimento das mudas e manutenção dessas plantas em ambientes florestais.

Entretanto, a reunião de informações sobre essa temática, envolvendo a influência dos macros e micronutrientes essenciais ao crescimento, desenvolvimento e qualidade de espécies florestais ainda são limitadas.

REFERENCIAL TEÓRICO

IPÊ - AMARELO

O ipê-amarelo (*Tabebuia ochraceae* Cham.) Standl. é uma árvore pertencente à família Bignoniaceae, nativa do cerrado brasileiro, comumente utilizada como árvore ornamental e também muito empregada na recuperação de áreas degradadas por se adaptar a ambientes áridos (Lorenzi, 2002).

Vieira et al. (2016) estudando omissão de macronutrientes no crescimento inicial de ipê-amarelo (*T. ochraceae* Cham.) Standl, verificaram que a omissão de fósforo foi a que mais limitou o crescimento em altura e em diâmetro das mudas. No entanto, as omissões de magnésio e enxofre não limitaram o crescimento em altura e em diâmetro, respectivamente, o que pode indicar o baixo requerimento da espécie pelos elementos na fase inicial de crescimento. Concluíram afirmando que a produção de massa seca na parte aérea e radicular foi limitada pelas omissões de nitrogênio, potássio e cálcio. Ademais, os macronutrientes mais absorvidos pelo ipê-amarelo foram N, P e K, indicando na fase inicial de crescimento dessa espécie uma demanda maior destes macronutrientes.

PINHEIRO DO PARANÁ

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze, com maior ocorrência no Sul do Brasil, é muito utilizada no reflorestamento, arborização urbana, preservação ambiental e também em plantios domésticos. Além disso, é uma espécie bastante exigente, necessita de condições climáticas mais adequadas e sobretudo de solos mais férteis (Machoski, 2015).

Em seu estudo sobre os efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná, Simões e Couto (1973) observaram que as plantas deficientes em nitrogênio foram seriamente afetadas no seu desenvolvimento geral e mostraram aspecto de desnutrição, sobretudo no que diz a respeito à clorose, que culminou na estagnação do crescimento das mudas.

Quanto a omissão de fósforo causou desequilíbrio nutricional das plantas, além da estagnação do crescimento e desenvolvimento, também causou um crestamento nas folhas que findou na morte das

plantas. A omissão de menor impacto no pinheiro foi a de enxofre, uma vez que a altura, diâmetro e peso das plantas não mostraram diferenças significativas. Os autores concluem que as omissões de N e P causaram os mais sérios prejuízos ao desenvolvimento do pinheiro do Paraná e que o desenvolvimento das plantas foi menos afetado pela omissão de K, Mg, Ca, S e também dos micronutrientes.

PAU - BRASIL

Valeri et al. (2014) estudando os efeitos da omissão de nutrientes em plantas de *Caesalpinia echinata*, nativa das florestas tropicais brasileiras, relatam que os primeiros sintomas expressados se referiam a deficiência de nitrogênio, sendo observado raquitismo e amarelecimento nas folhas, com clorose mais intensa nas folhas envelhecidas. Além disso, o N foi o nutriente que limitou o crescimento das mudas, em contrapartida, a omissão de Cu não prejudicou o crescimento das mudas.

A omissão de P foi observada inicialmente nas folhas novas e dentre os sintomas observados por Valeri et al. (2014) foram clorose, arroxamento, necrose e curvamento marginal nas folhas. Já no tratamento com omissão de K foi observado, necrose nas margens, clorose internerval e enrugamento das folhas mais velhas.

Os autores ainda acrescentaram que a carência de cálcio afetou o crescimento das plantas apresentando anomalias. Vale ressaltar que o cálcio é relevante para a rigidez da parede celular e na manutenção da membrana plasmática (Valeri et al., 2014). Quanto a carência de magnésio, esta ficou evidente nas folhas recém-maduras pela clorose observada, sobretudo nas folhas novas. As plantas com omissão de S também exibiram clorose nas folhas mais novas, sintomas semelhantes foram descritos em algumas espécies *Tectona grandis* (Barroso et al., 2005).

É notável que o conhecimento sobre as exigências nutricionais da *C. echinata* pode contribuir no manejo adequado de áreas de reflorestamento nos quais ele esteja inserido, no entanto são encontrados poucos trabalhos de adubação e nutrição do pau-brasil.

COPAÍBA

A copaíba (*Copaifera langsdorffii*, originária da Amazônia brasileira, é uma espécie arbórea muito valiosa para indústria farmacêutica e química, isso por causa da resina com propriedade medicinal que ela produz (Azevedo, 2004). Devido a isso, estudos que envolvam aspectos nutricionais desta espécie são fundamentais.

Hoffmam et al. (2019) em sua pesquisa sobre adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva, constataram que a omissão de P e Fe foram os que mais afetaram o crescimento em diâmetro e altura do coleto das mudas.

Ainda segundo os autores, os nutrientes mais exigidos pelas plantas de copaíba em relação à altura foram o nitrogênio, ferro, manganês, zinco, boro, potássio, magnésio e enxofre, enquanto para o diâmetro os mais exigidos foram o fósforo, magnésio, nitrogênio e ferro.

Quanto a produção de massa seca da parte aérea, os tratamentos sob omissão de N, P, K, Mn e Zn limitou severamente a incorporação de biomassa aérea afetando radicalmente o crescimento das plantas. Resultados semelhantes foram relatados por Silva e Schlindwein (2018) para o *Handroanthus impetiginosus* onde a omissão de N e P tiveram a menor produção de massa seca da parte aérea. Assim, os autores concluíram que os macronutrientes N, P, e K foram os que mais limitaram o desenvolvimento das plantas.

IPÊ-ROXO

Nos últimos anos a procura por mudas de ipê-roxo aumentou significativamente no Brasil, isso ocorreu devido ao uso desta em plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas, preservação permanente e sua utilização em projetos de urbanização (Lorenzi, 2008). Desse modo, são necessários mais estudos relacionados à nutrição mineral de espécies nativas, sobretudo do ipê (Souza et al., 2006).

Silva e Schlindwein (2018) analisando a limitação nutricional e crescimento de plantas de ipê-roxo em latossolo amarelo distrófico na omissão de nutrientes, demonstraram que a omissão de P foi limitante para o crescimento em altura, diâmetro e produção de massa seca da parte aérea. E que o ipê-roxo na omissão de P cresceu 82,9% a menos em altura e 77,6% em diâmetro do coleto, inferindo-se que o ipê-roxo é exigente em P, e geralmente o ambiente natural da espécie apresenta baixa disponibilidade de P.

O P é de extrema importância para a nutrição de plantas, pois participa no transporte de energia, armazenamento e fixação de N em nucleotídeos e ácidos nucléicos (Epstein; Bloom, 2006).

Silva e Schlindwein (2018) ainda acrescentam que as plantas de ipê-roxo, submetidas à omissão de N, sofreram redução em altura, diâmetro do coleto e produção de MSPA. Isso porquê o N participa dos processos metabólicos e sua inibição afeta a síntese proteica, reduzindo a divisão celular e prejudicando o crescimento das plantas (Malavolta et al., 2002). Os autores concluem que o ipê-roxo é uma espécie exigente em nutrição, e, que a adubação para garantir o desenvolvimento das mudas é fundamental.

CEDRO DOCE

Aquino et al. (2016) estudando acerca do acúmulo de massa seca em plantas jovens de cedro doce (*Bomabacopsis quinata* (Jacq.) Dugand) em função da omissão de nutrientes, verificaram que as plantas cultivadas em solução nutritiva completa acumularam mais massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total quando comparadas àquelas cultivadas sob omissão de nutrientes. Verificaram ainda

que as plantas cultivadas sob omissão de K foram àquelas menos afetadas pela omissão do nutriente o que é indicativo de que o cedro doce seja uma espécie pouco exigente em K. Concluindo assim, que a omissão de nutrientes na solução de cultivo, reduziu o acúmulo de massa seca das plantas. Enfatiza-se ainda que as plantas cultivadas sob omissão de P e N apresentaram as maiores reduções no acúmulo de massa seca, o que pode ser indicativo de que esta espécie seja muito exigente em N e, principalmente em P.

CUPUAÇUZEIRO

Alves et al. (2018) estudando omissão de nutrientes no desenvolvimento de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), observaram que com exceção da omissão de nitrogênio as demais omissões limitaram o desenvolvimento em altura das plantas quando comparadas com o tratamento completo contendo todos os nutrientes. Especialmente Mg, Ca e P sendo os nutrientes que se mostraram mais limitantes na altura das plantas. Já com relação ao diâmetro, foi observado que os tratamentos que mais prejudicaram o desenvolvimento das plantas foram as omissões de K, Mg e B. Com relação as omissões dos nutrientes S e Zn, respectivamente, foi observado que ambas as omissões tiveram valores relativamente próximos ao do tratamento completo, logo, foi possível concluir que as mudas desta espécie não possuem uma grande exigência por estes nutrientes.

CEREJEIRA

Vieira et al. (2011) estudando sobre descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*Amburana Acreana*), notaram que durante os tratamentos sob omissão dos nutrientes N, P, K, Mg, Ca e S, respectivamente, não houveram limitações quanto ao crescimento em altura e diâmetro das mudas. Entretanto, a ausência de alguns destes acabou por limitar a produção de biomassa tanto na parte aérea quanto na parte radicular.

Os tratamentos sob omissão de N, P e S, respectivamente, demonstraram limitação na produção de biomassa na parte aérea e biomassa na parte radicular, sendo, o tratamento sob omissão de P o que mais limitou a produção na parte aérea seguido pelos tratamentos sob omissão de N e S, com N causando uma redução de 30,49% e S de 51,63%, em comparação com o tratamento completo.

O tratamento sob omissão de K reduziu a produção de biomassa na parte radicular, tendo a produção superior apenas aos tratamentos -P e -S que foram os que mais reduziram a biomassa na parte radicular. No caso dos tratamentos sob omissão de Mg e Ca, foi constatado que a omissão do nutriente Mg não provocou redução na produção de biomassa na parte aérea, enquanto na omissão de Ca a produção de biomassa na parte aérea foi significativamente igual à do tratamento completo.

Quanto a parte radicular, Mg teve valor igual ao do tratamento completo e Ca não limitou a produção de biomassa e ainda obteve média superior à do tratamento completo. Concluíram, portanto,

afirmando que na parte radicular, a produção de biomassa nos tratamentos -Mg e -N foi significativamente igual ao do tratamento completo.

PINHÃO-MANSO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta que tem recebido bastante atenção, por causa do óleo de suas sementes que são utilizados como biocombustível (Padilla, 2007). É uma espécie que pode crescer e se desenvolver em solos salinos e arenosos (Singh et al., 2007).

Maia et al. (2014) estudando a omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva, verificaram que a omissão de nutrientes limitou o acúmulo de massa de matéria seca nas raízes, com reduções que variaram de 50 a 93%, para os macronutrientes e de 14 a 30%, para os micronutrientes.

Ainda segundo Maia et al. (2014), o déficit de nitrogênio, fósforo, enxofre e cálcio, demonstraram efeito relevante na área foliar total das plantas, onde o P reduziu o número de folhas emitidas e o Ca reduziu a área foliar. Já o N e S promoveram reduções em ambos, número de folhas emitidas e áreas individuais das folhas. Quanto a omissões de N, Mg, K e Ca o volume de raízes tiveram reduções entre 64 e 76% do volume de raízes, enquanto as omissões de Mg e N proporcionaram reduções entre de 67 e 41% no volume de raízes.

