

Pesquisas agrárias e ambientais

volume XII



Alan M. Zuffo
Jorge G. Aguilera
org.



Pantanal Editora

2022

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Organizadores

Pesquisas agrárias e ambientais
Volume XII



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. Allys 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. Leandro Argentel-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. Dra. 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 XII / Organizadores
Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT:
Pantanal Editora, 2022.

143p.; il.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-81460-55-6

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460556>

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 XII” 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:

características químicas do solo submetido à incubação com pó de rocha; situação do melhoramento genético na cultura do abacaxizeiro e da bananeira; abelhas sociais (*Meliponini*) e sua participação na promoção da Agroecologia; demanda e disponibilidade hídrica para a pecuária na Microrregião do Alto Teles Pires – MT, Brasil; resistência do solo à penetração em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes ciclos de cultivo. 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 XII, 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 1	6
Efeito nas características químicas do solo submetido à incubação com pó de rocha	6
Capítulo 2	18
Situação do melhoramento genético na cultura do abacaxizeiro	18
Capítulo 3	30
Situação do melhoramento genético na cultura da bananeira	30
Capítulo 4	41
Abelhas sociais (Meliponini) e sua participação na promoção da Agroecologia	41
Capítulo 5	58
Demanda e disponibilidade hídrica para a pecuária na Microrregião do Alto Teles Pires – MT, Brasil	58
Capítulo 6	71
Resistência do solo à penetração em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes ciclos de cultivo	71
Capítulo 7	79
Características biométricas de frutos de cultivares melão produzidos no Cerrado piauiense	79
Capítulo 8	89
Aspectos sobre o melhoramento genético do eucalipto no Brasil	89
Capítulo 9	105
Perfil do consumidor de carne ovina do município de Palmeira das Missões, RS	105
Capítulo 10	115
Degradação ambiental em APP's a partir da ação antrópica, no município de Campina Grande-PB	115
Capítulo 11	130
Custos de produção e comercialização de mudas	130
Índice Remissivo	142
Sobre os organizadores	143

Situação do melhoramento genético na cultura da bananeira

Recebido em: 07/08/2022

Aceito em: 14/08/2022

 10.46420/9786581460556cap3

Noéle Khristinne Cordeiro¹ 

Edvan Costa da Silva^{2*} 

Luciana Sabini da Silva¹ 

Michel Anderson Masiero³ 

Vinícius Henrique Dias de Oliveira¹ 

Wagner Menechini⁴ 

Jéssica dos Santos Almeida⁵ 

Jordanya Ferreira Pinheiro² 

INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa* spp.) pertence à família Musaceae, e caracteriza-se por ser uma planta perene, com caule subterrâneo do tipo rizoma. São plantas monocotiledôneas, com flores monoicas dispostas em inflorescências e sistema radicular fasciculado, podendo atingir até 5 metros de altura (Hakkinen, 2013). É uma planta de regiões tropicais e subtropicais cultivada por todo o mundo, importante fonte alimentar nos trópicos e demais locais, utilizada como produtora de fibra, e também, como planta ornamental (Dantas et al., 2015).

As bananas selvagens diploides são produtoras de sementes de baixa viabilidade, enquanto que as bananas triploides e são produtoras de frutos partenocárpicos parcialmente estéreis, sendo possível a geração de sementes em cruzamentos diploides e, conseqüentemente, o desenvolvimento de novas cultivares (Amorim et al., 2015; Puteh et al., 2011).

As espécies de *Musa* spp. possuem centro de origem no sul e sudeste da Ásia e no oeste do Pacífico, e como centros de origem secundários pode-se citar a África Oriental e Ocidental e as Ilhas do Pacífico. A evolução das cultivares se deu por base de cruzamentos naturais de espécies diploides de *M. accuminata* (genoma A) e *M. balbisiana* (genoma B), gerando clones poliploides domesticados devido a alterações que se deram pelo processo de partenocarpia, sendo então desenvolvidas as cultivares apreciadas na alimentação (Tripathi et al., 2019; Dantas et al., 2015).

