



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS II  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
DEPARTAMENTO AGROPECUÁRIA E AGRONOMIA  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA COM ÊNFASE EM  
AGROECOLOGIA**

**THIAGO COSTA FERREIRA**

**RECENTES AVANÇOS NA PESQUISA SOBRE *Fusarium verticillioides* PARA A  
CULTURA DO MILHO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

**LAGOA SECA  
2023**

THIAGO COSTA FERREIRA

**RECENTES AVANÇOS NA PESQUISA SOBRE *Fusarium verticillioides* PARA A CULTURA DO MILHO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado a Coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia com ênfase em Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Tecnologia de Sementes/ Fitopatologia

**Orientador:** Prof. Dr. Francisco Edson Paulo Ferreira.

**LAGOA SECA  
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F383r Ferreira, Thiago Costa.  
Recentes avanços na pesquisa sobre *Fusarium verticillioides* para a cultura do milho [manuscrito] : revisão bibliográfica / Thiago Costa Ferreira. - 2023.  
27 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Francisco Edson Paulo Ferreira, Coordenação do Curso de Agroecologia - CCAA. "

1. Fitopatologia. 2. Sementes. 3. Agronomia. 4. Agricultura.

I. Título

21. ed. CDD 577.55

THIAGO COSTA FERREIRA

**RECENTES AVANÇOS NA PESQUISA SOBRE *Fusarium verticillioides* PARA A CULTURA DO MILHO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado a Coordenação do Curso de Bacharelado em Agronomia com ênfase em Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Área de concentração: Fitopatologia

Apróvada em: 15/09/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Francisco Edson Paulo Ferreira

Prof. Dr. Francisco Edson Paulo Ferreira (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Jéssica Karina da Silva Pachú

Profa. Dra. Jéssica Karina da Silva Pachú  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Pedro Leon Gomes Cairo

Prof. Dr. Pedro Leon Gomes Cairo  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos que lutaram pela implantação do Bacharelado em Agronomia na UEPB, *Campus* II, também a minha família, DEDICO e AGRADEÇO.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
2	METODOLOGIA .....	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
3.1	<i>A cultura do milho</i> .....	9
3.2	Bioecologia de <i>Fusarium verticillioides</i> .....	10
3.3	Micotoxinas, Milho e <i>Fusarium verticillioides</i> .....	11
3.4	Tentativas de controle de <i>Fusarium verticillioides</i> em cultivos de milho .....	13
3.5	Novidades no manejo de <i>Fusarium verticillioides</i> em cultivos de milho .....	16
3.6	Necessidades de trabalhos futuros relacionados com o controle de <i>Fusarium verticillioides</i> em cultivos de milho .....	17
4	CONCLUSÃO .....	17
	REFERÊNCIAS .....	17

# RECENTES AVANÇOS NA PESQUISA SOBRE *Fusarium verticillioides* PARA A CULTURA DO MILHO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Thiago Costa Ferreira<sup>1\*</sup>  
Francisco Edson Paulo Ferreira<sup>2\*\*</sup>

## RESUMO

A cultura do Milho (*Zea mays*) é uma importante fonte de alimentos para a humanidade, contudo muitas são as perdas e problemáticas causadas por *Fusarium verticillioides* (FV). Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo referenciar as novas descobertas em relação ao patossistema de *Fusarium verticillioides* em milho. A preocupação mundial sobre a cultura do Milho e a presença FV versa sobre as substâncias denominadas de fumomisinias produzidas por este fungo que apresentam características carcinogênicas e podem bioacumular em seres vivos. Nesse sentido, esforços tem sido realizados para melhorar a qualidade do manejo da referida cultura agrícola e poder melhorar a qualidade de grãos e sementes. Mesmo assim, ainda são altas as taxas de infecção e de presença de fumomisinias em milho e seus derivados pelo mundo. Mediante estas necessidades, pesquisas com o uso de nanomateriais, mudanças em métodos de cultivo, bioformulações de microrganismos, silenciamento gênico, testes de avaliação da qualidade de grãos e sementes e manejo do microbioma são recomendações para um futuro de pesquisas com FV. A possibilidade de pesquisas mais aprofundadas sobre a temática do referido patossistema pode beneficiar a produção agrícola mundial em termos sustentáveis e, consigo, a possibilidade da melhoria da qualidade nutricional e segurança alimentar da população mundial.

**Palavras-Chave:** Fitossanidade; Micotoxina; Segurança Alimentar.

## ABSTRACT

The corn crop (*Zea mays*) is an important source of food for humanity, but there are many losses and problems caused by *Fusarium verticillioides* (FV). In this sense, this research aims to refer to the new discoveries in relation to the pathosystem of *F. verticillioides* in maize. The world's concern about the corn crop and the presence of FV is about the substances called fumonisins produced by this fungus, which have carcinogenic characteristics and can bioaccumulate in living beings. In this sense, efforts have been made to improve the quality of management of this agricultural crop and to be able to improve the quality of grains and seeds. Even so, the rates of infection and the presence of fumonisins in corn and its derivatives are still high around the world. Therefore, research using nanomaterials, changes in cultivation methods, microorganism bioformulations, gene silencing and microbiome

---

<sup>1\*</sup> Bacharelado em Agronomia, Doutor em Agronomia/ Proteção de Plantas (UNESP), docente no CCAA/UEPB, t.ferreira1@aluno.uepb.br.

<sup>2\*\*</sup> Bacharel em Agronomia, Doutor em Meteorologia (UFCG), docente no CCAA/UEPB, francisco.ferreira@servidor.uepb.br.

management are recommendations for future research. The possibility of more in-depth research on the theme of the aforementioned pathosystem can benefit world agricultural production in sustainable terms and with it the improvement of the nutritional quality and food security of the world population.

**Keywords:** Phitosanitary; Micotoxins; Food Security.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é uma importante fonte de alimentos para a humanidade na atualidade, de maneira direta ou indireta, uma boa parte dos alimentos consumidos pela população mundial apresenta este cereal em sua composição (Ferreira *et al.*, 2021). Para tal, a referida espécie tem sido cultivada em várias partes do mundo, em diferentes tipos de agriculturas e manejo. Por isso, a importância de estudos sobre possibilidade da melhoria da qualidade e da sustentabilidade da produção de milho são necessários para o fomento a resolução de questões de segurança e seguridade alimentares no mundo (Mesterhazy *et al.*, 2022).

Dentre os impercíveis da produção de milho, a condição de patologias promovidas por microorganismos é bastante importante nesta cultura. Dentre estas patologias a presença e ação parasitária de *Fusarium verticillioides* (FV) apresenta uma centralidade na cultura do milho. Tal patossistema tem ação principalmente sobre a produção substâncias que podem causar problemas de saúde em humanos e animais de criação (Sun *et al.*, 2020; Sun, Siao & Huang, 2020). Espécies de *F. verticillioides* apresentam a produção de micotoxinas, substâncias do metabólito secundário responsáveis pela digestão destes seres que são agrupadas como as fumomisininas, causadoras de problemas reprodutivos e carcinogênicos, ainda transmitíveis e bioacumuláveis em animais. Esta problemática está ligada ao consumo de produtos ou subprodutos contaminados com estas substâncias, visualizadas em todo o mundo (Sun, Siao & Huang, 2020).