As omissões de micronutrientes não apresentou efeitos marcantes se comparados aos macronutrientes, sobre as características biométricas avaliadas. Os autores destacam que o Zn afetou significativamente a produção de massa de matéria seca de raízes, o comprimento e matéria seca de caules e o número de folhas. Já o B restringiu o número de folhas, a produção de massa de matéria seca de raízes e o volume radicular.

PEQUI

A *Caryocar brasiliense* Camb, nativa do cerrado brasileiro, conhecida como pequi é uma espécie bastante conhecida no Brasil, devido ao uso do seu fruto que além de servir de alimento para a fauna e possuir propriedades medicinais, além de servir como iguaria. É habitualmente utilizado pela indústria farmacêutica, principalmente para produção de sabão (Silva Junior, 2005).

Por se tratar de uma espécie bastante utilizada, a obtenção de mudas de qualidade é fundamental, sobretudo para os empreendimentos florestais. Segundo Duryea (1985), a qualidade está atrelada a capacidade da muda sobreviver após o plantio em campo. Contudo são necessárias pesquisas que tentem garantir essa qualidade da muda em campo, e uma maneira fácil e segura de realizar esses estudos é por meio da técnica do nutriente faltante.

Carlos et al. (2014) analisando o crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes, elencaram que a omissão de Zn, K e Mg não tiveram influência no crescimento

em altura das mudas e que isso ocorreu devido a semente do pequi ser grande e rica em nutrientes, sobretudo Zn.

O crescimento em diâmetro não apresentou diferença e a biomassa seca da parte aérea apresentou menores valores com omissão de P. Já os tratamentos com omissão de P, Mg e S ocorreu o inverso e obteve maior crescimento do sistema radicular, o que pode ser explicado, possivelmente pelo desenvolvimento de mecanismos desta espécie para se adaptar a condições de baixa fertilidade.

Os autores concluem que durante o período de formação de mudas nenhuma ausência de nutrientes afetou o desenvolvimento em diâmetro das plantas. A omissão de Zn, K e Mg não tiveram influência no crescimento em altura das mudas e as omissões dos nutrientes não afetaram a biomassa seca total e que os teores de nutrientes na biomassa seca da parte aérea do pequi foram baixos, demonstrando níveis pequenos de exigência nutricional para esta espécie.

AROEIRA

A aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All) é uma espécie arbórea pertencente ao bioma Caatinga, bastante explorada na região nordeste (Lorenzi, 1992), sua madeira é bastante utilizada por apresentar resistência ao ataque de pragas, principalmente cupins e fungos (Mainiere, 1965). Assim, é fundamental conhecer técnicas de plantio destas espécies, sobretudo conhecimentos sobre sua exigência nutricional.

Mendonça et al. (1999) estudando sobre Exigências nutricionais de *M. urundeuva* Fr. All, denotaram que a omissão de Ca e P afetou consideravelmente o desenvolvimento das mudas, sobretudo o crescimento em altura. Enquanto a omissão de S, Zn, Cu, Fe, e Mn não afetou o crescimento das mudas. Segundo Siqueira et al. (1995), a carência de Ca e P usualmente não permite o crescimento das plantas.

Quanto a omissão de N, S, Cu, Fe, Mn e Zn, ocasionaram maior crescimento em diâmetro, porém não diferiu do tratamento completo. Também verificaram que a ausência de P e Ca provocou menor crescimento em diâmetro. Já a omissão de S, Cu, Fe, Mn e Zn não afetou a produção de matéria seca da parte aérea e raiz. Enquanto a carência de Zn, Cu, Fe e Mn prejudicou a fitossanidade das mudas.

Dentre os sintomas de deficiência mineral, os mais comuns observados foram mudas raquíticas com folhas maduras arroxeadas provocadas pela omissão de P, crescimento reduzido provocado pela ausência de Ca, clorose entre as nervuras devido a omissão de Mg, clorose nas folhas mais velhas pela falta de N e morte na extremidade da planta por conta da ausência de B.

Os autores concluíram que a aroeira é uma espécie extremamente exigente do ponto vista nutricional e que sua produção necessita de uma adubação adequada com macro e micronutrientes.

BARU

O baru (*Dipteryx alata* Vogel), nativa do Cerrado brasileiro, é uma espécie que possui usos múltiplos, sua polpa e sementes serve de alimento para humanos e animais (Freitas et al., 2012), apresenta um elevado potencial nutricional e servem como subprodutos para medicamentos (Esteves-Pedro et al., 2012). Além disso é uma espécie indicada para a recuperação de áreas degradadas que apresenta um bom crescimento e não possui muitas exigências nutricionais (Sano et al., 2004).

Nessa perspectiva, Sousa et al. (2018) estudando acerca das exigências nutricionais de mudas de *Dipteryx alata*, notaram que o B, S e K não tiveram influência no crescimento em diâmetro e em altura. Por outro lado, os nutrientes que mais afetaram o crescimento das plantas de baru foram o nitrogênio, fósforo, magnésio, zinco, cálcio e potássio. Quanto a produção de biomassa seca da parte aérea a exigência nutricional foi maior em relação as nutrientes P e N.

Quanto a produção de biomassa seca de raiz, os autores não relataram diferenças relevantes entre os tratamentos, porém Silva (2014) estudando sobre a omissão dos macros e micronutrientes observaram que a produção de biomassa seca de raiz foi limitada, principalmente pela omissão de K, Ca, Mg e S. Em relação aos acúmulos e teores dos micronutrientes o B e o Zn não tiveram diferença no experimento.

Em virtude do que foi mencionado, Sousa et al. (2018) concluem que o fósforo e o nitrogênio foram o macronutrientes que mais limitaram o crescimento e que o B e S são nutrientes que a espécie estudada menos exige.

ANGICO - AMARELO

A espécie *Peltophorum dubium* (Angico-amarelo) é uma árvore muito utilizada na arborização urbana, em marcenaria, construção cível e tinturaria, além disso, seus frutos e folhas possuem propriedades fitoterápicas (Venturin et al., 1999). Por se tratar de uma espécie bastante conhecida, é relevante verificar a absorção, variações na concentração e eficiência de uso de nutrientes no angico-amarelo.

Sob essa ótica, Venturin et al. (1999) avaliaram as exigências nutricionais do angico-amarelo, constataram que as omissões de N, P, S e Ca influenciaram no crescimento em altura das plantas, enquanto a omissão de K afetou o crescimento em diâmetro da espécie. As plantas com omissão de K, Mg, B e Zn não diferiram em altura e produção de MSSR, em contrapartida, as omissões de P, N, S e a de Ca afetaram a produção de MSPA das plantas de angico-amarelo. De acordo com Braga et al. (1995), a omissão dos nutrientes, especialmente Ca, N, P, S, Mg e K afetam produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea.

A respeito dos micronutrientes, apenas a omissão do B afetou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de angico-amarelo. Quanto a relação da raiz com a parte aérea (R/PA) foi mais

afetada quando se teve a carência de P, N e S. Venturin et al. (1999) afirmaram ainda que esta relação é um bom parâmetro para avaliação da sobrevivência das espécies arbóreas no campo.

Venturin et al. (1999) concluíram que o angico-amarelo é um vegetal superior com elevado grau de exigência nutricional e que o desenvolvimento desta espécie é restrito pela ausência de P, N, S e Ca, seguidos pela falta de Mg, K, B. e Zn.

MOGNO - BRASILEIRO

O mogno - brasileiro (*Swietenia macrophylla*), nativa da Amazônia, é uma das espécies mais desmatadas no Brasil (Grogan et al., 2002), isso acontece devido a sua qualidade da madeira e a sua beleza, fazendo com que a espécie detenha um valor comercial dos mais elevados mundialmente. Por conta disso, é uma espécie onde o setor florestal deveria realizar mais estudos sobre suas exigências nutricionais (Silva et al., 2004).

Wallau et al. (2008) caracterizando a sintomatologia visual das carências de macro e micronutrientes e produção de massa seca em mudas de mogno, notaram que os sintomas de deficiência nutricional foram notados aos 100 dias desde o início do estudo. Com a omissão do N, houve uma diminuição no crescimento e clorose foram observadas nas folhas novas que logo em seguida atingiu as folhas velhas. Quanto a carência de P teve uma pequena influência no crescimento, o mesmo ocorreu com a omissão de Ca. Já a omissão de K provocou um encarquilhamento para baixo nas folhas maduras, estagnação no crescimento e mudas com tamanho reduzido.

A carência de Mg provocou necrose nas pontas das folhas velhas e surgimento de pontos cloróticos. A omissão de S provocou clorose generalizada nas folhas mais novas, enquanto na omissão de Cu foi constatado manchas necróticas entre a nervuras. Na omissão de B foi observado pontos cloróticos nas folhas velhas e novas, já omissão de Fe foi visto uma clorose internerval nas folhas mais novas e na ausência de Mn não foram observados sintomas de deficiência.

Com relação a produção de massa seca total na omissão dos nutrientes N, Cu, K e Ca foram os que obtiveram menores valores, ao contrário da omissão dos nutrientes S, Zn, Mg e P que contribuíram com maior produção de massa seca total. Wallau et al. (2008) confirmam que para o mogno apresenta demanda maior por N, K, Ca e Cu, sobretudo na fase inicial de desenvolvimento da planta.

JEQUITIBÁ-BRANCO

A *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze, popularmente conhecido como jequitibá-branco é uma espécie florestal nativa do Brasil, altamente indicada na recuperação de áreas degradadas. Segundo Sorreano (2006), para os projetos de recuperação florestal é fundamental que se tenha respostas sobre os aspectos nutricionais das espécies vegetais, sobretudo aspectos que envolvam a complementação nutricional.

Andrade e Boareto (2019) analisando a deficiência de macronutrientes em jequitibá-branco, perceberam que a falta de N, P e S prejudicaram as taxas de assimilação de carbono nas folhas velhas, intermediárias e novas, por outro lado a carência de Ca, K e Mg interferiu apenas na taxa de assimilação de CO₂ apenas nas folhas velhas e intermediárias.

Os autores concluem que, de modo geral, a deficiência de macronutrientes diminuiu a transpiração e as taxas de assimilação de CO₂ desta espécie, uma vez que a diminuição dessas taxas corroborou para que a deficiência destes nutrientes limitasse a produção de massa seca das plantas. A recomendação é que se não houver a complementação nutricional do jequitibá-branco em solos com deficiência com, pelo menos um dos macronutrientes, esses projetos de restauração ambiental não conseguirão sucesso.

MULUNGU

Mulungu (*Erythrina fusca* Lour) é uma árvore utilizada em Sistemas Agroflorestais (SAFs), geralmente servindo como cerca viva (Silva, 2014). Além disso, possui princípios fitoterápicos (Innok et al., 2009).

Silva (2014) avaliando o efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, desenvolvimento de mudas de mulungu, observou que a omissão dos macronutrientes não comprometeu o crescimento das mudas e que na omissão de P as mudas obtiveram um crescimento mais elevado, possivelmente porque o fósforo pode ser menos exigido pela muda de mulungu.

Quanto a biomassa das folhas secas e a biomassa da parte aérea, valores menores foram encontrados quando houve carência de Mg e valores maiores foram encontrados quando houve omissão de P. Assim, a produção de biomassa total mostrou ter pouca influência pela omissão dos macronutrientes. O Mg foi o nutriente que mais reduziu a biomassa da raiz.

Como o mulungu é uma leguminosa arbórea nodulífera, a omissão de nitrogênio foi quem apresentou maior influência no desenvolvimento destes nódulos. O potássio e o magnésio foram os que mais tiveram efeitos negativos, reduzindo consideravelmente o número de nódulos. Por tudo isso, Silva (2014) conclui que as concentrações de Mg e Ca foram as mais afetadas nas omissões dos demais macronutrientes.