As cultivares que evoluíram de espécies selvagens podem apresentar até três níveis cromossômicos: diploides com 22 cromossomos (2x), triploides com 33 cromossomos (3x) e tetraploides

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil.

² Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus São Luís, MA, Brasil.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Faculdade de Administração e Ciências Econômicas (FACEC), Campus Cianorte, PR, Brasil.

⁵ Instituto de Educação. Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA), Campus Vargem Grande, MA, Brasil.

*Autor (a) correspondente: edvan_costa@outlokk.com

com 44 cromossomos (4x) (Shepherd, 1984). Atualmente, aproximadamente metade da produção é dependente de clones derivado de um único genótipo triploide (Cavendish), que são resistentes ao mal do Panamá, uma importante doença para a cultura da banana nas décadas passadas (Dash; Rai, 2016).

Bananas com alta ploidia foram selecionadas pelos pequenos produtores com o passar do tempo, e desta forma, genótipos triploides e tetraploides ganharam maior espaço nas áreas de produção, sendo a cultivar ‘Prata-Anã’ e ‘Pacovan’ as cultivares que primeiro ganharam espaço nas produções brasileiras. Porém, o cruzamento entre sementes de indivíduos diploides, triploides ou tetraploides quase sempre apresentavam anomalias, como baixa taxa de germinação, dificultando a segregação das progênes (Silva et al., 2013).

A banana é uma cultura alimentar importante no mundo todo e grande fonte nutricional em países asiáticos e africanos, que possuem o cultivo da banana como importante fonte de renda (Ghag; Ganapathi, 2017; Dash; Rai, 2016). Seu cultivo é ameaçado por fatores bióticos e abióticos como baixas temperaturas, seca, salinidade, patógenos e pragas, acarretando perdas significativas nas principais regiões produtoras. Tecnologias atuais permitiram que genes envolvidos na resposta ao estresse biótico e abiótico fossem investigados e aprimorados (Ghag; Ganapathi, 2017).

Com isso, o melhoramento genético vegetal tem por objetivo a seleção de genótipos superiores nas espécies a fim de realizar cruzamentos para a formação de novas cultivares com as características desejáveis, como resistência a patógenos e a seca, entretanto, o melhoramento genético da bananeira tem sido dificultado pela quase ausência de sementes em cultivares comerciais (Amorim et al., 2015; Silva et al., 2013).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo foi redigido de tal forma a trazer uma abordagem teórica sobre o melhoramento genético na cultura da banana. Para o levantamento das informações bibliográficas, realizou-se pesquisa e consulta de documentos e informações em plataformas de pesquisas acadêmicas digitais como a Scielo, Periódico Capes, Google Acadêmico, bem como sites de periódicos científicos, bibliotecas digitais de Teses e Dissertações, portal de boletins técnicos, livros físicos e digitais e sites governamentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades nutricionais de bananas comerciais

A banana é uma das frutas mais populares do mundo, de alto valor nutricional e funcional, rica em vitaminas, fibras, compostos fenólicos, e como as demais frutas tropicais, são sensíveis a baixas temperaturas de armazenamento e ao ataque de patógenos. Trata-se de uma fruta climatérica de vida útil curta em condições ambientais devido ao rápido amolecimento, manchas na casca e deterioração por fungos (Al-Qurashi et al., 2015; Deng et al., 2017).

Segundo estudos a casca e a polpa da banana são ricas fontes antioxidantes e nutricionais como polifenóis, carotenoides, vitaminas e minerais. A banana madura possui altas concentrações de vitamina A, vitamina B, ácido ascórbico e compostos fenólicos, β -caroteno, luteína, catequina e demais flavonoides, por sua vez, estão mais frequentemente presentes na casca da banana (Qamar; Shaikh, 2018).