Nesse intuito para diminuir a efetividade deste patógeno esforços têm sido realizados para melhorar a qualidade do manejo da referida cultura agrícola (Sun *et al.*, 2020; Sun, Siao & Huang, 2020). Na atualidade existem parâmetros de ações em manejo agrônomico que podem ser utilizadas como boas práticas para a cultura do milho que podem atenuar os efeitos da infecção de FV, como por exemplo e manejo ecológico do solo, boas práticas de colheita e o manejo integrado de pragas (Sun *et al.*, 2020). Métodos ligados ao manejo integrado de pragas como controle químicos, alternativos, genéticos e culturais, além de quarentenários e biológicos tem sido empregados pelo mundo para o controle de FV, mas a grande maioria apresentam pouco sucesso dentre as possibilidades de melhoria da cadeia produtiva do milho (Castellari, Valle & Pacin, 2021; Chalivendra *et al.*, 2022).

Recentes pesquisas como o uso de nanomateriais, voláteis orgânicos, variedades resistentes e métodos de manejo tem sido registrados como possíveis processos a serem melhor estudados e para que possíveis tecnologias sejam implementadas na cultura do milho em relação ao manejo de FV (XU *et al.*, 2022) e estas podem ser sumarizadas para melhor servirem de base conceitual no referido processo. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo referenciar as novas descobertas em relação ao manejo do patossistema de *Fusarium verticillioides* em milho.

## **2 METODOLOGIA**

A pesquisa para a produção deste manuscrito foi realizada no início de Agosto de 2023, em meio a Plataforma do *Web of Science*, por meio do diretório Café Capes e pelo acesso do VPN da Universidade Estadual da Paraíba. Nesta pesquisa foram utilizados os caracteres de busca “*Fusarium verticillioides*” e “corn” nos últimos cinco anos. Os textos foram compilados, examinados e reunidas as principais publicações e informações no manuscrito em curso.

Esta pesquisa favoreceu a busca de materiais recentes sobre a temática referida. Para a construção do texto, pode ser utilizada a metodologia proposta de Dantas *et al.* (2023), que possibilita a junção de conhecimentos de maneira segmentada a um recorte temporal, conteúdo e área de trabalho; com a utilização de meios que favoreçam a disseminação de conhecimento para fomentar a base tecnológica de uma determinada área de conhecimento.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 A cultura do Milho**

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente as Poaceae, cultivada e melhorada inicialmente por povos mesoamericanos em períodos remotos. Estes povos representaram o milho como sendo uma base importante de sua alimentação, com a possibilidade de visualização de uma genética diferenciada e adaptada a diferentes cenários sociais e agroecossistemas. Sendo cultivada desde áreas equatoriais até altas latitudes, altitudes e tipos de solo diferenciados (Tahat *et al.*, 2023).

Após a época das grandes navegações, a cultura do milho foi espalhada pelo mundo e se tornou uma importante fonte de alimentos para vários povos. Sendo produzida em diferentes localidades pelo mundo, manejada com genéticas aprimoradas para tais necessidades e a possibilidade de manejos diferenciados pelo mundo afora (Sun *et al.*, 2020; Sun, Siao & Huang, 2020).

Os produtos dessa cultura, principalmente os grãos são transformados em diversos outros produtos usados na alimentação animal e humana, cosméticos e fármacos. Estes produtos são a base da criação de animais para o consumo humano (Mesterhazy *et al.*, 2022). O milho é uma cultura que apresenta variedades de produção, sendo estas as variedades para grãos de consumo, milho para pipoca,

milho doce e conserva. Além da utilização para a produção de biodiesel, acessível a mercados como norteamericano (Terna, Nor & Zakaria, 2020).

A produção mundial de milho em 2022/2023 foi próximo de 1,2 bilhão de toneladas (Dopavogui *et al.*, 2023) e no Brasil, neste mesmo período, a produção foi de 312 milhões de toneladas de grãos (Ribeiro *et al.*, 2023).

O ciclo cultural vai de 90 a 150 dias, dependendo da variedade (Sun *et al.*, 2020); estas composições podem ser manejados em condições de agricultura familiar com a utilização de tecnologias mais simplificadas. Também em termos de agricultura convencional, tendo como proposta da utilização de maquinários, insumos e tecnologias cada vez mais tecnológicas e avançadas e adaptadas as possibilidades de trabalho inerentes aos diferentes locais de plantio (Opoku *et al.*, 2019; Farhan *et al.*, 2020; Castano-Duque *et al.*, 2022).

Tal cultura agrícola apresenta problemáticas de cultivo, dentre elas o aparecimento de doenças causadas por microrganismos (Terna, Nor & Zakaria, 2020). Estas patologias são ligadas ao ambiente e ao manejo cultural que tal área recebe e forma assim o patossistema, em que estes fatores interagem e propiciam o desenvolvimento de doenças (Terna, Nor & Zakaria, 2020; Czarnecka *et al.*, 2021).

Em milho, alguns patógenos podem assumir o papel de produzir diferentes patologias, causando problemas nas sementes, plântulas, plantas em desenvolvimento ou adultas e na época produtiva (Mesterhazy *et al.*, 2022). Dentre os mais importantes patossistemas, o fungo *Fusarium verticillioides* merece uma melhor atenção (Ferreira *et al.*, 2021).

### **3.2 Bioecologia de *Fusarium verticillioides***

A espécie *Fusarium verticillioides* (Sacc) Nirenberg. (1976) [sinônimo: *Fusarium moniliforme* J. Sheld. (1904)] pode ser descrita como um fungo patogênico primário à cultura do milho, causador de patologia que tem como sintomas diferentes modos de ação em épocas difusas do ciclo do milho. Sendo comuns podridões secas em sementes ou grãos e em espigas, também manchas nos colmos e folhas em plantas adultas; além poderem de causar *damping-off*, podridões de raízes e colo em plântulas (Tahat *et al.*, 2023). Este patógeno pode estar presente em algumas gramíneas como milho e sorgo (Ferreira *et al.*, 2021) e várias outras espécies cultivadas, como a banana e o café (Mesterhazy *et al.*, 2022).

A referida espécie é uma representante da Ordem Hypocreales e do Filo Ascomycota (Sun *et al.*, 2020; Sun, Siao & Huang, 2020). Seu estágio anamorfo é representado pela espécie *Gibberella moniliformis* (Wineland), fazendo parte então do grupo *Giberella complex* (Mesterhazy *et al.*, 2022).

Seus micélios que podem apresentar colorações diferentes, de esbranquiçadas até avermelhadas, dependendo do grupo genético do isolado e podem apresentar a formação de macroconídeos de forma falcada com a presença de células-pé alongada, cerca de 43,8 x 2,8 µm com 4 septos. Seus microconídeos formam aglomerados, são unicelulares; existe a produção de clamidospóros nesta espécie (Ferreira *et al.*, 2021).

Em relação ao seu ciclo biológico, este patógeno pode ser visualizado como complexo em suas possibilidades de sobrevivência, parasitismo e disseminação, podendo ser referenciado com as seguintes informações:

- 1) o início do processo de infecção pode estar relacionado com a presença externa ou interna deste fungo nos tecidos de sementes, estas podem contrair este patógeno em seus momentos de produção, beneficiamento ou no solo de plantio (Sun *et al.*, 2020; Sun, Siao & Huang, 2020);
- 2) Plântulas de milho podem estar sendo alvo deste patógeno e podem transmitir para as plântulas vizinhas na área de plantio (Terna, Nor & Zakaria, 2020);
- 3) Este patógeno pode sobreviver como endofítico em plantas de milho e não causar nenhuma dano ou causar em determinada época do ciclo de acordo com as condições ambientais, genética e manejo que o cultivo de milho esteja sujeito (Ferreira *et al.*, 2021);
- 4) Na formação das espigas, este patógeno pode colonizar os tecidos desta e ainda causar a podridão da espiga, grãos ou sementes. Tal fator pode ser um ponto de disseminação deste patógeno para outras áreas de plantio ou veiculação para os organismos que venham a consumir os grãos (Albertino *et al.*, 2021);
- 5) A palhada pode ser usado por tal patógeno como um fator importante de sobrevivência no solo de plantio, com a possibilidade de sobrevivência como saprófito sem a presença de espécimes de milho (Czarnecka *et al.*, 2021);
- 6) Tratos culturais podem fatores de veiculação e disseminação deste patógeno em áreas de cultivo, na colheita e no beneficiamento de grãos e sementes (Terna, Nor & Zakaria, 2020).