PARICÁ

O paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb), nativo da Amazônia, é uma espécie muito utilizada na fabricação de papel, forros e palitos (Trindade et al., 1999). Além disso, apresenta crescimento rápido, tanto em altura quanto em diâmetro e por isso é comumente empregada em sistemas agroflorestais na Amazônia. Vale ressaltar que indivíduos arbóreos que possuem desenvolvimento rápido, geralmente seu

crescimento é limitado por restrições hídricas e nutricionais, sendo necessário conhecimento da complementação nutricional (Sanginga et al., 1991).

Marques et al. (2004) verificando as exigências nutricionais do paricá na fase de muda, observaram que a omissão de N causou diminuição do seu teor nas raízes e no caule, e que esse mesmo efeito também foi observado na omissão de Fe e B.

Quanto a concentração de P, os autores relatam que as omissões de S e B da solução promoveu aumento na concentração de P nas folhas, ao passo que, a omissão do K também reduziu os teores desse nutriente, porém, em todas as partes da planta. Já as omissões de Fe e de N promoveram aumento nos teores de K nas folhas.

Para o Mg, os autores revelam que menores valores foram descritos quando houve a omissão de sódio. Já a ausência de sódio provocou redução dos teores de S em todas as partes da planta. Por outro lado, a omissão de Ca promoveu acréscimo na concentração de Mn nas folhas, enquanto as omissões de N e S proporcionaram aumentos nas concentrações de Zn nas raízes.

As omissões de P, S e K promoveram aumentos nos teores de B nas folhas, no caule e nas raízes, respectivamente. A omissão do K promoveu o aumento da concentração de Cu nas folhas e caule. Por fim a omissão do N aumentou o teor do Fe no caule. Assim, considerando os argumentos apresentados, o paricá se destaca como uma espécie com elevada demanda nutricional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves TL et al. (2018). Avaliação biométrica da omissão de nutrientes no desenvolvimento de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) progênie 61 Biometric Evaluation of Nutrie. II Simpósio de programação de plantas e produção de mudas, Águas de Lindóia – SP.
- Andrade MLF (2010). Deficiência nutricional em três espécies florestais nativas brasileiras. Universidade de São Paulo (Dissertação), Piracicaba. 156p.
- Andrade MLF, Boaretto AE (2019). Deficiência de macronutrientes em *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kintze. Ciência Florestal, Santa Maria, 29(2): 811-823.
- Aquino STM et al. (2016). Acúmulo de massa seca em plantas jovens de cedro doce em função da omissão de nutrientes. XI Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Estado de Roraima, Boa Vista – RR.
- Azevedo OCR (2004). Copaíba: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do Sudoeste da Amazônia. Universidade Federal do Acre (Dissertação), Rio Branco. 83p.
- Barroso DG et al. (2005). Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. Revista Árvore, Viçosa, 29(5): 671-679.

- Braga FA et al. (1995). Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*, Viçosa, 19(1):18-31.
- Caldeira MVW et al. (2007). Influência do resíduo da indústria do algodão na formulação de substrato para produção de *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Archontophoenix alexandrae* Wendl. et Drude e *Archontophoenix cunninghamiana* Wendl. et Drude. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Irati, 3(3): 311-323.
- Carlos L et al. (2014). Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 24(1): 13-21.
- Duryea ML (1985). Evaluating seedling quality importance to reforestation. In: Evaluating seedling quality principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Corvallis: Forest Research Laboratory Oregon State University, 1-6.
- Epstein E, Bloom A (2006). Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. p. 401.
- Esteves-Pedro NM et al. (2012). In vitro and in vivo safety evaluation of *Dipteryx alata* Vogel extract. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, London, 12(9): 1-9.
- Freitas JB et al. (2012). Edible seeds and nuts grown in Brazil as sources of protein for human nutrition. *Food and Nutrition Sciences*, Wuhan, 3(6): 857-862.
- Fonseca FA (2005). Produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. E *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula, em diferentes recipientes, utilizando compostos de resíduos urbanos, para a recuperação de áreas degradadas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Dissertação), Seropédica. 74p.
- Grogan J et al. (2002). Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectiva de manejo. Belém: Imazon. 64 p.
- Innok P et al. (2009). Flavanoids and pterocarpanes from the bark of *Erythrina fusca*. *Chemical & pharmaceutical Bulletin*, 57(9): 993-996.
- Lorenzi H (1992). Árvores Brasileiras. São Paulo: Plantarum. 352p
- Lorenzi H (2002). Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4 ed. São Paulo: Nova Odessa. 368p.
- Lorenzi H (2008). Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 5 ed. Nova Odessa - SP. Editora Plantarium, 368 p.
- Hoffmam WR et al. (2019). Resposta a adubação de mudas de copaíba na omissão de nutrientes em solução nutritiva. *Scientia Naturalis*, Rio Branco, 1(5): 23-34.
- Machoski GS (2015). Percepção Popular Sobre a Legislação Associada à *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. Universidade Federal do Paraná (Trabalho de conclusão de curso), Curitiba. 72p.
- Maia JTLS et al. (2014). Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, 61(5): 723 – 731.

- Mainieri C (1965). Madeiras do Brasil: Sua característica macroscópica, usos, comuns e índices qualitativos físicos e mecânicos. Anuário Brasileiro Econômico Florestal, Rio de Janeiro, 17: 135 – 416.
- Malavolta E et al. (2002). Adubos & Adubações: Adubos Minerais e Orgânicos Interpretação da análise do Solo prática de adubação. São Paulo: Nobel.
- Marques TCLSM et al. (2004). Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda. Cerne, Lavras, 10(2).
- Mendonça AVR. et al. (1999). Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All (Aroeira do sertão). Cerne, Lavras, MG, 5(2): 13-21.
- Padilla VM (2007). Microbial inoculant for growth and development of Physic nut (*Jatropha curcas* L.). In: Asia-Pacific Biotechnology Congress, Tagbilaran. Proceedings, Philippine Society for Microbiology. p.33.
- Sanginga N et al. (1991). Nutrient requirements of exotic tree species in Zimbabwe. Plant and Soil, The Hague, 132: 197-205.
- Sano SM et al. (2004). Baru: biologia e uso. Planaltina: Embrapa Cerrado, 54 p.
- Singh RA et al. (2007). Synergistic cropping of summer groundnut with *Jatropha curcas* – A new two-tier cropping system for Uttar Pradesh. Journal of SAT Agricultural, Research, p.1-2.
- Silva AA, Schlindwein JA (2018). Limitação nutricional e crescimento de plantas de ipê-roxo em latossolo amarelo distrófico na omissão de nutrientes. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, 5(2): 154-166.
- Silva SC et al. (2004). Identificação de fungos isolados de *Khaya ivorensis* (Meliaceae). In: Reunião anual sobre Evolução, Sistemática e Ecologia Micromoleculares, Rio de Janeiro. Resumos... Rio de Janeiro: Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense.
- Silva DSN (2014). Nutrição mineral do Baru (*Dipteryx alata* Vogel) em solução nutritiva: calagem e adubação fosfatada no campo. Universidade Federal de Lavras, (Dissertação), Lavras. 89p.
- Silva Junior MC (2005). 100 árvores do Cerrado: guia de campo. Brasília, DF: Ed. Rede de Sementes do Cerrado, 278 p.
- Simões JW, Couto HTZ (1973). Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do Pinheiro do Paraná *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE cultivado em vaso. Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis), (7): 3-39.
- Siqueira JO et al. (1995). Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 23p.
- Sorreano MCM (2006). Avaliação da exigência nutricional na fase inicial de crescimento de espécies florestais nativas. Universidade de São Paulo, (Tese), Piracicaba. 296p.

- Sousa FF et al. (2018). Exigências nutricionais de mudas de *Dipteryx alata* sob limitação nutricional. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 28(1): 102-114.
- Souza PA et al. (2006). Adubação mineral do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*). *Ciência Florestal*, Santa Maria, 16(3): 261-270.
- Souza SR, Fernandes MS (2006). Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 216-252.
- Trindade DR et al. (1999). Black crust (*Phyllachora schizolobiicola* subsp. *schizolobiicola*) on *Schizolobium amazonicum* in Brazil. *Fitopatologia Brasileira*, 24(2):194.
- Valeri SV et al. (2014). Efeitos da Omissão de nutrientes em plantas de *Caesalpinia echinata*. *Cerne*, Lavras, 20(1): 73-80.
- Venturin N et al. (1999). Adubação mineral do Angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34(3): 441-448.
- Vieira CR et al. (2016). Omissão de macronutrientes no crescimento inicial de *Tabebuia ochraceae*. *Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, Guarapuava, PR, 12(4): 869-883.
- Vieira CR et al. (2011). Descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*amburana acreana*). *FLORESTA*, Curitiba, PR, 41(4): 789-796.
- Wallau RLR et al. (2008). Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno em solução nutritiva. *Cerne*, Lavras, 14(4): 304-310.

Água tratada magneticamente estimula a produtividade do rabanete

Recebido em: 15/04/2022

Aceito em: 21/04/2022

 10.46420/9786558722694cap11

Carlos Eduardo Soares da Silva¹ 

Natielly Pereira da Silva¹ 

Jorge González Aguilera^{1*} 

Magno de Jesus Borges¹ 

Luane Nathalyne da Silva¹ 

Rafael Felipe Ratke¹ 

Yilan Fung Boix² 

Alan Mario Zuffo³ 

Introdução

Rabanete (*Raphanus sativus* L.) tornou-se uma cultura atrativa entre as hortaliças, devido ao seu ciclo curto e rusticidade e rápido retorno financeiro (Matos et al., 2016), sendo a colheita realizada de 25 a 45 dias após o plantio (Filgueira, 2008).

A produção nacional de rabanete está estimada em nove mil toneladas, no entanto, podem variar de 15 a 90 t ha⁻¹. A produção é concentrada nas regiões sul e sudeste, devido à exigência da planta por clima ameno. Já a produtividade é bastante variável, dependendo, por exemplo, do genótipo utilizado e de manejos de adubação e irrigação.

A irrigação feita em épocas de seca deve ser feita para complementar a falta de água da chuva que por sua vez proporciona um maior resultado na produção. A irrigação é uma técnica cuja eficácia já é comprovada. Atualmente, a irrigação com água tratada magneticamente (ATM) vem ganhando espaço na agricultura. A ATM tem vários benefícios dentre eles a melhoria da qualidade e quantidade da água de irrigação, aumento da produtividade, economia da água, redução do uso de fertilizantes, diminuição do entupimento nas tubulações, “efeito memória” na água e outros (Shine et al., 2011; Aguilera et al., 2016; Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019; Aguilera et al., 2021).

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, MS, Brasil.

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente (UO), 90600, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Balsas, Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

* Autor correspondente: j51173@yahoo.com

Portanto, o trabalho tem como objetivo verificar se o uso de água tratada magneticamente pode melhorar o desempenho agrônômico do rabanete quando comparado com a irrigação convencional nas condições do Chapadão do Sul.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na horta da Associação Gileade, casa de recuperação de dependentes químicos, como parte do projeto de extensão da entidade com a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMS). Segundo classificação de Koppen, o clima da região é do tipo tropical úmido (Aw), com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente (Alvares et al., 2014). Informações do comportamento médio destas variáveis climáticas durante a condução do experimento são mostradas na Figura 1.