Quanto a sua composição mineral, as diferentes variedades de banana podem fornecer macro e micro minerais como P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn Cu e B (Wall, 2006), sendo considerada a melhor fonte de potássio (K) entre as frutas (Qamar; Shaikh, 2018). A casca da banana contém maior quantidade de potássio em relação a polpa, além de ser mais rica em compostos antioxidantes, como compostos fenólicos e entre outros (Sulaiman et al., 2011).

Além disso, a banana é uma fruta de odor característico quando madura, isso se dá devido a presença de compostos voláteis. Em bananas verdes, terpenos e álcoois são os compostos voláteis mais frequentemente encontrados, enquanto que em bananas maduras prevalecem a presença de terpenos, álcoois e cetonas, no entanto, ao longo do tempo foram identificados cerca de 93 compostos voláteis em diferentes variedades de bananas oriundos de diferentes vias biossintéticas (Facundo et al., 2012).

Desafios do melhoramento genético da banana

A banana é uma das culturas que menos passou por processos de melhoramento genético devido a características que dificultam sua produção, como longo ciclo de vida, triploidia e frutos partenocárpico, e, portanto, sua produção se deve, principalmente, as cultivares híbridas domesticadas (Ghag; Ganapathi, 2017). Apesar da importância da cultura, há poucas cultivares disponíveis comercialmente com potencial agrônômico, tolerantes a pragas e doenças. Uma variedade melhorada pode acarretar o aumento de produtividade, menor custo de produção, menor utilização de defensivos agrícolas, aumentando a renda do produtor (Silva et al., 2013).

Em 1976 se teve início um programa de melhoramento da bananeira comandado pela Embrapa, envolvendo cruzamento de triploides ou tetraploides com diploides selvagens ou melhorados, duplicação de cromossomos de diploides superiores e indução de mutação. Este programa de melhoramento deu origem as seguintes cultivares híbridas: BRS Caprichosa, BRS Garantida, BRS Japira, BRS Pacovan Ken, BRS Preciosa, BRS Princesa, BRS Tropical, BRS Vitória, BRS Pioneira e BRS Platina (Silva et al., 2013). Porém, a cultura ainda é muito afetada por fatores bióticos e abióticos.

A banana é uma cultura de região tropical muito exigente em água, portanto, as mudanças climáticas, levando ao aumento da temperatura, ocasionam maior demanda por água, levando a cultura ao déficit hídrico e à maior propensão ao ataque de determinados patógenos (Ghag; Ganapathi, 2017). De modo geral, a banana é afetada negativamente por uma série de fatores bióticos e abióticos, e torna-se extremamente importante o desenvolvimento de estratégias para a produção de variedades de banana capazes de adaptarem as mudanças de clima e a menor disponibilidade de água (Ntui et al., 2020).

A maioria das bananas com genoma AAA são suscetíveis à seca, enquanto as variedades com genoma AAB e ABB são tolerantes. Outras culturas, como o milho, já passaram por processos e melhoramentos que conferiram à tolerância a seca, que podem fornecer informações para o desenvolvimento de novas variedades de bananas tolerantes à seca, utilizando os métodos de engenharia genética (Vanhove et al., 2012; Shou et al., 2004).

Segundo dados de 2015 das Nações Unidas, prevê-se que em 2050 a população humana atinja algo em torno de 9,8 bilhões de habitantes, diante disso, as pesquisas enfatizam a enorme necessidade de melhorar a produção de culturas básicas para alimentar o mundo, e não apenas a produção de grãos e cereais. Portanto, diante da crescente necessidade de alimentos no mundo é necessário o investimento em programas de melhoramento nas culturas básicas, como a banana, a qual ainda é muito prejudicada por fatores bióticos e abióticos (Ntui et al., 2020).

A biotecnologia no melhoramento da banana

Diversas técnicas biotecnológicas são aplicadas a fim de melhorar o manuseio e as propriedades de germoplasma de banana. A cultura de tecidos é utilizada para a troca de germoplasmas, conservação e rápida multiplicação, enquanto a germinação de sementes *in vitro* apresenta um papel crítico na geração de plantas híbridas (Arvanitoyannis et al., 2008). Os mesmos autores apontam que as técnicas de embriogênese somática em banana surgiram com o objetivo de desenvolver novas técnicas de micropropagação de alto desempenho e sistemas de regeneração celular úteis para transformação genética e melhoria de cultivares, além de estarem associadas à indução de mutação.