Unindo estes pontos elencados anteriormente, é possível a formação do entendimento que o ciclo deste patógeno pode ser alimentado ou iniciado em qualquer ponto apresentado, perfazendo assim um problemática para além da tecnologia usada na agricultura contemporânea (Terna, Nor & Zakaria, 2020; Czarnecka *et al.*, 2021), com uma importância maior aos efeitos causados pela ingestão e bioacumulação de micotoxinas produzidas por este patógeno (Alberts *et al.*, 2021).

### **3.3 Micotoxinas, Milho e *Fusarium verticillioides***

As micotoxinas são produtos metabólitos secundários fungicos que são usadas para a digestão extracelular do substrato que estão fixados, afim de promover a degradação do substrato para sua assimilação de nutrientes e sua nutrição (Alberts *et al.* 2021). Tratando da espécie *F. verticillioides*, a produção de micotoxinas, melhor falando as fumomisininas, pode ser mais revelante no sentido a produzir as mais relevantes e tóxicas moléculas do grupo B (FB1, FB2, FB3), causadoras de problemas nos seres que consomem produtos ou subprodutos contaminados com estas substâncias (Opoku *et al.*, 2019; Farhan *et al.*, 2020; Castano-Duque *et al.*, 2022).

A produção destas substâncias está referenciada em meio ao *3 loci*, detentores de denominação FUM1, responsável pela hidroxilação dos C-10 e C-05 na cadeias carbônicas destas substâncias, alguns isolados não produzem estas

substâncias (Beccari *et al.*, 2020; Farhan *et al.*, 2020). As fumomisininas apresentam características carcinogênicas e podem bioacumular em seres vivos, principalmente por meio da cadeia alimentar e da contínua utilização de grãos com a presença destas substâncias (Castano-Duque *et al.*, 2022).

Tais fumomisininas apresentam grupo N-acetil amida (Grupo A) e amina (Grupo B) no C-2 e o grupo C não apresenta no C-1 o grupamento metil (Beccari *et al.*, 2020; Castano-Duque *et al.*, 2022). Estas substâncias são compostos voláteis, solúveis em água e alto peso molecular (Farhan *et al.*, 2020). As fumomisininas B1 são mais encontradas em espécimes de *F. verticillioides* e podem causar a biossíntese de esfingolipídeos, moléculas que causam o rompimento celular e a desordem na proliferação e a diferenciação celular (Castano-Duque *et al.*, 2022; Mesterhazy *et al.*, 2022). As fumomisininas podem vir a causar problemas em humanos como abortos, mal formações, problemas digestivos e hepáticos, sendo também acentuados seus efeitos em meio a comorbidades (Dopavogui *et al.*, 2023). Também existe o problema das interações entre *F. verticillioides* e outros fungos produtores de micotoxinas em milho como espécies de *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, aos quais os efeitos se somam e ainda bioacumulam em conjunto no corpo de animais (Castellari, Valle & Pacin, 2021; Chalivendra *et al.*, 2022).

A visualização da presença destas substâncias em meio a produtos do milho tem sido relatada por todo o mundo (Albertino *et al.*, 2021). Por exemplo, os casos de presença em milhos cultivados no verão chinês (Dong *et al.*, 2023) e em amostras de produtos provenientes Amazônia Brasileira (Rosa *et al.*, 2022), no Peru (Ducos *et al.*, 2021), na Espanha (Garcia-Diaz *et al.*, 2020), Argentina (Castanares *et al.*, 2019) e no Paquistão (IQBAL *et al.*, 2020), estas localidades amostradas foram descritas por conta dos diferentes tipos de uso que o milho produzido nesta localidades apresenta (Mesterhazy *et al.*, 2022).

Tal condição é acionada principalmente pelo consumo humano de milho presente basicamente na cultura de países latinoamericanos, africanos e asiáticos (Albertino *et al.*, 2021). Além disto, como resíduos da produção de psicultura (Li *et al.*, 2023) e animais terrestres de criação (Garcia-Diaz *et al.*, 2020; Rosa *et al.*, 2022), além de suas rações concentradas e volumosas (Castano-Duque *et al.*, 2022; Mesterhazy *et al.*, 2022).

A detecção da presença deste patógeno em sementes e grãos foi por muito tempo relativa a observação da qualidade destas por meio de análise microscópica ou por *Blotter Test* (Brasil, 2013). Com os avanços da tecnologia de diagnose de patógenos, foi possível a análise de por meio dos estágios vegetativos e sintomas nas plantas (Souza *et al.*, 2022); visualização por meio de HPLC (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) em que colunas de C-18 podem detectar fumomisininas B1 e B2 (Sultan, Magan & Medina, 2022) que pode ser um fator útil para a visualização da qualidade de lotes de sementes ou grãos; também a utilização de MALDI-TOF MS fingerprinting (Wigmann *et al.*, 2019), a visualização por meio de exoenzimas em eletroforese (Kecskemeti *et al.*, 2020). Também, por meio de testes rápida visualização (Leggieri *et al.*, 2021). Omori *et al.* (2019), Ocampo *et al.* (2021)

e Ocampo-Acuna et al. (2023) são manuscritos que dissertam sobre técnicas específicas e modernas de detecção destas substâncias em milho.

Estas moléculas também são as responsáveis pela ação parasitária em vegetais, causando as desordens fisiológicas denominadas de doenças, referidas anteriormente (Ferreira et al., 2021; Mesterhazy et al., 2022; Tahat et al., 2023). A possibilidade de visualização de diferentes técnicas de manejo e cenários produtivos da cultura do milho pelo mundo podem ser visualizadas nos escritos de Gao (2020), Pfrodt et al. (2020), Xu et al. (2022), Achimon et al. (2023) e Marycz et al. (2023).

A ação parasitária de FV em plantas de milho tem sido visualizada como um processo de multiplas entradas, pois se inicia com a infecção deste fungo nos espécimes de milho (Dong et al., 2023). Podendo ocorrer nas sementes, plântulas, plantas jovens ou adultas, na consiçõo de infecção e endofitismo, sem sintomas ou sinais da doença, ou não (Souza et al., 2022). Sendo um patógeno que pode assumir caracter secundário frente a outras condiçõo ambientais e qualidades de manejo (Sultan, Magan & Medina, 2022).

Eis o grande problema desse patossistema: a possibilidade de passar despercebido em todo o processo produtivo e não ser identificado, tampouco controlado, de maneira que em meio ao processo de produção esteja comprometendo as sementes ou grãos no final do ciclo (Castano-Duque et al., 2022; Mesterhazy et al., 2022). Também, até mesmo estar presente nestes e nem se quer ser visualizado por meio da utilização de testes visuais (Leggieri et al., 2021). A possibilidade de controle se encaixa neste processo com o papel importante na prevenção dos efeitos de FV, via a condiçõo de diminuição da efetividade de populações deste fungo nos agroecossistemas (Dopavogui et al., 2023).