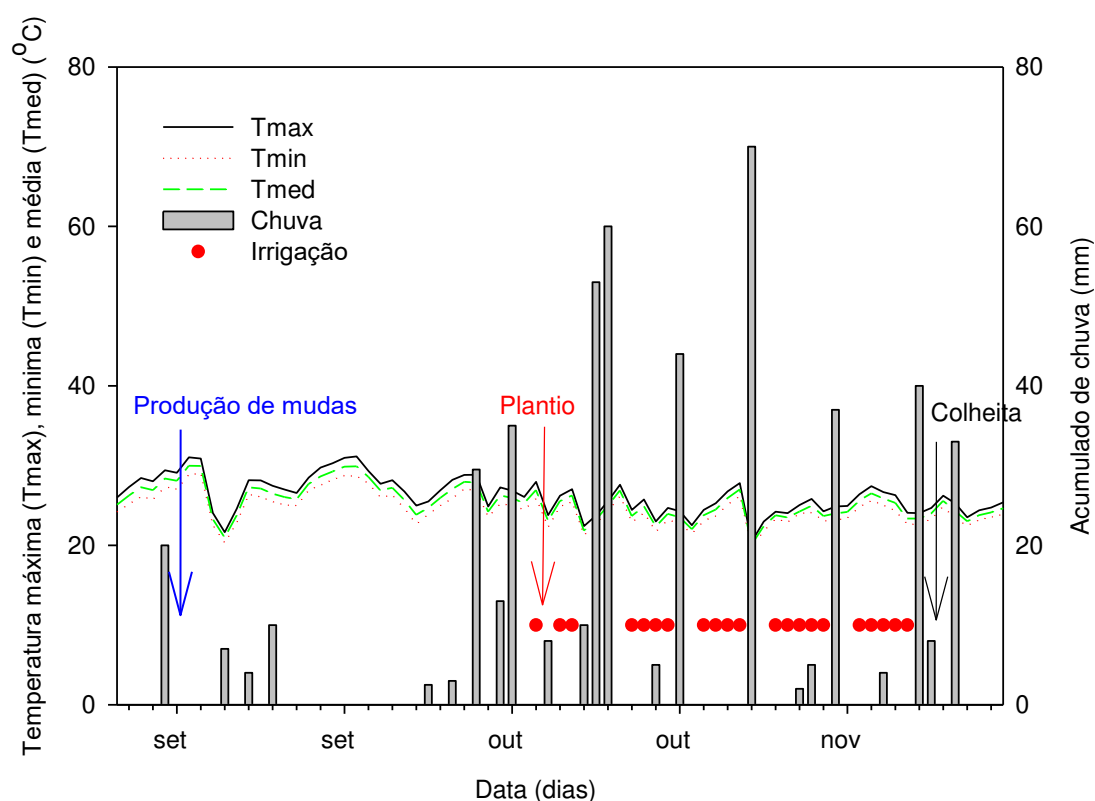


Figura 1. Registro de variáveis climáticas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul. Momentos em que foi realizado a produção de mudas em estufa e o plantio e colheita no campo. Os círculos vermelhos representam os dias em que teve irrigação. Fonte: Dados do INMET (2021).

Prévio a instalação do experimento uma amostra de solo coletada de 0-10 cm de profundidade foi tomada e determinada a composição química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	pH H ₂ O	K (mg dm ⁻³)	P (g dm ⁻³)	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	MO
					-----	cmol _c dm ⁻³ -----			(%)	(g dm ⁻³)
0-10	4,89	460,00	7,06	5,30	13,97	0,00	4,05	5,30	13,97	60,86

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cations à pH 7,0. V: Saturação de bases. Fonte: Autores.

O solo foi preparado um mês antes do plantio, utilizando-se um trator do tipo “Tobata”, em que revolveu os 30 cm da camada superficial, após foi corrigido o solo e realizadas as adubações necessárias com esterol bovino e cama de aviário curtido na proporção de 2:1, aplicado superficialmente a razão de 5 kg m². Os canteiros foram levantados com enxada.



Figura 2. Detalhe da instalação do experimento na horta da Associação Gileade no Chapadão do Sul, MS, Brasil. Preparação do solo (A), preparação do plantio (B), início da germinação dos rábanos (C), vista geral do experimento (D) e detalhe do magnetizador empregado (E). Fonte: Autores.

O delineamento experimental utilizado foi completamente aleatorizado com dois tratamentos que consistiu em dois tipos de irrigação [água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM)], com três repetições de cinco plantas cada. Foi empregada sementes da cultivar de rabanete Alegro, planta rústica e vigorosa com boa cobertura foliar, de formato redondo e grão com excelente coloração vermelha,

com facilidade na formação de maços e tolerância a rachaduras e isoporização e um ciclo: 20-28 dias (Feltrin, 2022).

As sementes foram semeadas em canteiros de 1,20 de largura, no espaçamento de 0,25 m entre linhas e 0,10 m entre plantas. Eliminação de plantas daninhas foi realizado semanalmente de modo manual e nenhum produto foi aplicado no controle de doenças e pragas, por não ter necessidade de seu uso.

O tratamento magnético foi realizado por um dispositivo magnético composto por ímanes permanentes que foram concebidos, construídos e caracterizados no Centro Nacional de Eletromagnetismo Aplicado (CNEA) de Santiago de Cuba, Cuba (Gilart et al., 2013). Esses equipamentos possuem um campo magnético estático não uniforme ou heterogêneo entre 100 e 200 mT. O sistema de irrigação foi estabelecido com duas linhas por canteiro com mangueira de irrigação por gotejamento Streamline™ Plus Netafim e espaçamento entre emissores de 30 cm. A irrigação proporcionou 1,3 Lh⁻¹, sendo aplicada a irrigação sempre que necessário (Figura 1), totalizando 21 irrigações desde o transplante das mudas até a colheita.

Durante o mês que foi conduzido o experimento foram analisadas semanalmente as variáveis: número de folhas (unid.), e altura da planta (cm). A colheita foi realizada aos 30 dias após a germinação (DAG) onde foi avaliado o peso de cinco frutos por repetição (PF, g) e com eles determinado o peso médio dos rábanos (PR, g) e estimada o diâmetro de 15 frutos por repetição (DR, cm). As medidas foram feitas com o auxílio de régua graduada em centímetros e os pesos aferidos numa balança analítica.

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) conjunta e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste F de Fisher-Snedecor, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Software Rbio (Bhering, 2017) e na confecção dos gráficos foi empregado o programa SigmaPlot 10.0® (Systat Software Inc.).

Resultados e discussão

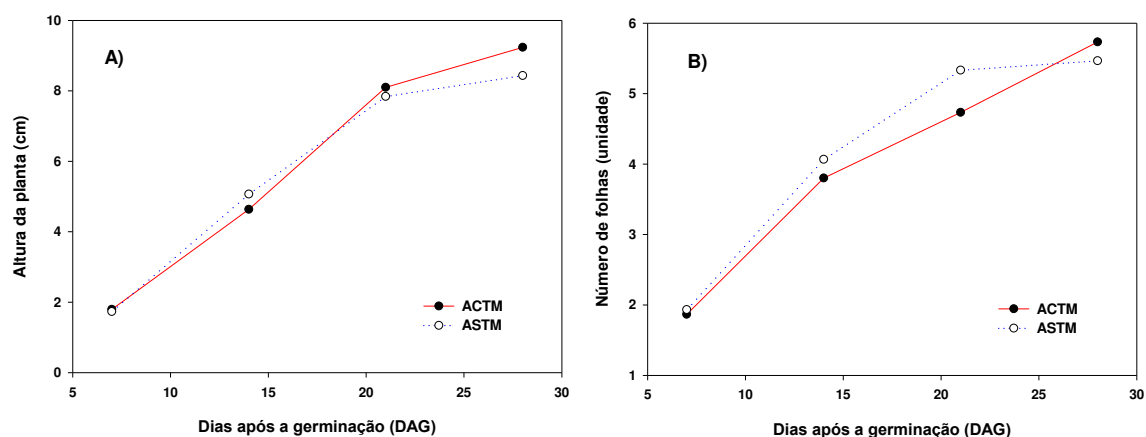
Os resultados descritos na Tabela 1 apontam que o tratamento de irrigação teve um efeito apenas nas variáveis NF aos 21 DAG ($P < 0.05$), PR ($P < 0.001$) e DR ($P < 0.001$). A maioria dos CV estiveram adequados para experimentos de campo, com a exceção dos valores obtidos nas variáveis PF e PR que estiveram acima de 30%.

Tabela 1. Resultado do *P-value* da ANOVA ao avaliar variáveis agrônômicas em rabano irrigado com água tratada magneticamente.

Trat.	<i>P-value</i>									PF	PR	DR
	----- AP ¹ (cm) -----				----- NF (unid.) -----							
	7 DAG	14 DAG	21 DAG	29 DAG	7 DAG	14 DAG	21 DAG	29 DAG	(unid.)			
Irrigação	0.76	0.34	0.62	0.28	0.56	0.30	*	0.25	0.77	***	***	
CV ²	29.7	24.5	17.8	22.7	16.2	17.5	14.2	11.0	33.4	38.3	13.7	

¹ AP: altura da planta, NF: número de folhas, PF: peso de cinco frutos, PR: média de peso de rābanos, DR: diâmetro do rabano, DAG: dias após germinação; ²CV: coeficiente de variação. * e *** significância pelo teste F ao 0.05 e 0.001 de probabilidade.

A altura das plantas de rabano não evidenciaram diferenças estatísticas entre seus valores ao longo dos 35 dias após a germinação das sementes de rābano no campo (Figura 3A). O número de folhas (Figura 3B) foi avaliado e apenas aos 28 dias após o transplante observaram-se diferenças estatísticas a favor do controle (ASTM). Estes resultados se correspondem com os obtidos por Ospina-Salazar et al. (2018) que ao avaliar acúmulo de biomassa fresca e seca, e área folhar de rabano irrigado com água tratada magneticamente (0 a 156 mT) não observaram um estímulo do tratamento em relação ao controle empregado.

**Figura 3.** Altura da planta (A) e número de folhas (B) ao longo de 35 dias após a germinação de rābanete irrigado com (ACTM) e sem (ASTM) água tratada magneticamente. Chapadão do Sul, MS, Brasil. * diferenças significativas ao $p < 0,05$ de probabilidade pelo teste F. $n=15$.

O peso de cinco frutos (Figura 4A) e o diâmetro de frutos de rabano (Figura 4C) foram estimulados pelo uso da água tratada magneticamente com incrementos de 85% e 25% respectivamente em relação ao controle. O peso médio dos frutos de rābano (Figura 4B) ainda que com valores superiores a favor da ACTM (16,59 g) não se diferenciou do controle (ASTM= 16,00 g).