A micropropagação *in vitro* da banana vem sendo realizada a muito tempo e torna-se melhor desenvolvida a cada ano com o estabelecimento de protocolos para propagação da banana em larga escala. Porém, uma grande problemática enfrentada pela micropropagação é a natureza recalcitrante de algumas cultivares de banana. Frente a essa dificuldade, pesquisadores reuniram esforços em métodos de regeneração de tecidos de bananas de diferentes cultivares, o que também se demonstrou inadequado devido ao problema de quimeras, trazendo como alternativa, a cultura de células embrionárias, onde uma única célula é capaz de dar origem a uma plântula. No entanto, este método também apresenta limitações, a começar pela obtenção das células embrionárias (Ghag; Ganapathi, 2017).

A obtenção das células embrionárias é o ponto de partida na transformação genética da banana, porém, sua geração pode ser trabalhosa e irá variar de acordo com a cultivar. Porém, células embrionárias

de diversas cultivares de banana tem sido desenvolvidas utilizando o sistema mediado por *Agrobacterium* em CRISPR/Cas9, permitindo a regeneração de plantas completas (Tripathi et al., 2019; Naim et al., 2018; Tripathi et al., 2015).

A edição de genoma tem se demonstrado uma ferramenta de engenharia genética em diversas culturas. O método CRISPR/Cas9 é uma dessas ferramentas que tem por objetivo induzir mutações direcionadas no genoma, produzindo variedades melhoradas, e nos últimos tempos tem sido utilizada em culturas propagadas assexuadamente, como a banana. Um dos principais problemas que acometem as plantas importantes na agricultura são as presenças de patógenos e pragas. Estima-se que 20 a 40% das perdas na produção de alimentos no mundo esteja relacionada aos ataques de pragas e doenças. A cultura da banana é uma espécie muito acometida por patógenos e muito produzida mundialmente, e aliado a isso, há a necessidade constante do aumento de produção de alimentos a nível global e fim de atender a crescente população humana (Ntui et al., 2020).

Diante disso, existe a necessidade de aumentar a produtividade de culturas básicas, atendendo os níveis de segurança alimentar, e aliado a isso, o melhoramento genético da bananeira apresenta grande potencial a fim de contribuir para a necessidade alimentar da população ao redor do mundo, como o desenvolvimento de variedades de bananas resistentes a doenças (Tripathi et al., 2019).

No entanto, o desenvolvimento de bananas resistentes a doenças enfrenta dificuldades, como a poliploidia, longo ciclo de produção, esterilidade e baixa viabilidade genética, dificultando a produção de híbridos. Visto esta dificuldade, a biotecnologia, como a modificação genética e a edição de genoma, traz novas perspectivas para a produção de bananas resistentes a doenças, oferecendo métodos econômicos (Tripathi et al., 2019; Dale et al., 2017).

As bananas cultivadas são propagadas através de métodos clonais, e tais métodos tornam as bananas mais suscetíveis as doenças (Dash; Rai, 2016). A bananeira pode ser acometida por uma grande variedade de doenças e pragas, alguns principais exemplos estão listados na Tabela 1, sendo o mal do Panamá responsável por grandes devastações de plantações de banana nas décadas passadas (Tripathi et al., 2019; Dale et al., 2017; Dash; Rai, 2016; Silva et al., 2013).

Graças as técnicas de melhoramento genético, já se tem cultivares híbridas resistentes a doenças importantes para a cultura da banana, como o mal do Panamá e sigatoka negra (Dash; Rai, 2016). Outro fator alvo dos programas de melhoramento genético tem sido o desenvolvimento de cultivares anãs e semi-anãs devido às vantagens agronômicas que estas plantas apresentam em relação as demais (Chen et al., 2016).