### **3.4 Manejo de controle de *Fusarium verticillioides* em cultivos de milho**

A difícil tarefa de controle de FV em plantios de milho tem sido descrita em meio as revisões de Xu et al. (2022) e de Pfrodt et al. (2020), estes disseratam sobre os pontos importantes em relação a difernetes tentativas de manejo que pondem ser (re) organizados para melhor fazer os cultivos de milho mais resistentes ao efeitos do parasitismo de populações de FV. Segundo os mesmos autores, podem ser enumerados os seguintes pontos a ser avaliados e trabalhados no ciclo produtivo:

- 1) utilização de variedades que sejam resistentes as mudanças climáticas;
- 2) melhorar a questão de inimigos naturais para o controle de insetos-praga desfolhadores e brocas da espiga por serem passíveis de veicular os patógenos para o interior dos espécimes;
- 3) a rotação de culturas, a condução em palhadas que nao sejam de gramíneas, o aporte de material orgânicos podem ser utilizados para diminuir a quantidade de inoculo no solo ou a sua ação;
- 4) a aplicação de defensivos, na dose e periodos recomendados, como forma de proteção dos cultivos, tendo como base os calendários de produção;

- 5) controle de ervas daninhas que podem ser hospedeiros de FV ;
- 6) arranjos de fertilização e de irrigação que sejam condizentes com a necessidade cultural.

Ainda de acordo com XU e colaboradores (2022), tratando de colheita e pós-colheita temos:

- 1) colheitas com o uso de maquinário ajustado para a atividade sem causar maiores danos as sementes ou grãos, sanitizado no sentido ao ser usado em outra área de produção não transmitir este fungo;
- 2) condução sem maiores danos as espigas após a colheita, com regulagens de temperatura e umidade;
- 3) secagem eficiente no campo e no armazém, com a proposta de utilização de calendário agrícola que facilite este processo, bem como a adoção de boas práticas que viabilizem a diminuição da efetividade deste patossistema;
- 4) tratamento de sementes de maneira correta, preferencialmente em meio a plantas industriais com controle de qualidade, uso de produtos eficaz e eficientes contra FV;
- 5) possibilidade do tratamento da atmosfera com Ozônio para grãos (Ribeiro et al., 2022).

Em relação ao controle químico no Brasil, no mês de Julho de 2023, segundo o Agrofit (MAPA, 2023) existem dez diferentes produtos recomendados para o controle deste patógeno. Estes tem diferentes formulações, nas quais podem ser encontrados, em solteiro ou consórcio, os seguintes fungicidas Tiofanato Metílico (Precursor de Benzimidazois), Piraclostrobina (Estrobirulina), Difenconazol (Triazol), Pidifumetofen (Carboxamida) e Fipronil (Triazol). Um produto formulado a base de *Bacillus amyloliquefaciens* BV03 é recomendado para controle deste patógeno. Alguns destes produtos tem destino ao tratamento de sementes.

Maiores informações sobre a utilização, constituição e qualidade destes grupos de defensivos podem ser visualizados em meio aos textos de Controle químico e biológicos contidos no Manual de Fitopatologia (Kimati et al., 2018).

As técnicas descritas têm sido utilizadas por muitos agricultores pelo mundo, mesmo assim os índices de prevalência de FV em grãos e sementes ainda são altos (Wigmann et al., 2019; Kecskemeti et al., 2020; Leggieri et al., 2021; Sultan, Magan & Medina, 2022).

### **3.5 Novas propostas no manejo de *Fusarium verticillioides* em cultivos de milho**

As novidades de pesquisas agrícolas em meio ao processo de desenvolvimento de tecnologias de controle de FV tem sido descritas em alguns textos, maiores informações podem ser visualizadas nos artigos de Deepa, Achar e Sreenivasa (2021), Xu et al. (2022) e de Pfrodt et al. (2020). A seguir serão reunidas outras informações recentes sobre a referida temática.

Gao et al. (2020) descrevem a importância de maiores pesquisas com o uso de pirrocidina, uma substância capaz de desligar a biossíntese de fumonisinas em

FV, como sendo um importante ponto a ser melhor discutido e esclarecido em suas possibilidades.

Isolados inéditos em publicações, pertencentes aos gêneros *Bacillus* spp. (Ferreira *et al.*, 2021; Karuppiah *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2021), *Pseudomonas*, *Enterobacter* e *Microbacterium oleivorans* (Omotayo & Babalola, 2023) tem sido recomendados para o controle de FV em condições experimentais (Elnahal *et al.*, 2022).

A utilização de Bacilomicina D-C16 pode ser útil para a inibição de FV (Lin *et al.*, 2022). Fontes de Carbono orgânico presentes em materiais biológicos como açúcares ou lignina, poderiam ser uma saída importante para o fomento de populações microbianas que podem melhorar a resistência e controlar de maneira direta o FV (Achimon *et al.*, 2023; Marycz *et al.*, 2023; Ghazala *et al.*, 2023; Alli & Dania, 2023).

Também importante, a regulação gênica da produção de fumomisininas, bem como o silenciamento gênico e a possibilidade de implantação massal desses isolados como forma de preencher o nicho e fornecer genética não produtora de fumomisininas a populações de FV também tem sido descritas como promissoras. Uma vez que o controle desta espécie tem sido difícil, também a disseminação pelo mundo, este poderia, segundo a literatura referenciada, como sendo uma importante fonte de pesquisas (Wang *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2023).

Nanopartículas que possam sequestrar as fumomisininas, acionar determinadas funções de resistência ou controlar de maneira direta isolados de FV podem ser estudados pela sua facilidade de atingir alvos bioquímicos e biológicos diminutos (El-Ganainy *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2023).

Acrescentando a estes processos, Lorenzo *et al.* (2020) descrevem que o uso de N<sub>2</sub> em atmosfera controlada por ser benéfico no controle de FV em cereais com cerca de 98,5%±0,5 deste gás por três dias, diminuindo insetos-praga de armazenamento e a prevalência de FV.

A densidade de plantas, por sua vez, em uma área de cultivo com minho de 55,000 plants ha<sup>-1</sup> têm sido referida como sendo capaz de diminuir a prevalência de FV e a contaminação dos grãos com a utilização de híbridos (grupo 700 - ZP 735 e NS Zenit) na Servia (Krnjaja *et al.*, 2019).

A combinação de Isotiocianato de alila e cinamaldeído na dose de 0,038 mM e 0,061 mM respectivamente, na condução de grãos em armazenamento (Evangelista *et al.*, 2021). Ainda sobre o armazenamento, os cuidados com a umidade (<15%) e temperatura (<10°C) são ainda bem recomendados (Dinolfo *et al.*, 2022); também a secagem dos grãos e sementes (Mortazavi, Mohtadinia & Kazemi, 2019).

Neste processo podem ser acionadas ações de controle alternativo, que seria capaz de diminuir a eficiência de FV pelo uso de óleo essencial de alho em grãos (Bocate, Evangelista, & Luciano, 2021; Calvimonte *et al.*, 2023) que poderiam diminuir a presença de FV e de insetos-praga de armazenamento.

Ainda sobre a perspectiva do controle químico, segundo Capo *et al.* (2020), deve haver uma rotação de fungicidas sintéticos a fim de não favorecer a

resistência de determinadas populações de FV. Também He *et al.* (2023) descrevem a funcionabilidade de mefentrifluconazole, uma nova molécula contra FV.