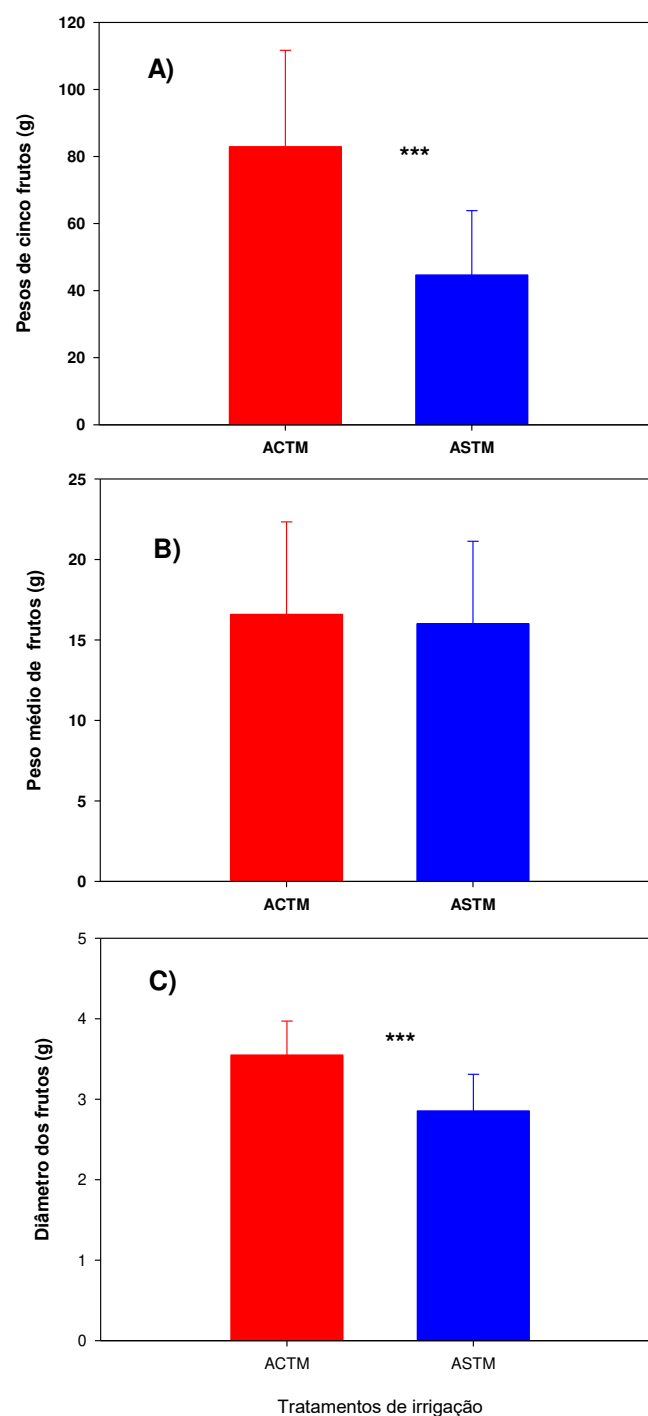


Figura 4. Peso de cinco frutos (A), peso médio de frutos (B) e diâmetro de frutos (C) aos 35 dias após a germinação de rabanete irrigado com (ACTM) e sem (ASTM) água tratada magneticamente. Chapadão do Sul, MS, Brasil. * diferenças significativas ao $p < 0,05$ de probabilidade pelo teste F. $n=15$.

Muitos trabalhos têm mostrado o benefício que os campos magnéticos estacionários ou alternos tem sobre o desenvolvimento de sementes e de plantas de diversas espécies (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019). O rabano avaliado mostrou que responde a irrigação com ACTM no final de ciclo favorecendo os acumulados no fruto, se consideramos que no desenvolvimento da planta o tratamento não se diferenciou do controle. O estímulo o a respostas das plantas ao serem expostas a

campos magnéticos pode variar de uma espécie para outra e depende de momento e da intensidade de aplicação do tratamento (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019). Entretanto, os resultados obtidos mostram que a técnica continua a ser de importância e promove a melhora da produção do rabano.

CONCLUSÕES

A água tratada magneticamente com 100 – 200 mT de indução magnética estimulou a produtividade do rábano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera JG, Martin RM (2016). Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *Solanum lycopersicum* L. Brazilian Journal of Sustainable Agriculture., 6: 47-53.
- Alemán EI et al. (2019). Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. In: Zuffo AM, Aguilera JG, de Oliveira BR (Org.). Ciência em foco. 1ed.Nova Xavantina: Pantanal Editora, 1: 79-90.
- Alvares CA et al. (2014). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6): 711-728.
- Bhering LL (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 17: 187-190.
- Boix YF et al. (2019). Static magnetic treatment of irrigation water on different plants cultures improving development. In: Santos CC (Org.). Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias. 1ed. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 1: 76-84.
- Carbonell MV et al. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. Intropica 12(2): 143-159.
- Feltrin (2022). Rabanete Alegro. Disponível em: https://www.sementesfeltrin.com.br/_uploads/pdf/InfoTecnicaP_1662.PDF
- Filgueira FAR (2008). Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV. 421p.
- Gilart F et al. (2013). High flow capacity devices for anti-scale magnetic treatment water Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 70: 211-216.
- INMET (2021). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- Matos RM et al. (2016). Partição de assimilados em plantas de rabanete em função da qualidade da água de irrigação. Journal of Agronomic Sciences, 4: 151-164.

- Ospina-Salazar DI et al. (2018). Fotosíntesis y rendimiento de biomasa en ají Tabasco, rábano y maíz sometidos a agua tratada magnéticamente. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2): 291-305.
- Shine MB et al. (2011). Enhancement of Germination, Growth, and Photosynthesis in Soybean by Pre-Treatment of Seeds With Magnetic Field. *Bioelectromagnetics*, 32: 474-484.

Impacto da irrigação com água tratada magneticamente na alface lisa

Recebido em: 15/04/2022

Aceito em: 21/04/2022

 10.46420/9786558722694cap12

Natielly Pereira da Silva¹ 

Carlos Eduardo Soares da Silva¹ 

Jorge González Aguilera^{1*} 

Magno de Jesus Borges¹ 

Matheus Ferra de Oliveira¹ 

Rafael Felipe Ratke¹ 

Albys Ester Ferrer Duboix² 

Alan Mario Zuffo³ 

INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças tem aumentado gradativamente nos últimos anos devido ao aumento da demanda por alimentos e seus benefícios à saúde. Assim, necessita de tecnologias que privilegiem a produção das culturas em relação a algumas limitações regionais e sazonais, como o uso de ambiente controlado, sementes híbridas, sistemas eficientes de irrigação e fertirrigação (Lorenzoni et al., 2020).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é pertencente à família Asteraceae, é uma das hortaliças folhosa amplamente cultivada em diversos países, senão uma das mais consumidas. É considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação do brasileiro, o que assegura essa hortaliça expressiva importância econômica (Carvalho et al., 2005) e social na agricultura familiar.

A produção de alface no Brasil se concentra nas regiões sudeste e sul, com destaque para São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná (IBGE, 2006). O Estado de São Paulo é o maior produtor e consumidor de alface no país (cerca de 137 mil toneladas em 8 mil hectares plantados), seguido do Paraná (54 mil toneladas em 2.845 ha) e Minas Gerais (18 mil toneladas em 1.192 ha). No estado de Mato Grosso com produção de 7.939 toneladas é uma das hortaliças mais produzidas (IBGE, 2006).

A área ocupada por alface pode ultrapassar 86,8 mil hectares cultivados por mais de 670 mil produtores, com volume produzido de 575,5 mil toneladas. Tais números justificam a busca por novas tecnologias que melhorem o uso da água na produção agrícola. O aumento da eficiência da irrigação e da

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, MS, Brasil.

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente (UO), 90600, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Balsas, Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

* Autor correspondente: j51173@yahoo.com

produção de alimentos é crucial para o desenvolvimento de plantas com menor volume de água aplicado (Putti et al., 2013). Segundo Sayed (2014), métodos físicos para estimular o crescimento das plantas, como ambiente controlado, sistemas de irrigação e tratamento magnético de água, são cada vez mais populares por serem menos prejudiciais ao meio ambiente.

Estudos vem sendo desenvolvidos nos últimos anos utilizando água tratada magneticamente (ATM) na irrigação de culturas. Porém, existem poucos estudos que explicam as modificações químicas e físicas da água quando submetida ao campo magnético e o impacto dessas modificações na alface. Ressalta-se que de forma geral as pesquisas vêm demonstrando que a irrigação com ATM é uma tecnologia valiosa para irrigação e provoca o aumento na produção e qualidade das culturas (Putti et al., 2015; Aguilera; Martín, 2016; Ahmed; El-Kader, 2016; Generoso et al., 2017). Segundo Maheshwari e Grewal (2009), é necessário elaborar estudos específicos sobre magnetismo, pois a aplicação dessa tecnologia envolve várias condições experimentais, como tempo de exposição e nível de indução, frequências e intensidades variadas e tipo de campo magnético.

Partindo destes antecedentes, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da água tratada magneticamente sob o desenvolvimento da alface lisa irrigada através de um sistema de irrigação por gotejo em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na horta da Associação Gileade, casa de recuperação de dependentes químicos, como parte do projeto de extensão da entidade com a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMS). Segundo classificação de Koppen, o clima da região é do tipo tropical úmido (Aw), com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente (Alvares et al., 2014). Informações do comportamento médio da temperatura (máxima, mínima e média) e da chuva durante a condução do experimento são mostradas na Figura 1.

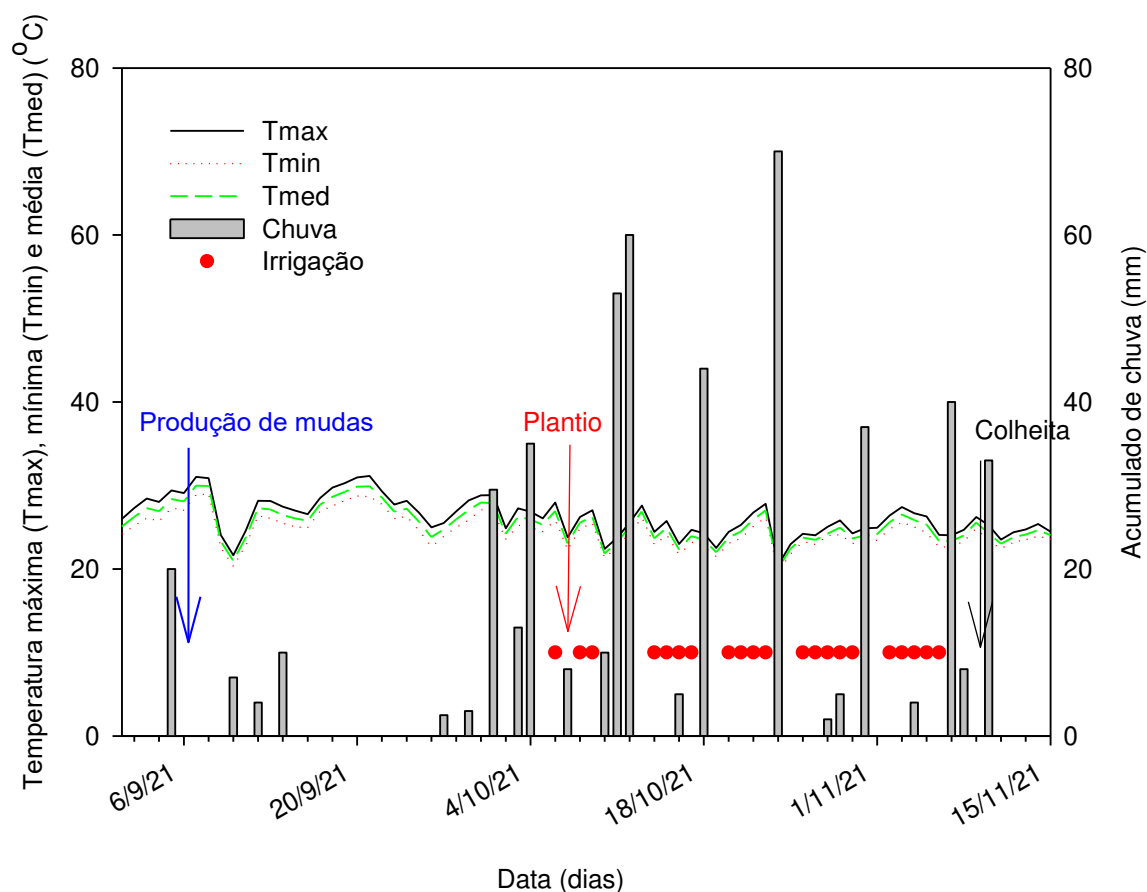


Figura 1. Registro de variáveis climáticas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul. Momentos em que foi realizado a produção de mudas em estufa e o plantio e colheita no campo. Os círculos vermelhos representam os dias em que teve irrigação. Fonte: Dados do INMET (2021).