As bananas cultivadas comercialmente são plantas de grande porte, atingindo até 2 metros de altura, o que as tornam mais vulneráveis as ações de vento forte, podendo inclusive, levar a queda do pseudo-caule, o que acarreta perdas econômicas significativas aos produtores. Visto isso, a idealização de cultivares anãs se tornou um objetivo de programas de melhoramento genético por apresentarem vantagens de cultivo e manejo (Chen et al., 2016).

Tabela 1. Exemplos de doenças que acometem a cultura da banana.

	Doença	Patógeno
Fungo	Murcha da bananeira	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>musacearum</i>
	Sigatoka negra	<i>Pseudocercospora fijiensis</i>
	Sigatoka amarela	<i>Mycosphaerella musicola</i>
	Mal do Panamá	<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>cubense</i>
	Broca do rizoma	<i>Cosmopolites sordidus</i>
Bactéria	Moko da bananeira	<i>Ralstonia solanacearum</i> (raça 2)
Vírus	Virose	Banana Streak Virus (BSV)
	Virose	Cucumber Mosaic Virus (CMV)

Fonte: Tripathi et al. (2019); Dale et al. (2017); Silva et al. (2013).

Fisiologicamente, o nanismo de plantas cultivadas está associada à redução da concentração do ácido giberélico biodisponível na planta. Atualmente já se tem conhecimento de uma variedade de arroz semi-anã produzido a partir da mutação do gene *SDL*, gene envolvido na biossíntese de GA na planta, o que serviu de subsídio para estudos voltados para a identificação do gene associado ao nanismo em bananeiras (Chen et al., 2016).

Estudos já realizados mostram o desenvolvimento de um mutante da variedade de banana ‘Williams’, onde foi possível obter uma planta de banana com altura reduzida, por volta de 1,70 m, com pseudo-caule mais resistente, e ainda foi possível identificar que cerca de 36 genes estão envolvidos no metabolismo de giberelina (GA) na banana, com sítio de produção de GA concentrado em bananas jovens. Portanto, a identificação de tais genes auxilia em futuras aplicações de técnicas moleculares como a CRISPR/Cas9, no desenvolvimento de bananas anãs (Chen et al., 2016; Cong et al., 2013).

O método CRISPR/CAS9 no melhoramento da banana

A edição de genoma usando nucleases específicas é um método eficaz na engenharia genética que tem apresentado avanços, como o método CRISPR/Cas9 (Conjunto de Repetições Palindrômicas Regularmente Espaçadas/Associado a proteína Cas9), uma ferramenta promissora na promoção de mutações direcionadas em locais específicos do genoma. Este método tem ganhado espaço devido sua eficiência, onde as nucleases irão responder de maneira específica ao alvo, induzindo a quebra das fitas duplas na sequência do gene, com auxílio de um RNA guia, seguido por seu reparo direcionado, criando mutações desejáveis, seja por deleções ou por inserção de DNA no genoma (Ntui et al., 2020; Kim; Kim, 2019).

A banana resistente a doenças gerada pela técnica de edição de genoma CRISPR/Cas9 é também considerada uma modificação genética por envolver a entrega de genes marcadores por *Agrobacterium*. Devido a isso, tem-se gerado esforços aplicar a técnica em demais culturas propagadas assexuadamente, como a banana, a fim de entregar os genes de interesse diretamente nas células da planta (Tripathi et al., 2019; 2020).

O vírus da banana (Banana Streak Virus - (BSV) é um vírus patogênico que afeta a produção de bananas, identificado pela primeira vez na África Ocidental em 1958, sendo atualmente relatado em todos os países produtores de banana. Sua sequência se integra ao genoma B da banana (AAB), derivado da espécie *M. balbiana*, passando a se chamar BSV endógeno (eBSV), o que se tornou uma grande problemática devido ao fato de que diversos subgrupos de bananas são a fonte básica de alimentação na África, incluindo a banana com genoma AAB (Tripathi et al., 2019).