Em relação ao biocontrole, Gomma e colaboradores (2021) dissertam sobre a detecção de espécies de *Fusarium*, *Aspergillus*, *Nigrospora*, *Macrophomina* and *Penicillium sp.* que produzem ácido salicílico, induzindo a resistência de sementes de milho e controlando assim populações de *Aspergillus niger* e *Fusarium verticillioides*, sem causar patologias nestas populações. Mesma configuração descrita por Reis *et al.* (2020), Ridout, Godfrey e Newcombe (2019) e Bennett *et al.* (2023) com o uso de isolados de FV não produtores de fumomisinina como sendo possível de ocupar o nicho em sementes e controlar FV produtor de fumomisininas, também em sementes (Ortega-Beltran *et al.*, 2021).

A utilização de antagonistas como *Trichoderma asperellum* (Cuervo-Parra *et al.*, 2022; Karuppiah *et al.*, 2021), *Bacillus* spp. (Ferreira *et al.*, 2021; Karuppiah *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2021), microbioma indígena (Mirsam *et al.*, 2021; Mita *et al.*, 2022), bactérias produtoras de ácido láctico (Nazareth *et al.* 2020; Torrijos *et al.* 2022), organismos endófitos as plantas (Pal *et al.*, 2022). Em relação as perspectivas de biocontrole o manuscrito de Deepa, Achar e Sreenivasa (2021) reúne boas informações sobre os avanços sobre estes.

### **3.6 Sugestões de trabalhos futuros relacionados com o controle de *Fusarium verticillioides* em cultivos de milho**

A proposta de melhoria e continuidade nas pesquisas sobre métodos de controle de FV tem sido baseada nos escritos de Gao (2020), Pfrodt *et al.* (2020), Xu *et al.* (2022), Achimon *et al.* (2023) e Marycz *et al.* (2023). Nestes, existem pontos que podem ser melhorados ou ainda carecem pesquisas em meio ao referido tema, a seguir serão ligados e discutidos alguns pontos a serem melhorados e discutidos em várias frentes de trabalho:

- 1) A busca sobre substâncias orgânicas ou sintéticas que possam neutralizar a produção ou as moléculas de fumomisininas, como a pirridominina descrita por Gao *et al.* (2020), ou moléculas pouco usuais como voláteis orgânicos, substâncias antibióticas (Achimon *et al.*, 2023; Marycz *et al.*, 2023; Ghazala *et al.*, 2023; Alli & Dania, 2023) e substâncias de indução de resistência (Evangelista *et al.*, 2021);
- 2) A formulação de produtos a base de isolados microbianos que sejam eficazes no controle de FV em diferentes tipos de condições ambientais e de manejo (Ferreira *et al.*, 2021; Karuppiah *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2021; Elnahal *et al.*, 2022; Omotayo & Babalola, 2023);
- 3) O silenciamento gênico de populações de FV com o uso de pares genéticos não produtores de fumomisininas e a produção de variedades de milho resistentes a FV (Wang *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2023).
- 4) Nanopartículas que possam sequestrar as fumomisininas, acionar determinadas funções de resistência ou controlar de maneira direta isolados de FV podem ser estudados pela sua facilidade de atingir alvos bioquímicos e biológicos diminutos (El-Ganainy *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2023).

- 5) Condições de uso em conjunto sobre atmosfera controlada, temperatura, secagem e umidade em relação ao manejo de armazenagem (Mortazavi, Mohtadinia & Kazemi, 2019; Dinolfo *et al.*, 2022).
- 6) A densidade de plantas, configurações de uso de palhada e meios de sucessão de cultivos para supressão de FV (Krnjaja *et al.*, 2019).
- 7) Utilização de materiais de fácil acesso na forma de extratos ou similares (Bocate, Evangelista & Luciano, 2021; Calvimonte *et al.*, 2023);
- 8) Moléculas sintéticas mais sustentáveis (Capo *et al.*, 2020; He *et al.* 2023);
- 9) Controle com o uso de microbioma eficiente (Ortega-Beltran *et al.*, 2021);
- 10) Testes eficientes e acessíveis a nível de produtor rural para a detecção da presença de micotoxinas e de FV (Ortega-Beltran *et al.*, 2021).

A possibilidade de maiores discussões sobre a temática desta pesquisa também pode ser melhor compreendida, em relação as condições farmacológicas de visualização de fumomisininas e causas patológicas em humanos nos manuscrito de Kim *et al.* (2023) e Zanon *et al.* (2023).

#### 4 CONCLUSÃO

A produção de milho é uma importante fonte de alimentos para a humanidade no momento atual, a possibilidade de melhorias na qualidade do manejo tendo em vista uma busca de sustentabilidade a cadeia produtiva pode ser uma importante tomada de decisão para esta cultura.

Neste sentido, a possibilidade de organização de pesquisas e ações de manejo mais condizentes com a possibilidade de manejo podem ser objetivo de estudo científico e disseminação de conhecimentos sobre ações em fitossanidade, por exemplo.

Para tal, a propista de melhorias de manejo em relação a interação entre os cultivos do milho, *Fusarium verticillioides* e seu patossistema tem sido importante por conta dos altos níveis de fumomisinina, tendo em vista a sua condição cosmopolita. Mesmo assim, ainda são altas as taxas de infecção e de presença de fumomisininas em milho e seus derivados pelo mundo. Mediante esta necessidades, pesquisas com o uso de nanomateriais, mudanças em métodos de cultivo, bioformulações de microrganismos, silenciamento gênico, testes de avaliação da qualidade de grãos e sementes e manejo do microbioma são recomendações para um futuro de pesquisas.

Neste sentido existem processo operacionais já construídos que podem minimizar estes efeitos e muitos destes são utilizados por agricultores pelo mundo. Porém, mesmo assim, na literatura pode ser encontrado descrito que tais fatores não tem sido suficientes para diminuir os efeitos deste patógeno, demonstrando assim a necessidade de pesquisas relacionadas a esta temática.

#### REFERÊNCIAS

Achimón, F. *et al.* Effect of carbon sources on the production of volatile organic compounds by *Fusarium verticillioides*. *Journal of Fungi*, v. 8, n. 2, p. 158, 2022.

Akyüz, G. *et al.* Use of silver nanoparticles loaded locust bean gum coatings to extend the shelf-life of fruits. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, v. 13, n. 3, 2023.

Albertino, L. G. *et al.* Clinical findings of equine leukoencephalomalacia. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, v. 41, p. 7, 2021.

Alberts, J. *et al.* Rural Subsistence Maize Farming in South Africa: Risk Assessment and Intervention models for Reduction of Exposure to Fumonisin Mycotoxins. *Toxins*, v. 11, n. 6, p. 20, Jun 2019.

Alli, I.E.; Dania, V.O. Bioactivity of volatile organic compounds associated with *Euphorbia hirta* L. essential oil against fungi causing fruit rot disease of pawpaw (*Carica papaya* L.). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, v. 56, n. 7, p. 529-546, 2023.

Angeli, C. *et al.* Preparation of 3-O-, 5-O- and N-palmitoyl derivatives of fumonisin B-1 toxin and their characterisation with NMR and LC-HRMS methods. *Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, v. 39, n. 10, p. 1759-1771, Oct 2022.

Araujo, S. H. D. *et al.* Efficiency of inoculation methods for genotypes selection in corn ear rot disease studies. *Revista De Ciencias Agrícolas*, v. 39, n. 2, p. 160-173, Jul-Dec 2022.