Prévio a instalação do experimento uma amostra de solo coletada de 0 a 10 cm de profundidade e determinada a composição química do solo (Tabela 1), para verificar necessidade de correção do solo.

Tabela 1. Composição química do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	pH H ₂ O	K (mg dm ⁻³)	P (g dm ⁻³)	Ca -----	Mg -----	Al cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al -----	CTC -----	V (%)	MO (g dm ⁻³)
0-10	4,89	460,00	7,06	5,30	13,97	0,00	4,05	5,30	13,97	60,86

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cátions à pH 7,0. V: Saturação de bases. Fonte: Autores.

O solo foi preparado um mês antes do plantio, utilizando-se um trator do tipo “Tobata”, em que revolveu os 30 cm da camada superficial, após foi corrigido o solo e realizadas as adubações necessárias com esterol bovino e cama de aviário curtido na proporção de 2:1, aplicado superficialmente a razão de 5 kg m². Os canteiros foram levantados com enxada.



Figura 2. Detalhe da instalação do experimento na horta da Associação Gileade no Chapadão do Sul, MS, Brasil. Preparação do solo (A), preparação do plantio (B), plantio das mudas produzidas (C), vista geral do experimento (D) e detalhe do magnetizador empregado (E). Fonte: Autores.

O delineamento experimental utilizado foi completamente aleatorizado com dois tratamentos que consistiu em dois tipos de irrigação [água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM)], com três repetições de 15 plantas cada. Foi empregada sementes da cultivar de Alface Stella – Manteiga, com colheita aos 70 - 80 dias após a semeadura, do tipo lisa, cor verde clara e resistente ao calor com boa tolerância a doenças (Feltrin, 2022).

As sementes foram semeadas em substrato Plant Max nas bandejas de isopor empregando e mantidas em estufa até o ponto de transplante (30 dias após plantio). As mudas foram transplantadas a canteiros de 1,20 de largura, no espaçamento de 0,3 m entre linhas e 0,30 m entre plantas. Eliminação de plantas daninhas foi realizado semanalmente de modo manual e nenhum produto foi aplicado no controle de doenças e pragas, por não ter necessidade de seu uso.

O tratamento magnético foi realizado por um dispositivo magnético composto por ímãs permanentes que foram concebidos, construídos e caracterizados no Centro Nacional de Eletromagnetismo Aplicado (CNEA) de Santiago de Cuba, Cuba. Esses equipamentos possuem um

campo magnético estático não uniforme ou heterogêneo entre 100 e 200 mT (Gilart et al., 2013). O sistema de irrigação foi estabelecido com duas linhas por canteiro com mangueira de irrigação por gotejamento Streamline™ Plus Netafim e espaçamento entre emissores de 30 cm. A irrigação proporcionou 1,3 L h⁻¹, sendo aplicada a irrigação sempre que necessário (Figura 1), totalizando 21 irrigações desde o transplante das mudas até a colheita.

Em intervalos de sete dias foram realizadas cinco avaliações onde foi aferido a altura da planta (cm), o diâmetro da planta (cm), o número de folhas (unidade). A colheita foi realizada aos 32 dias após o transplante (DAT) onde foi avaliado a massa fresca da planta (g). As medidas foram feitas com o auxílio de régua graduada em centímetros e os pesos aferidos numa balança analítica.

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) conjunta e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste F de Fisher–Snedecor, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Software Rbio (Bhering, 2017) e na confecção dos gráficos foi empregado o programa SigmaPlot 10.0® (Systat Software Inc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de variância descritos na Tabela 1 apontam que a irrigação na alface lisa teve um efeito significativo apenas nas variáveis AP [aos 14 DAT ($P<0.05$) e 28 DAT ($P<0.05$)], DP [aos 14 DAT ($P<0.05$)], e NF aos 7 DAT ($P<0.001$). A maioria dos CV estiveram adequados para experimentos de campo, com a exceção dos valores obtidos na variável massa fresca da planta que estiveram acima de 30%. Este comportamento para a massa fresca da planta pode ser explicado se se considerar que a alface possui em média 94% de água em sua constituição (Ohse et al., 2001), e por isso, parte da variabilidade inerente a esta cultura ocorre devido a variações do teor de água de uma planta para outra, influenciando assim o CV para esta variável.

As alturas das plantas de alface lisa evidenciaram diferenças estatísticas significativas entre seus valores ao longo dos 35 dias após a germinação das sementes no campo, aos 14 e 28 dias com estímulo variável a favor da ACTM e ASTM respectivamente (Figura 3A). Aos 32 dias ainda que o tratamento com ACTM resultou nos maiores valores com um incremento de um 7%, contudo, as diferenças estatísticas não foram confirmadas.

O diâmetro das plantas de alface lisa evidenciou diferenças significativas ($P<0,05$) apenas aos 14 dias a favor da ACTM com 10,63 cm em relação a 9,24 cm do controle (ASTM) (Figura 3B). Entretanto, observasse que no final do experimento o tratamento de ACTM continua a estimular o desenvolvimento da planta com um incremento de um 5% sem diferenças com o controle.

Tabela 1. *P-value* obtido no ANOVA ao avaliar variáveis de crescimento na alface lisa irrigada com água tratada magneticamente.

Características	Avaliação (dias)	Irrigação	CV ¹ (%)	Média geral
Altura da planta (cm)	7	0,35	21,53	2,99
	14	*	18,95	5,11
	21	0,24	30,13	7,1
	28	*	14,10	9,97
	32	0,07	10,75	15,25
Diâmetro da planta (cm)	7	0,14	20,57	5,37
	14	*	17,04	9,93
	21	0,30	26,40	13,17
	28	0,22	16,09	21,60
	32	0,29	13,05	29,83
Número de folhas (unidade)	7	**	17,37	3,93
	14	0,58	16,45	3,93
	21	1,0	19,51	4,2
	28	0,53	21,92	7,93
	32	0,07	17,06	14,37
Massa Fresca da planta (g)		0,45	40,01	110,03

¹CV: coeficiente de variação. * e ** significância pelo teste F ao 0.05 e 0.01 de probabilidade.

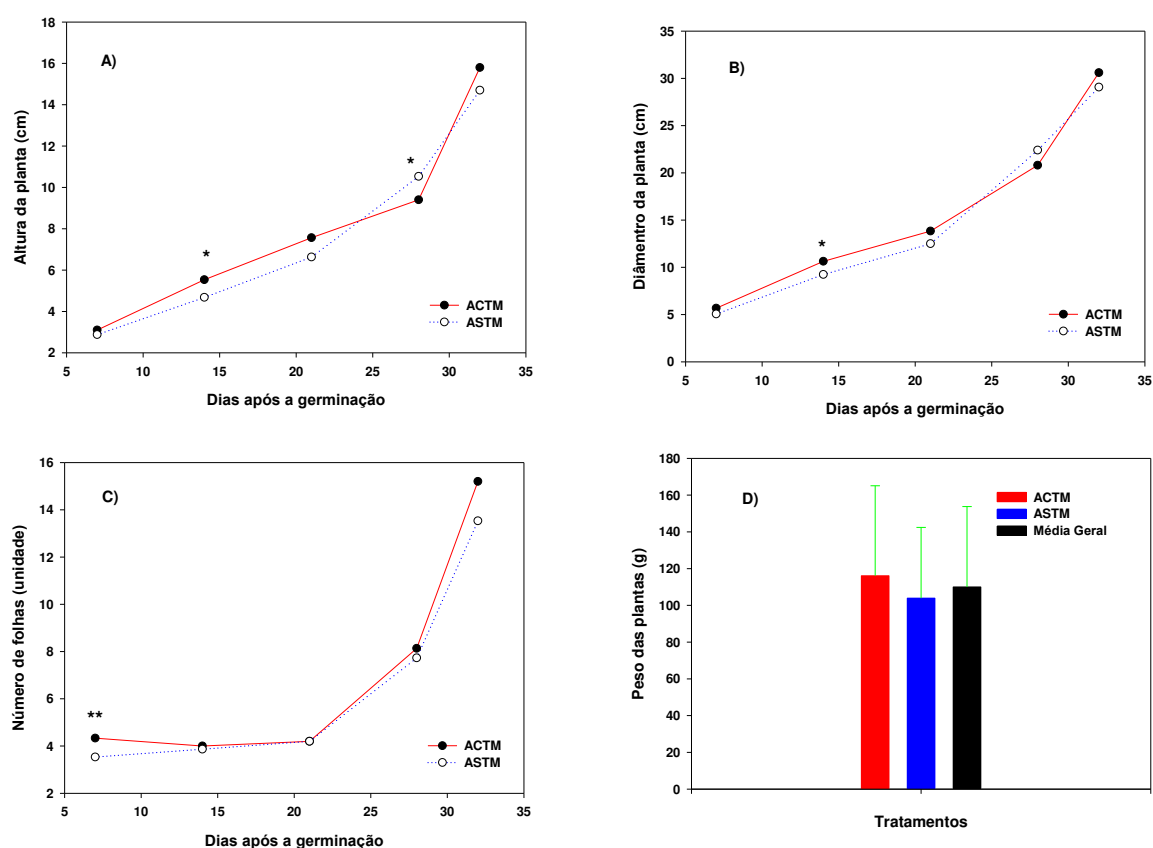


Figura 3. Altura da planta (A), diâmetro da planta (B), número de folhas (C) e peso da planta (D) obtido ao avaliar alface lisa com água com tratamento magnético (ACTM) e sem irrigação com água tratada magneticamente (ASTM). Chapadão do Sul, MS, Brasil. * e ** diferenças significativas ao 0,05 e 0,01 probabilidade pelo teste F. n=15.

O número de folhas (Figura 3C) foi avaliado e apenas no início (sete dias após o transplante) observaram-se diferenças estatísticas significativas ($P<0,01$) a favor do tratamento com ACTM com 4,53 folhas em relação a 3,33 folhas no controle. No final do ciclo (35 dias) o tratamento ACTM continuou a estimular a alface com um incremento de 12% em relação ao controle sem diferenças estatisticamente significativas entre eles.

O peso da planta no final do ciclo foi avaliada e é mostrada na Figura 3D. Observasse um incremento de 11,74% do ACTM em relação ao ASTM sem diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Muitos trabalhos têm mostrado o benefício que os campos magnéticos estacionários ou alternos tem sobre o desenvolvimento de sementes e de plantas de diversas espécies (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019, Dubois et al., 2019). Mousavizadeh et al., (2013), demonstraram que o tratamento com um campo magnético estacionário entre 125 e 250 MT produziu um incremento na germinação e as primeiras etapas de crescimento de alface.

Por sua parte, Latef et al. (2020), ao aplicar um campo magnético estático de 1T por 1 hora estimularam o crescimento em longitude do caule e a produção de biomassa em plantas de alface. A alface lisa avaliada mostrou que responde a irrigação com ACTM no final de ciclo favorecendo os acumulados da massa fresca para todas as variáveis medidas, se consideramos ao longo do período de desenvolvimento da planta o tratamento se diferenciou do controle. O estímulo e as respostas das plantas ao serem expostas a campos magnéticos pode variar de uma espécie para outra e depende de momento e da intensidade de aplicação do tratamento (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019, Almeida et al., 2020). Entretanto, os resultados obtidos mostram que a técnica continua a ser de importância e promove a melhora da produção da alface considerando que principalmente no final do ciclo plantas de qualidade fisiológica foram obtidas.

CONCLUSÕES

Os efeitos da água tratada magneticamente na alface lisa não foram consistentes, se considerarmos que o estímulo foi variável ao longo do ciclo e que no final do ciclo não se manifestaram diferenças estadísticas significativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera JG, Martín RM (2016). Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *Solanum lycopersicum* L. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 6(1): 47-53.
- Ahmed ME, El-Kader NI (2016). The influence of magnetic water and water regimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. Middle East Journal of Agriculture, 5(2): 132-143.