Portanto, o vírus BSV se tornou um grande problema para os programas de melhoramento genético de bananas devido a restrição do uso de parentais contendo o genoma B (*M. balbiana*) e demais derivados portadores do mesmo genoma B devido ao risco de ativação do eBSV infeccioso. A partir desta problemática, esforços científicos foram tomados a fim de combater o eBSV latente no genoma B da banana (Tripathi et al., 2019).

O vírus BSV epissomal, diferente dos demais vírus, não se deve a transmissão natural, mas sim pela ativação do eBSV em condições de estresse, como propagação *in vitro*, hibridação, condições ambientais desfavoráveis, estresse hídrico, entre outros, o que levou os pesquisadores a investirem pesquisas em tornar o genoma B da banana livre das sequências ativáveis de eBSV (Caruana et al., 2010).

Estudos recentes apontam que a técnica de edição de genoma por CRISPR/Cas9 foi aplicada para inativar a integração endógena do vírus da banana (eBSV), ao genoma B (AAB), o que significa um grande avanço na criação de híbridos, dando origem a variedade ‘Gonja Manjaya’, onde foram integradas ao genoma do hospedeiro sequências de eBSV com mutações, gerando mutações direcionadas e inativando a capacidade do vírus em se tornar infeccioso. Os resultados obtidos neste estudo apontam novos caminhos para a edição de germoplasmas de banana com genoma B, onde os programas de melhoramento poderão investir em híbridos com o genoma B livre da infecção de eBSV (Tripathi et al., 2019).

Atualmente também já vem sendo desenvolvidos estudos a fim de aumentar os teores de determinados compostos bioativos em frutos de banana utilizando a ferramenta de edição de genoma CRISPR/Cas9. Como já citado anteriormente, a banana é uma das bases alimentares em muitos países, principalmente africanos, portanto, o aprimoramento de suas propriedades nutricionais é considerado um viés importante (Kaur et al., 2020).

O β -caroteno é um carotenoide presente nos frutos de banana, no entanto, as cultivares comerciais do grupo Cavendish tendem a apresentar baixo teor deste composto em sua polpa. Em estudos, pesquisadores projetaram um RNA guia específico para a cultivar de banana ‘Grand Naine’ e

modificaram um vetor de genoma específico para gerar uma mutação precisa na sequência do gene GN-LCY ϵ (licopeno Y-ciclase \rightarrow enzima alvo no genoma da cultivar ‘Grand Naine’) a fim de aprimorar o conteúdo de β -caroteno na polpa da banana (Kaur et al., 2020).

Os resultados da pesquisa apontaram que o CRISPR/Cas9 pode ser uma ferramenta eficiente nesta vertente, pois foi possível verificar o aumento do β -caroteno na polpa das bananas com genoma editado, porém, outros fatores sofreram diminuição, como os teores de clorofila. No entanto, não deixa de ser um passo importante para o desenvolvimento de uma banana enriquecida com β -caroteno através da edição de genoma por CRISPR/Cas9 (Kaur et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A banana é uma fruta muito importante ao redor do mundo, excelente fonte energética e nutricional, no entanto, grande alvo de ataques de pragas e doenças. As variedades de bananas comerciais apresentam diversas dificuldades frente aos programas de melhoramento genético convencional por se tratar de uma cultura triploide, paternocárpica e estéril.