Arias-Martin, M. *et al.* Role of *Sesamia nonagrioides* and *Ostrinia nubilalis* as Vectors of *Fusarium* spp. and Contribution of Corn Borer-Resistant Bt Maize to Mycotoxin Reduction. *Toxins*, v. 13, n. 11, p. 16, Nov 2021.

Baldwin, T. *et al.* Deletion of the benzoxazinoid detoxification gene NAT1 in *Fusarium graminearum* reduces deoxynivalenol in spring wheat. *Plos One*, v. 14, n. 7, p. 14, Jul 2019.

Beccari, G. *et al.* *In Vitro* Fumonisin Biosynthesis and Genetic Structure of *Fusarium verticillioides* Strains from Five Mediterranean Countries. *Microorganisms*, v. 8, n. 2, p. 17, Feb 2020.

Bennett, J. S. *et al.* Identification of naturally occurring atoxigenic strains of *Fusarium verticillioides* and their potential as biocontrol agents of mycotoxins and ear rot pathogens of maize. *Crop Protection*, v. 167, p. 9, May 2023.

Calvimonte, H. *et al.* Allylic and Non-allylic Alcohols Against the Maize Weevil (*Sitophilus zeamais*): A Promising Tool for its Control. *Agricultural Research*, v. 12, n. 1, p. 94-103, Mar 2023.

Capo, L. *et al.* Role of the Fungicide Seed Dressing in Controlling Seed-Borne *Fusarium* spp. Infection and in Enhancing the Early Development and Grain Yield of Maize. **Agronomy-Basel**, v. 10, n. 6, p. 18, Jun 2020.

Castanares, E. *et al.* *Fusarium* species and mycotoxin contamination in maize in Buenos Aires province, Argentina. **European Journal of Plant Pathology**, v. 155, n. 4, p. 1265-1275, Dec 2019.

Castano-Duque, L. *et al.* Gradient boosting and bayesian network machine learning models predict aflatoxin and fumonisin contamination of maize in Illinois - First USA case study. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 14, Nov 2022.

Castellari, C. C.; Valle, F. J. M.; Pacin, A. M. INTERACTIONS BETWEEN *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *Aspergillus flavus* Link AND *Talaromyces funiculosus* Thom IN HERMETIC ENVIRONMENTS. **Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences**, v. 37, n. 1, p. 11-20, 2021.

Chalivendra, S. *et al.* Low Aflatoxin Levels in *Aspergillus flavus*-Resistant Maize Are Correlated With Increased Corn Earworm Damage and Enhanced Seed Fumonisin. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 11, Sep 2020.

Craven, M. *et al.* Effect of northern corn leaf blight severity on *Fusarium* ear rot incidence of maize. **South African Journal of Science**, v. 116, n. 11-12, p. 67-77, Nov-Dec 2020.

Csenki, Z. *et al.* Interaction of Fumonisin B1, N-Palmitoyl-Fumonisin B1, 5-O-Palmitoyl-Fumonisin B1, and Fumonisin B4 Mycotoxins with Human Serum Albumin and Their Toxic Impacts on Zebrafish Embryos. **Biomolecules**, v. 13, n. 5, p. 17, Apr 2023.

Cuervo-Parra, J. A. *et al.* *Trichoderma Asperellum* strains as potential biological control agents against *Fusarium verticillioides* and *Ustilago maydis* in maize. **Biocontrol Science and Technology**, v. 32, n. 5, p. 624-647, May 2022.

Czarnecka, D. *et al.* The Occurrence of Fungal Diseases in Maize in Organic Farming Versus an Integrated Management System. **Agronomy-Basel**, v. 12, n. 3, p. 17, Mar 2022.

Deepa, N.; Achar, P. N.; Sreenivasa, M. Y. Current Perspectives of Biocontrol Agents for Management of *Fusarium verticillioides* and Its Fumonisin in Cereals-A Review. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 9, p. 20, Sep 2021.

Dinolfo, M. I. *et al.* *Fusarium* in maize during harvest and storage: a review of species involved, mycotoxins, and management strategies to reduce contamination. **European Journal of Plant Pathology**, v. 164, n. 2, p. 151-166, Oct 2022.

Dong, S. Y. *et al.* Genetic variability and pathogenicity of *Fusarium verticillioides* isolates from the summer-sown maize regions in China. **Plant Pathology**, v. 72, n. 3, p. 582-592, Apr 2023.

Dopavogui, L. *et al.* Obesity promotes fumonisin B1 hepatotoxicity. **Science of the Total Environment**, v. 891, p. 15, Sep 2023.

Ducos, C. *et al.* Natural Occurrence of Mycotoxin-Producing Fusaria in Market-Bought Peruvian Cereals: A Food Safety Threat for Andean Populations. **Toxins**, v. 13, n. 2, p. 15, Feb 2021.

El-Ganainy, S.M. *et al.* Lignin-Loaded Carbon Nanoparticles as a Promising Control Agent against *Fusarium verticillioides* in Maize: Physiological and Biochemical Analyses. **Polymers**, v. 15, n. 5, p. 1193, 2023.

Elnahal, A. S.M. *et al.* The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. **European Journal of Plant Pathology**, v. 162, n. 4, p. 759-792, 2022.

Evangelista, A. G. *et al.* Combination of allyl isothiocyanate and cinnamaldehyde against the growth of mycotoxigenic fungi and aflatoxin production in corn. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 9, p. 8, Sep 2021.

Fallahi, M. *et al.* Isolation, Molecular Identification and Mycotoxin Profile of Fusarium Species Isolated from Maize Kernels in Iran. **Toxins**, v. 11, n. 5, p. 13, May 2019.

Farhan, Y. *et al.* The Effect of Simulated Lepidopteran Ear Feeding Injury on Mycotoxin Accumulation in Grain Corn (Poales: Poaceae). **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 5, p. 2187-2196, Oct 2020.

Ferreira, T.C. *et al.* Potential of *Bacillus* spp. for growth promotion and *Fusarium verticillioides* control in corn. **Summa Phytopathologica**, v.47, n.4, p.195-203, 2021.

Ferrigo, D. *et al.* Effects of a prothioconazole- and tebuconazole-based fungicide on *Aspergillus flavus* development under laboratory and field conditions. **European Journal of Plant Pathology**, v. 155, n. 1, p. 151-161, Sep 2019.

Gao, M. L. *et al.* Pyrrocidine, a molecular off-switch for fumonisin biosynthesis. **Plos Pathogens**, v. 16, n. 7, p. 28, Jul 2020.

Garcia-Diaz, M. *et al.* A Comprehensive Study on the Occurrence of Mycotoxins and Their Producing Fungi during the Maize Production Cycle in Spain. **Microorganisms**, v. 8, n. 1, p. 15, Jan 2020.

Ghazala, I. *et al.* Volatile organic compounds from *Bacillus mojavensis* I4 promote plant growth and inhibit phytopathogens. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 121, p. 101887, 2022.

Giomi, G. M. *et al.* Map overlapping of QTL for resistance to Fusarium ear rot and associated traits in maize. **Euphytica**, v. 217, n. 5, p. 10, May 2021.

Gomaa, F. H. Detection of maize seed-borne fungi and induce resistance against both of *Aspergillus niger* and *Fusarium verticillioides*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 54, n. 19-20, p. 2051-2066, Dec 2021.

Gomes, A. A. M. *et al.* Sexual reproduction parameters in *Fusarium verticillioides* populations from maize in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 156, n. 1, p. 317-323, Jan 2020.