- Alemán EI et al. (2019). Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. In: Zuffo AM, Aguilera JG, de Oliveira BR (Org.). *Ciência em foco*. 1ed. Nova Xavantina: Pantanal Editora, 1: 79-90.
- Almeida RCD et al. (2020). Desenvolvimento vegetativo do tomateiro sweet heaven irrigado com água tratada magneticamente. *Braz. J. of Develop.*, 6(2): 5428-5434.
- Alvares CA et al. (2014). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologisches Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Bhering LL (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17: 187-190.
- Boix YF et al. (2019). Static magnetic treatment of irrigation water on different plants cultures improving development. In: Santos CC (Org.). *Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias*. 1ed. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 1: 76-84.
- Carbonell MV et al. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica* 12(2): 143-159.
- Carvalho JE et al. (2005). Cobertura morta do solo no cultivo de alface Cv. Regina 2000, em Ji-Paraná/RO. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(5): 935-939.
- Dubois AF et al. (2019). Use of GREMAG® technology to improve seed germination and seedling survival. In: Zuffo AM, Aguilera JG, de Oliveira BR (Org.). *Ciência em foco*. 1ed. Nova Xavantina: Pantanal Editora, 1: 138-149.
- Feltrin (2022). Alface Stella. Disponível em: <https://www.sementesfeltrin.com.br/Produto/alface-stella>
- Generoso TN et al. (2017). Water magnetization and phosphorus transport parameters in the soil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(1): 9-13.
- Gilart F et al. (2013). High flow capacity devices for anti-scale magnetic treatment water. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 70: 211-216.
- IBGE (2006). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2006 - Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro, 777 p.
- INMET (2021). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- Latef AAHA et al. (2020). Impact of the Static Magnetic Field on Growth, Pigments, Osmolytes, Nitric Oxide, Hydrogen Sulfide Phenylalanine Ammonia-Lyase Activity, Antioxidant Defense System, and Yield in Lettuce. 9(7): 172.
- Lorenzoni MZ et al. (2020). Growth and development of bell pepper crop irrigated with magnetically-treated water. *Revista de Agricultura Neotropical*, 7(2): 9-16.
- Maheshwari BL, Grewal HS (2009). Tratamento magnético da água de irrigação: seus efeitos sobre o rendimento das culturas vegetais e a produtividade da água. *Gestão Agrícola da Água*, 96(1): 1229-1236.

- Mousavizadeh SJ et al. (2013). Germination parameters and peroxidase activity of lettuce seed under stationary magnetic field. *Int. J. Biosci* 3(4): 199-207.
- Ohse S et al. (2001). Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. *Scientia Agricola* 58: 181-185.
- Putti FF et al. (2013). Desenvolvimento inicial da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água magnetizada. *Cultivando o saber*, 6(3): 83-90.
- Putti FF et al. (2015). Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. *Afr. J. Agr. Res.* 10(22): 2300-2308.
- Sayed HESAE (2014). Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of Broad Bean (*Vicia faba* L.) plant. *American Journal off Experimental Agriculture*, 4(4): 476-496.

Produtividade da alface crespa é impactada pelo uso de água tratada magneticamente

Recebido em: 15/04/2022

Aceito em: 21/04/2022

 10.46420/9786558722694cap13

Carlos Eduardo Soares da Silva¹ 

Matheus Ferra de Oliveira¹ 

Natielly Pereira da Silva¹ 

Jorge González Aguilera^{1*} 

Magno de Jesus Borges¹ 

Rafael Felipe Ratke¹ 

Elizabeth Issac Alemán² 

Alan Mario Zuffo³ 

INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema da alimentação humana está em grande evidência nos meios de comunicação, evidenciando a preocupação com os cuidados à saúde e, conseqüentemente, a busca crescente por alimentos de qualidade (Carvalho et al., 2005). Principalmente, as hortaliças que são recomendadas para uma alimentação saudável, constituindo alimentos de grande importância na dieta diária devido ao teor de nutrientes necessários ao funcionamento adequado do organismo, como sais minerais, fibras alimentares e vitaminas (Barbosa et al., 2016).

Com isso, a alface (*Lactuca sativa* L.), originária do Leste do Mediterrâneo, ganha grande notoriedade no percentual de consumo de hortaliças no mundo, considerada também como uma boa fonte de vitaminas e sais minerais, destacando-se seu elevado teor de vitamina A, além de conter vitaminas B1 e B2, vitaminas C, cálcio e ferro (Krohn et al., 2003; Melo et al., 2004).

Apesar de ser cultivada em todas as regiões brasileiras, a cultura da alface apresenta restrições no seu cultivo, como as condições adversas de temperatura, umidade do ar e precipitação pluvial (Putti et al., 2013). Dessa forma, a irrigação vem se tornando um grande aliado dos produtores, responsável pelo suprimento de água exigida pela cultura, sobretudo, no uso racional da água, evitando assim o desperdício.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, MS, Brasil.

² Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente (UO), 90600, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Balsas, Praça Gonçalves Dias, s/n, Centro, CEP 65800-000, Balsas, MA, Brasil.

* Autor correspondente: j51173@yahoo.com

Pesquisas vem sendo desenvolvidas nos últimos anos com a irrigação utilizando água tratada magneticamente (ATM) na irrigação de culturas (El Sayed, 2014; Putti et al., 2013; Dubois et al., 2019; Faridvand et al., 2021). Porém, existem poucos estudos que explicam as modificações químicas e físicas da água quando submetida ao campo magnético e o impacto dessas modificações nas culturas. Ressalta-se que de forma geral as pesquisas vêm demonstrando que a irrigação com ATM provoca o aumento na produção e qualidade das culturas (Putti et al., 2015; Aguilera; Martín, 2016; Ahmed; El-Kader, 2016; Boix et al., 2019; Alemán et al., 2019; Lorenzoni et al., 2020).

Deste modo, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desenvolvimento da cultura de alface crespa com uso da água magnetizada em comparação a água convencional por meio da irrigação por gotejamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na horta da Associação Gileade, casa de recuperação de dependentes químicos, como parte do projeto de extensão da entidade com a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMS). Segundo classificação de Koppen, o clima da região é do tipo tropical úmido (Aw), com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente (Alvares et al., 2014). Informações do comportamento médio das variáveis climáticas durante a condução do experimento são mostradas na Figura 1.

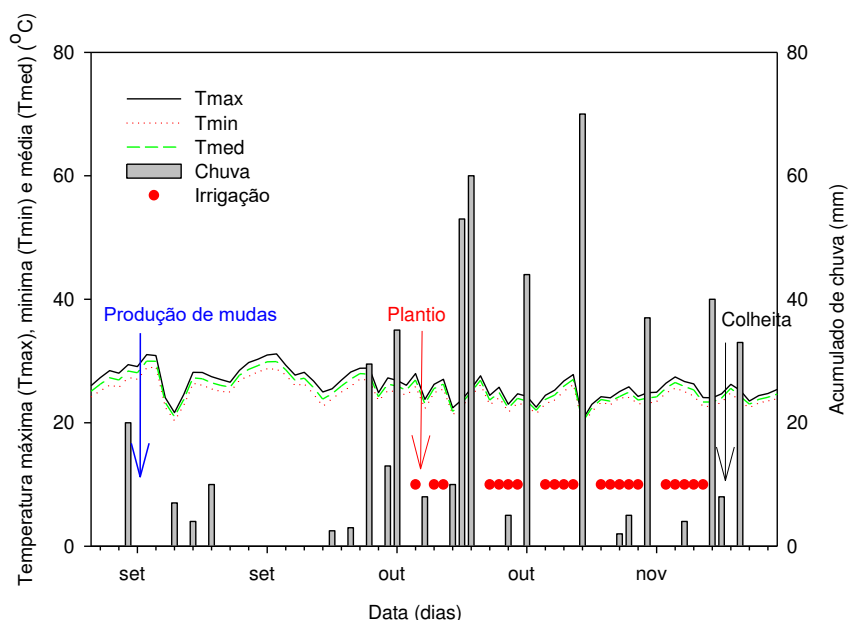


Figura 1. Registro de variáveis climáticas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul. Momentos em que foi realizado a produção de mudas em estufa e o plantio e colheita no campo. As bolinhas vermelhas representam os dias em que teve irrigação. Fonte: Dados do INMET (2021).

Prévio a instalação do experimento uma amostra de solo coletada de 0-10 cm de profundidade foi tomada e determinada a composição química do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	pH	K (mg dm ⁻³)	P (g dm ⁻³)	Ca	Mg	Al ----- cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al	CTC	V (%)	MO (g dm ⁻³)
0-10	4.89	460.00	7,06	5.30	13.97	0.00	4.05	5.30	13.97	60.86

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cations à pH 7,0. V: Saturação de bases. Fonte: Autores.

O solo foi preparado um mês antes do plantio, utilizando-se um trator do tipo “Tobata”, em que revolveu os 30 cm da camada superficial, após foi corrigido o solo e realizadas as adubações necessárias com esterol bovino e cama de aviário curtido na proporção de 2:1, aplicado superficialmente a razão de 5 kg m². Os canteiros foram levantados com enxada.



Figura 2. Detalhe da instalação do experimento na horta da Associação Gileade no Chapadão do Sul, MS, Brasil. Preparação do solo (A), preparação do plantio (B), plantio das mudas produzidas (C), vista geral do experimento (D) e detalhe do magnetizador empregado (E). Fonte: Autores.

O delineamento experimental utilizado foi completamente aleatorizado com dois tratamentos que consistiu em dois tipos de irrigação [água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM)], com três

repetições de 15 plantas cada. Foi empregada sementes *Lactuca sativa* cv. Crespa Ariana, colheita 50 a 70 dias, tipo crespa, cor verde, destaques precocidade, tolerância ao pendoamento (Feltrin, 2022).

As sementes foram semeadas em substrato Plant Max em bandejas de isopor empregando e mantidas em estufa até o ponto de transplante (30 dias após plantio). As mudas foram transplantadas a canteiros de 1,20 de largura, no espaçamento de 0,3 m entre linhas e 0,30 m entre plantas (Figura 2). Eliminação de plantas daninhas foi realizado semanalmente de modo manual e nenhum produto foi aplicado no controle de doenças e pragas, por não ter necessidade de seu uso.

O tratamento magnético foi realizado por um dispositivo magnético composto por ímanes permanentes que foram concebidos, construídos e caracterizados no Centro Nacional de Eletromagnetismo Aplicado (CNEA) de Santiago de Cuba, Cuba (Giliart et al., 2013). Esses equipamentos possuem um campo magnético estático não uniforme ou heterogêneo entre 100 e 200 mT. O sistema de irrigação foi estabelecido com duas linhas por canteiro com mangueira de irrigação por gotejamento Streamline™ Plus Netafim e espaçamento entre emissores de 30 cm. A irrigação proporcionou 1,3 L h⁻¹, sendo aplicada a irrigação sempre que necessário (Figura 1), totalizando 21 irrigações desde o transplante das mudas até a colheita.

A colheita foi realizada aos 30 dias após a germinação (DAG) onde foi avaliado a altura da planta (cm), o diâmetro da planta (cm), o número de folhas (unidade) e a massa fresca da planta (g). As medidas foram feitas com o auxílio de régua graduada em centímetros e os pesos aferidos numa balança analítica.