Os maiores desafios na cultura da banana é, até então, o desenvolvimento de novos híbridos resistentes à um maior número de doenças e estresses abióticos através de técnicas de edição de genoma. No entanto, as pesquisas já apresentaram grandes avanços quanto aos mecanismos moleculares envolvidos no nanismo, juntamente com a ação da GA neste aspecto, bem como quanto a utilização do CRISPR/Cas9 no desenvolvimento de variedades resistentes a doenças, como no caso do vírus BSV, e potencialmente enriquecidas com β -caroteno, futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Qurashi, A. D., & Awad, M. A. (2015). Postharvest chitosan treatment affects quality, antioxidant capacity, antioxidant compounds and enzymes activities of ‘El-Bayadi’ table grapes after storage. *Scientia Horticulturae*, 197, 392-398. doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.060
- Amorim, E. P., Santos-Serejo, J. A., Amorim, V. B. O., & Silva, S. O. (2015). Melhoramento genético. In: Ferreira, C. F., Silva, S. O., Amorim, E. P., & Santos-Serejo, J. A. (Ed.). *O agronegócio da banana*. Brasília, DF: Embrapa, cap. 6, p. 171-200.
- Arvanitoyannis, I. S., Mavromatis, A. G., Grammatikaki-Avgel, G., & Sakellariou, M. (2008). Banana: cultivars, biotechnological approaches and genetic transformation. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1871-1879. doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01766.x
- Caruana, M. L. I., Baurens, F. C., Gayral, P., & Chabannes, M. (2010). A four-partner plant–virus interaction: enemies can also come from within. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 23, 1394-1402. doi.org/10.1094/MPMI-05-10-0107

- Chen, J., Xie, J., Duan, Y., Hu, H., & Li, W. (2016). Genome-wide identification and expression profiling reveal tissue-specific expression and differentially-regulated genes involved in gibberellin metabolism between Williams banana and its dwarf mutant. *BMC Plant Biology*, 16, 1-18. doi.org/10.1186/s12870-016-0809-1
- Cong, L., Ran, F. A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., Hsu, P. D., Wu, X., Jiang, W., Marraffini, L. A., & Zhang, F. (2013). Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. *Science*, 339, 819-823. doi.org/10.1126/science.1231143
- Dale, J., Paul, J. Y., Dugdale, B., & Harding, R. (2017). Modifying Bananas: From Transgenics to Organics? *Sustainability*, 9, 1-13. doi.org/10.3390/su9030333
- Dantas, J. L. L., Silva, S. O., Soares Filho, W. S., & Carvalho, P. C. L. (2015). Filogenia, história, evolução, distribuição geográfica e habitat. In: Ferreira, C. F., Silva, S. O., Amorim, E. P., Santos-Serejo, J. A. (Ed.). *O agronegócio da banana*. Brasília, DF: Embrapa, cap. 1, p. 15-28.
- Dash, P. K., & Rai, R. (2016). Translating the “banana genome” to delineate stress resistance, dwarfing, parthenocarpy and mechanisms of fruit ripening. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-7. doi.org/10.3389/fpls.2016.01543
- Deng, Z., Jung, J., Simonsen, J., & Zhao, Y. (2017). Cellulose nanomaterials emulsion coatings for controlling physiological activity, modifying surface morphology, and enhancing storability of postharvest bananas (*Musa acuminata*). *Food Chemistry*, 232, 359-368. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.028
- Facundo, H. V. V., Garruti, D. S., Dias, C. T. S., Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (2012). Influence of different banana cultivars on volatile compounds during ripening in cold storage. *Food Research International*, 49, 626-633. doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.013
- Ghag, S. B., & Ganapathi, T. R. (2017). Genetically modified bananas: to mitigate food security concerns. *Scientia Horticulturae*, 214, 91-98. doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.023
- Hakkinen, M. (2013). Reappraisal of sectional taxonomy in *Musa* (Musaceae). *Taxon*, 62, 809-813. doi.org/10.12705/624.3
- Kaur, N., Alok, A., Shivani, Kumar, P., Kaur, N., Awasthi, P., Chaturvedi, S., Pandey, P., Pandey, A., Pandey, A. K., & Tiwari, S. (2020). CRISPR/Cas9 directed editing of lycopene epsilon-cyclase modulates metabolic flux for β -carotene biosynthesis in banana fruit. *Metabolic Engineering*, 59, 76-86. doi.org/10.1016/j.ymben.2020.01.008.
- Kim, J., & Kim, J. Y. (2019). New era of precision plant breeding using genome editing. *Plant Biotechnology Reports*, 13, 419-421. doi.org/10.1007/s11816-019-00581-w
- Naim; F., Dugdale, B., Kleidon, J., Brinin, A., Shand, K., Waterhouse, P., & Dale, J. (2018). Gene editing the phytoene desaturase alleles of Cavendish banana using CRISPR/Cas9. *Transgenic Research*, 27, 451-460. doi.org/10.1007/s11248-018-0083-0