Gromadzka, K. *et al.* Occurrence of Mycotoxigenic *Fusarium* Species and Competitive Fungi on Preharvest Maize Ear Rot in Poland. **Toxins**, v. 11, n. 4, p. 10, Apr 2019.

Guilherme, E. O. *et al.* Jenipapo, *Genipa americana* L., essential oil and *Curvularia lunata* control: Potential mode-of-action; plant immune responses and selectivity against beneficial non-target organisms. **Industrial Crops and Products**, v. 199, p. 12, Sep 2023.

Guimaraes, R. A. *et al.* Integrating a chemical fungicide and *Bacillus subtilis* B10UFLA2 ensures leaf protection and reduces ear rot (*Fusarium verticillioides*) and fumonisin content in maize. **Journal of Phytopathology**, v. 169, n. 3, p. 139-148, Mar 2021.

Guo, Z. Q. *et al.* *In vitro* inhibitory effect of the bacterium *Serratia marcescens* on *Fusarium proliferatum* growth and fumonisins production. **Biological Control**, v. 143, p. 9, Apr 2020.

He, D. *et al.* Antifungal activities of a novel triazole fungicide, mefentrifluconazole, against the major maize pathogen *Fusarium verticillioides*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 192, p. 10, May 2023.

Iqbal, S. Z. *et al.* Assessment of Fumonisin B-1 Concentrations in Wheat and Barley Products in the Punjab Region of Pakistan. **Journal of Food Protection**, v. 83, n. 8, p. 1284-1288, Aug 2020.

Jablonska, E. *et al.* Molecular diversity of the *Fusarium fujikuroi* species complex from maize. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, n. 4, p. 859-877, Dec 2020.

Jacquat, A. G. *et al.* A Survey of Mycoviral Infection in *Fusarium* spp. Isolated from Maize and Sorghum in Argentina Identifies the First Mycovirus from *Fusarium verticillioides*. **Viruses-Basel**, v. 12, n. 10, p. 22, Oct 2020.

Karupiah, V. *et al.* Co-culture of Vel1-overexpressed *Trichoderma asperellum* and *Bacillus amyloliquefaciens*: An eco-friendly strategy to hydrolyze the lignocellulose biomass in soil to enrich the soil fertility, plant growth and disease resistance. **Microbial Cell Factories**, v. 20, n. 1, p. 14, Mar 2021.

Kecskemeti, A. *et al.* Analysis of fumonisin mycotoxins with capillary electrophoresis - mass spectrometry. **Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment**, v. 37, n. 9, p. 1553-1563, Sep 2020.

Kim, Y. *et al.* Rapid Detection of Single-and Co-Contaminant Aflatoxins and Fumonisin in Ground Maize Using Hyperspectral Imaging Techniques. **Toxins**, v. 15, n. 7, p. 472, 2023.

Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, L.E.A.; Rezende, J.A.M. **Manual de Fitopatologia : Doenças das Plantas Cultivadas**. Vol. 5., Ceres : São Paulo, 2018. 774 p.

Krnjaja, V. *et al.* Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. **Crop Protection**, v. 116, p. 126-131, Feb 2019.

Leggieri, M. C. *et al.* An electronic nose supported by an artificial neural network for the rapid detection of aflatoxin B-1 and fumonisin in maize. **Food Control**, v. 123, p. 8, May 2021.

Li, L. N. *et al.* The Relationship Analysis on Corn Stalk Rot and Ear Rot According to *Fusarium* Species and Fumonisin Contamination in Kernels. **Toxins**, v. 11, n. 6, p. 15, Jun 2019.

Li, Q. C. *et al.* Asian Corn Borer (*Ostrinia furnacalis*) Infestation Increases *Fusarium verticillioides* Infection and Fumonisin Contamination in Maize and Reduces the Yield. **Plant Disease**, v. 107, n. 5, p. 1557-1564, May 2023.

Lin, F. *et al.* Bacillomycin D-C16 inhibits growth of *Fusarium verticillioides* and production of fumonisin B1 in maize kernels. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 181, p. 105015, 2022.

Lin, M. *et al.* *Fusarium verticillioides* Pex7/20 mediates peroxisomal PTS2 pathway import, pathogenicity, and fumonisin B1 biosynthesis. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 106, n. 19-20, p. 6595-6609, 2022.

Links, S. *et al.* The association of maize characteristics with resistance to *Fusarium verticillioides* and fumonisin accumulation in commercial maize cultivars. **World Mycotoxin Journal**, v. 13, n. 3, p. 367-379, 2020.

Lorenzo, M. *et al.* N-2 controlled atmosphere reduces postharvest mycotoxins risk and pests attack on cereal grains. **Phytoparasitica**, v. 48, n. 4, p. 555-565, Sep 2020.

Lumsangkul, C. *et al.* Developmental Toxicity of Mycotoxin Fumonisin B-1 in Animal Embryogenesis: An Overview. **Toxins**, v. 11, n. 2, p. 12, Feb 2019.

Ma, P. P. *et al.* Genetic variation in ZmWAX2 confers maize resistance to *Fusarium verticillioides*. **Plant Biotechnology Journal**, p. 15, 2023 Jun 2023.

Mardetko, N. *et al.* Screening of Lignocellulolytic Enzyme Activities in Fungal Species and Sequential Solid-State and Submerged Cultivation for the Production of Enzyme Cocktails. **Polymers**, v. 13, n. 21, p. 16, Nov 2021.

Marycz, M. *et al.* Fungal co-culture improves the biodegradation of hydrophobic VOCs gas mixtures in conventional biofilters and biotrickling filters. **Chemosphere**, v. 313, p. 137609, 2023.

Medeiros, J. C. *et al.* A multivariate approach to the physical and physiological quality of hybrid corn seeds affected by Molicutes and MRFV. **Euphytica**, v. 217, n. 5, p. 20, May 2021.

Mesterhazy, A. *et al.* . Mycotoxin contamination of maize (*Zea mays* L.) samples in Hungary, 2012-2017. **Cereal Research Communications**, v. 50, n. 4, p. 1065-1073, Dec 2022.

Mesterhazy, A. *et al.* . Updating the Methodology of Identifying Maize Hybrids Resistant to Ear Rot Pathogens and Their Toxins-Artificial Inoculation Tests for Kernel Resistance to *Fusarium graminearum*, *F. verticillioides*, and *Aspergillus flavus*. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 3, p. 31, Mar 2022.

Mesterhazy, A. *et al.* Novel Insights into the Inheritance of Gibberella Ear Rot (GER), Deoxynivalenol (DON) Accumulation, and DON Production. **Toxins**, v. 14, n. 9, p. 27, Sep 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (MAPA). BRASIL. **AGROFIT. 2023**. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/agrofit>> e acesso em 28 de Julho de 2023.

Mita, M. M. *et al.* Potential Native Bacilli Reduce Fumonisin Contamination in Maize. **Agronomy-Basel**, v. 12, n. 11, p. 15, Nov 2022.

Mirsam, H. *et al.* Indigenous fungi from corn as a potential plant growth promoter and its role in *Fusarium verticillioides* suppression on corn. **Heliyon**, v. 7, n. 9, p. 12, Aug 2021.

Mortazavi, S.; Mohtadinia, J.; Kazemi, A. Assessment of different drying methods and application of some chemical compounds in prevention of corn contamination by Fumonisin. **Progress in Nutrition**, v. 21, p. 478-483, Apr 2019.

Nazareth, T. D. *et al.* Potential Application of Lactic Acid Bacteria to Reduce Aflatoxin B-1 and Fumonisin B-1 Occurrence on Corn Kernels and Corn Ears. **Toxins**, v. 12, n. 1, p. 16, Jan 2020.