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) conjunta e quando significativas as médias foram comparadas pelo teste F de Fisher-Snedecor, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Software Rbio (Bhering, 2017) e na confecção dos gráficos foi empregado o programa SigmaPlot 10.0® (Systat Software Inc.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados descritos na Tabela 1 apontam que após 35 dias de irrigação na alface crespa o tratamento teve efeito apenas nas variáveis peso da planta ($P < 0.001$). A maioria dos CV estiveram adequados para experimentos de campo, com valores que estiveram próximos de 30%. Este comportamento para a massa fresca da planta pode ser explicado se consideramos que a alface possui 94% de água em sua constituição (Ohse et al., 2001), e por isso, parte da variabilidade inerente a esta cultura ocorre devido a variações do teor de água de uma planta para outra, influenciando assim o CV para esta variável.

Tabela 1. *P-value* obtido no anova ao avaliar variáveis de crescimento da alface crespa irrigada com água tratada magneticamente.

Tratamento	<i>P-value</i>			
	Altura da Planta (cm)	Diâmetro da planta (cm)	Número de folhas (unidade)	Massa da planta (g)
Irrigação	0,27	0,08	0,07	***
CV (%)	11,57	16,96	25,02	30,77
Média geral	15,43	25,00	12,27	223,65

¹CV: coeficiente de variação. *** significância pelo teste F a 0.001 de probabilidade.

Quando observado o desempenho da irrigação com água tratada magneticamente em alface crespa produzida em condições de campo evidencia-se que para todas as variáveis medidas e mostradas na Figura 3, o tratamento com ACTM foi superior ao controle ASTM, entretanto, diferenças estatísticas apenas foram obtidas na variável massa fresca da planta com incremento de um 63% em relação ao controle.

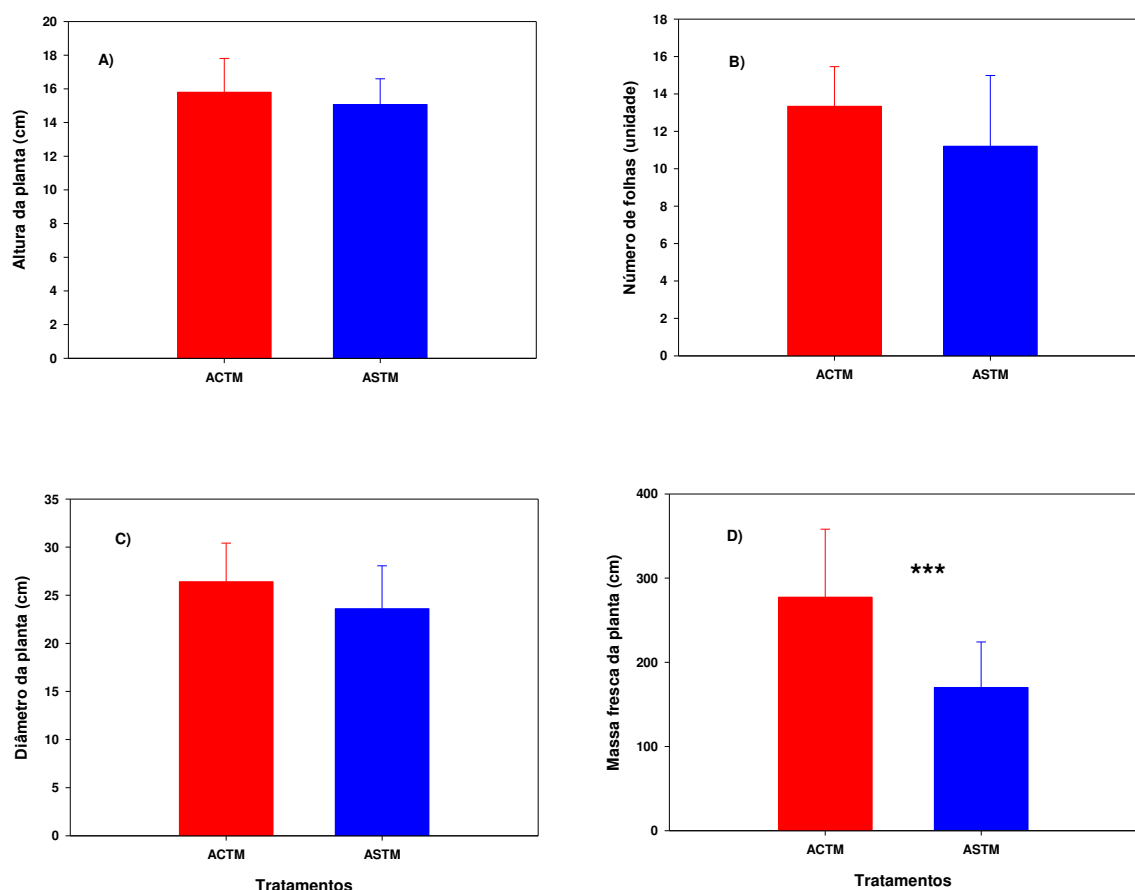


Figura 3. Altura da planta (A), diâmetro da planta (B), número de folhas (C) e massa fresca da planta (D) obtido ao avaliar alface lisa com (ACTM) e sem (ASTM) irrigação com água tratada magneticamente. Chapadão do Sul, MS, Brasil. *** diferenças significativas ao 0,001 de probabilidade pelo teste F. n=15.

Muitos trabalhos têm mostrado o benefício que os campos magnéticos estacionários ou alternos tem sobre o desenvolvimento de sementes e de plantas de diversas espécies (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019; Hozayn et al., 2019).

A alface crespa avaliada mostrou que responde a irrigação com ACTM no final de ciclo favorecendo os acumulados da massa fresca para todas as variáveis mesuradas. O estímulo ou a respostas das plantas ao serem expostas a campos magnéticos pode variar de uma espécie para outra e depende de momento e da intensidade de aplicação do tratamento (Carbonell et al., 2017; Alemán et al., 2019; Boix et al., 2019; Shabrangy et al., 2021). Destaque para a ATM que em apenas aplicada em 51% dos dias de conduzido o experimento, produto de que um acumulado de chuva de 530 mm nesse período, manifestou efeitos benéficos para a cultura da alface, corroborando assim os efeitos que sob os sistemas vegetais este tratamento exerce. Entretanto, os resultados obtidos mostram que a técnica continua a ser de importância e promove a melhora da produção da alface considerando que principalmente no final do ciclo plantas de qualidade fisiológica foram obtidas.

CONCLUSÕES

A água tratada magneticamente estimula a alface crespa produzida em condições de campo promovendo uma maior massa fresca da parte aérea da planta e a produção da cultura no final do ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera JG, Martín RM (2016). Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *Solanum lycopersicum* L. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, 6(1): 47-53.
- Ahmed ME, El-Kader NI (2016). The influence of magnetic water and water regimes on soil salinity, growth, yield and tubers quality of potato plants. Middle East Journal of Agriculture, 5(2): 132-143.
- Alemán EI et al. (2019). Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. In: Zuffo AM, Aguilera JG; de Oliveira BR (Org.). Ciência em foco. 1ed.Nova Xavantina: Pantanal Editora, 1: 79-90.
- Alvares CA et al. (2014). Köppen's Climate Classification Map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6): 711-728.
- Barbosa VAA et al. (2016). Comparação da contaminação de alface (*Lactuca sativa*) proveniente de dois tipos de cultivo. Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Ambiental, 10(2): 231-242.
- Bhering LL (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 17: 187-190.
- Boix YF et al. (2019). Static magnetic treatment of irrigation water on different plants cultures improving development. In: Santos CC (Org.). Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias. 1ed. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 1: 76-84.

- Carbonell MV et al. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica* 12(2): 143-159.
- Carvalho JE et al. (2005). Cobertura morta do solo no cultivo de alface Cv. Regina 2000, em Ji-Paraná/RO. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(5): 935-939.
- Dubois AEF et al. (2019). Use of GREMAG® technology to improve seed germination and seedling survival. In: Zuffo AM, Aguilera JG; de Oliveira BR (Org.). *Ciência em foco*. 1ed.Nova Xavantina: Pantanal Editora, 1: 138-149.
- El Sayed HES (2014). A. Impact of magnetic water irrigation for improve the growth, chemical composition and yield production of broad bean (*Vicia faba* L.) plant. *American journal of experimental agriculture*, 4(4): 476 -496.
- Faridvand S et al. (2021). The Effect of Foliar Application of Magnetic Water and Nano-Fertilizers on Phytochemical and Yield Characteristics of Fennel. *Horticulturae* 7(475): 1-12.
- Feltrin (2022). Alface Ariana. Disponível em: https://www.sementesfeltrin.com.br/Produto/ALFACE_ARIANA
- Gilart F et al. (2013). Hight flow capacity devices for anti-scale magnetic tretament water Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 70: 211-216.
- Hozayn M et al. (2019). Enhancement in germination, seedling attributes and yields of alfalfa (*Medicago sativa*, L.) under salinity stress using static magnetic field treatments. *Eurasian Journal of Biosciences*, 13(1): 369-378.
- INMET (2021). Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- Krohn NG et al. (2003). Teores de nitrato em folhas de alface em função do horário de coleta e do tipo de folha amostrada. *Horticultura Brasileira*, 21(2): 216-219.
- Lorenzoni MZ et al. (2020). Growth and development of bell pepper crop irrigated with magnetically-treated water. *Revista de Agricultura Neotropical*, 7(2): 9-16.
- Melo GMP et al. (2004). Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola. Brasília.
- Ohse S et al. (2001). Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. *Scientia Agricola* 58: 181-185.
- Putti FF et al. (2013). Desenvolvimento inicial da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água magnetizada. *Cultivando o saber*, 6(3): 83-90.
- Putti FF et al. (2015). Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths. *Afr. J. Agr. Res.* 10(22): 2300-2308.
- Shabrangy A et al. (2021). Magnetic field induced changes in the shoot and root proteome of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in plant science*, 12: 1-18.

Índice Remissivo

A

água tratada magneticamente, 152, 153, 156,
157, 158, 161, 165, 166, 167, 170, 173, 174
alface, 169, 170, 172, 173, 174
amarelecimento, 140
Angico-amarelo, 145
arborização urbana, 139
aroeira, 144

B

baru, 145
Bignoniaceae, 139

C

cálcio, 139
cedro doce, 141
cerejeira, 142
clorose, 140
Controle de patógenos, 19
controle químico, 54
copaíba, 140
Croton beliotropiifolius, 7, 8, 13, 14
cupuaçuzeiro, 142

D

deficiência de nitrogênio, 140
desenvolvimento, 161, 165, 166

E

enxofre, 139
Exigências nutricionais, 144

F

Fertilidade do solo, 108
fitoterápicas, 145
Fósforo, 139

H

heatmap, 130, 132, 133, 134, 135
hortaliças, 160

I

ipê-amarelo, 139

ipê-roxo, 141
irrigação, 152, 153, 155, 157, 160, 161, 162, 163,
164, 166

J

jequitibá-branco, 146

L

Lactuca sativa, 160, 169, 172
lodo de esgoto, 129, 130, 131, 132, 133, 134,
135

M

macronutrientes, 139
magnésio, 139
Mapas de recomendação, 125
massa seca, 141
mogno - brasileiro, 146
Mulungu, 147

N

nitrogênio, 139
nutriente faltante, 143

O

omissão, 139
ornamental, 139

P

parasitoide, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61
paricá, 147
pequi, 143
pinhão-manso, 143
pinheiro do paraná, 139
potássio, 139
produção, 170, 174
produtividade, 152, 158
propriedade medicinal, 140

R

rábano, 156, 158
raquitismo, 140
reflorestamento, 139

S

seletividade, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 61, 63

V

Variabilidade espacial, 116

T

Trichogramma, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 165 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 127 resumos simples/expandidos, 66 organizações de e-books, 45 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Atualmente, possui 69 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 48 organizações de e-books, 32 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora e da Revista Agrária Acadêmica, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com, jorge.aguilera@ufms.br.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br