- Ntui, V. O., Tripathi, J. N., & Tripathi, L. (2020). Robust CRISPR/Cas9 mediated genome editing tool for banana and plantain (*Musa* spp.). *Current Plant Biology*, 21, 1-10. doi.org/10.1016/j.cpb.2019.100128
- Puteh, A. B., Aris, E. M., Sinniah, U. R., Rahman, Md. M., Mohamad, R. B., & Abdullah, N. A. P. (2011). Seed anatomy, moisture content and scarification influence on imbibitions in wild banana (*Musa acuminata* Colla) ecotypes. *African Journal of Biotechnology*, 10, 14373-14379. doi.org/10.5897/AJB11.1241
- Qamar, S., & Shaikh, A. (2018). Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.016
- Shepherd, K. Banana: taxonomia e morfologia. (1984). In: Simpósio Brasileiro sobre a Bananicultura, 1., Jaboticabal. Anais. Jaboticabal: FCAVJ/UNESP, p.50-74.
- Shou, H., Bortallo, P., & Wang, K. (2004). Expression of the Nicotiana protein kinase (NPK1) enhanced drought tolerance in transgenic maize. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1013-1019. doi.org/10.1093/jxb/erh129
- Silva, S. O., Amorim, E. P., Santos-Serejo, J. A., Ferreira, C. F., & Rodriguez, M. A. D. (2013). Melhoramento genético da bananeira: estratégias e tecnologias disponíveis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 919-931. doi.org/10.1093/jxb/erh129
- Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa* sp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 1-10. doi.org/10.1016/j.jfca.2010.04.005
- Tripathi, J. N., Ntui, V. O., Ron, M., Muiruri, S. K., Britt, A., & Tripathi, L. (2019). CRISPR/Cas9 editing of endogenous banana streak virus in the B genome of *Musa* spp. overcomes a major challenge in banana breeding. *Communications Biology*, v. 46, 1-11. doi.org/10.1038/s42003-019-0288-7
- Tripathi, L., Ntui, V. O., & Tripathi, J. N. (2019). Application of genetic modification and genome editing for developing climate-smart banana. *Food and Energy Security*, 8, 1-16. doi.org/10.1002/fes3.168 e00168, abr. 2019.
- Tripathi, L., Ntui, V. O., & Tripathi, J. N. (2020). CRISPR/Cas9-based genome editing of banana for disease resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 56, 118–126. doi.org/10.1016/j.cpb.2020.05.003
- Tripathi, J. N., Oduor, R. O., & Tripathi, L. (2015). A High-Throughput Regeneration and Transformation Platform for Production of Genetically Modified Banana. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1-13. doi.org/10.3389/fpls.2015.01025
- Vanhove, A. C., Vermaelen, W., Panis, B., Swennen, R., & Carpentier, S. (2012). Screening the banana biodiversity for drought tolerance: can an in vitro growth model and proteomics be used as a tool

to discover tolerant varieties and understand homeostasis. *Frontiers in Plant Science*, 3, 1-10.
doi.org/10.3389/fpls.2012.00176.

Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 434-445.
doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.002

Índice Remissivo

A

Áreas de Preservação Permanente, 116, 117,
118, 119, 125, 126, 127, 128

C

Cultivares, 83
Custos, 131, 132, 133, 134, 135, 139

D

Degradação ambiental, 115
Dessedentação animal, 64

E

Eucalyptus, 89, 90, 91, 92, 94, 98

M

Mudas, 132, 139, 140
Musa spp, 30

P

Piauí, 79, 80, 82

Q

Qualidade de fruto, 88

S

Saccharum officinarum L., 71
Substratos, 135

V

Viveiro, 142

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 74 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 50 organizações de e-books, 37 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