Nemadodzi, E. A. *et al.* Maize fungal root pathogens as affected by fertilisation and rotation with legumes. **Crop Protection**, v. 165, p. 10, Mar 2023.

Ocampo, E. T. M. *et al.* A Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) Assay for Fumonisin Gene Detection in Corn Fusarium Ear Rot. **Philippine Journal of Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 59, Aug 2021.

Ocampo-Acuna, Y. D. *et al.* Comprehensive review of liquid chromatography methods for fumonisin determination, a 2006-2022 update. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 6, p. 37, Jun 2023.

Omori, A. M. *et al.* Development of Indirect Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay to Detect *Fusarium verticillioides* in Poultry Feed Samples. **Toxins**, v. 11, n. 1, p. 13, Jan 2019.

Omotayo, O.P.; Babalola, O.O.. *Fusarium verticillioides* of maize plant: Potentials of propitious phytomicrobiome as biocontrol agents. **Frontiers in Fungal Biology**, v. 4, p. 1095765, 2023.

Opoku, J. *et al.* Relationship Between Invasive Brown Marmorated Stink Bug (*Halyomorpha halys*) and Fumonisin Contamination of Field Corn in the Mid-Atlantic U.S. **Plant Disease**, v. 103, n. 6, p. 1189-1195, Jun 2019.

Ortega-Beltran, A. *et al.* Does Use of Atoxigenic Biocontrol Products to Mitigate Aflatoxin in Maize Increase Fumonisin Content in Grains? **Plant Disease**, v. 105, n. 8, p. 2196-2201, Aug 2021.

Pal, G. *et al.* Seed inhabiting bacterial endophytes of maize promote seedling establishment and provide protection against fungal disease. **Microbiological Research**, v. 255, p. 11, Feb 2022.

Pfordt, A. *et al.* Impact of Environmental Conditions and Agronomic Practices on the Prevalence of *Fusarium* Species Associated with Ear- and Stalk Rot in Maize. **Pathogens**, v. 9, n. 3, p. 17, Mar 2020.

Rath, M. *et al.* FvSTUA is a Key Regulator of Sporulation, Toxin Synthesis, and Virulence in *Fusarium verticillioides*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 33, n. 7, p. 958-971, Jul 2020.

Reis, T. A. *et al.* A non-toxigenic *Aspergillus flavus* strain prevents the spreading of *Fusarium verticillioides* and fumonisins in maize. **Toxicon**, v. 181, p. 6-8, Jul 2020.

Ribeiro, D. F. *et al.* Ozone as a Fungicidal and Detoxifying Agent to Maize Contaminated with Fumonisin. **Ozone-Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 38-49, Jan 2022.

Ribeiro, L.G. *et al.* Antifungal activity of mycogenic silver nanoparticles on clinical yeasts and phytopathogens. **Antibiotics**, v. 12, n. 1, p. 91, 2023.

Ridout, M. E.; Godfrey, B.; Newcombe, G. Effects of Antagonists on Mycotoxins of Seedborne *Fusarium* spp. in Sweet Corn. **Toxins**, v. 11, n. 8, p. 18, Aug 2019.

Rosa, O. *et al.* Toxicological studies in poultry consuming fumonisin from corn contaminated with Brazilian Amazonian flora. **Revista De Ciencias Agricolas**, v. 39, n. 2, p. 56-68, Jul-Dec 2022.

Rosa, O. F. *et al.* Fumonisin Production by *Fusarium verticillioides* in Maize Genotypes Cultivated in Different Environments. **Toxins**, v. 11, n. 4, p. 16, Apr 2019.

Rudyk, H. *et al.* BONE HOMEOSTASIS IN EXPERIMENTAL FUMONISINS INTOXICATION OF RATS. **Annals of Animal Science**, v. 19, n. 2, p. 403-419, Apr 2019.

Sousa, R. R. *et al.* Detection and transmission of *Fusarium verticillioides* in corn seeds according to the plant stage. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 44, p. 11, 2022.

Sultan, Y.; Magan, N.; Medina, A. Efficacy of Different C-18 HPLC Analytical Columns in the Analysis of Fumonisin B-1 and B-2 in Different Matrices. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, n. 2, p. 1721-1734, Apr 2022.

Sun, L. *et al.* First report of sheath rot of corn caused by *Fusarium verticillioides* in Northeast China. **Journal of Plant Pathology**, v. 102, n. 4, p. 1301-1302, Nov 2020.

Sun, Y. C.; Siao, J. Y.; Huang, C. J. First report of *Fusarium verticillioides* causing damping-off of corn in Taiwan. **Journal of Plant Pathology**, v. 102, n. 1, p. 237-237, Feb 2020.

Suriani *et al.* Control of *Fusarium verticillioides* on corn with a combination of *Bacillus subtilis* TM3 formulation and botanical pesticides. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 12, p. 7000-7005, Dec 2021.

Tahat, M. M. *et al.* First Report of *Fusarium verticillioides* causing Fusarium Ear Rot of Corn in Jordan. **Plant Disease**, v. 107, n. 5, p. 1, May 2023.

Telmer, P. G. *et al.* Application of *Aspergillus niger* Fumonisin Amine Oxidase (AnFAO) to Detoxify Fumonisin-Contaminated Maize. **Toxins**, v. 14, n. 8, p. 12, Aug 2022.

Tembo, E. *et al.* Inheritance of resistance to *Fusarium verticillioides* ear rot in maize inbred lines of southern, West and Central Africa origin. **Crop Science**, v. 62, n. 5, p. 1818-+, Sep 2022.

Terna, T. P.; Nor, N.; Zakaria, L. Histopathology of Corn Plants Infected by Endophytic Fungi. **Biology-Basel**, v. 11, n. 5, p. 24, May 2022.

Torrijos, R. *et al.* Use of Mustard Extracts Fermented by Lactic Acid Bacteria to Mitigate the Production of Fumonisin B-1 and B-2 by *Fusarium verticillioides* in Corn Ears. **Toxins**, v. 14, n. 2, p. 15, Feb 2022.

Tran, M. T. *et al.* Impact of ethnic pre-harvest practices on the occurrence of *Fusarium verticillioides* and fumonisin B-1 in maize fields from Vietnam. **Food Control**, v. 120, p. 11, Feb 2021.

WANG, W. *et al.* Symptoms and pathogens diversity of Corn *Fusarium* sheath rot in Sichuan Province, China. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 10, Feb 2021.

WANG, Y. et al. The autophagy-related proteins FvAtg4 and FvAtg8 are involved in virulence and fumonisin biosynthesis in *Fusarium verticillioides*. **Virulence**, v. 13, n. 1, p. 764-780, 2022.

WIGMANN, E. F. et al. MALDI-TOF MS fingerprinting for identification and differentiation of species within the *Fusarium fujikuroi* species complex. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 13, p. 5323-5337, Jul 2019.

Xu, F. et al. Review of good agricultural practices for smallholder maize farmers to minimise aflatoxin contamination. **World Mycotoxin Journal**, v. 15, n. 2, p. 171-186, 2022.

Yao, L. S. et al. Combined genome-wide association study and transcriptome analysis reveal candidate genes for resistance to *Fusarium* ear rot in maize. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 62, n. 10, p. 1535-1551, Oct 2020.

Zanon, M. S. et al. Aflatoxins and fumonisins in maize under a climate change scenario. Biocontrol strategies at the pre-harvest stage. **European Journal of Plant Pathology**, p. 1-17, 2023.