

Sete Lagoas, MG / Agosto, 2024

Efeito de extratos de farelos de sorgo, ricos em compostos fenólicos, sobre a prevalência de fungos do gênero *Fusarium* em grãos de milho

Valéria Aparecida Vieira Queiroz⁽¹⁾, Alexandre Gonçalves Teles⁽²⁾, Dagma Dionísia da Silva Araújo⁽¹⁾, Luciano Viana Cota⁽¹⁾, Felipe Almeida Silva⁽³⁾, Maria Lúcia Ferreira Simeone⁽¹⁾ e Cícero Beserra de Menezes⁽¹⁾

⁽¹⁾Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil, ⁽²⁾Bolsista CNPq/CNPMS, estudante da Universidade Federal de São João del-Rei/Campus de Sete Lagoas, MG, Brasil, ⁽³⁾Bolsista do Projeto SIMBIOSE/CNPMS/FAPEM, estudante de Ciências Biológicas da UNIFEMM, Sete Lagoas, MG, Brasil.

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG 424, KM 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
www.embrapa.br/milho-e-sorgo
www.embrapa.br/fale-conosco/
sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Maria Marta Pastina

Secretário-executivo

Antônio Carlos de Oliveira

Membros

Cláudia Teixeira Guimarães,

Mônica Matoso Campanha,

Roberto dos Santos Trindade e

Maria Cristina Dias Paes

Edição executiva

Márcio Augusto Pereira do

Nascimento

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro

(CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do

Nascimento

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Resumo – Este estudo teve como objetivo obter extratos de farelos de sorgo, ricos em compostos fenólicos, e avaliar suas atividades antifúngicas em grãos de milho naturalmente contaminados com fungos do gênero *Fusarium*. Foram conduzidos dois ensaios com extratos dos sorgos SC 319 e CMSXS 3019 obtidos com as soluções metanol/água 80/20% (Ensaio 1) e acetona/água 80/20% (Ensaio 2). Foram utilizados os extratos de sorgo integrais (contendo água e os solventes metanol e acetona) ou evaporados (sem os solventes). Água e as soluções extratoras puras foram usadas como controle. Após desinfestação, cem grãos de milho foram imersos em 50 mL de cada solução e distribuídos em quatro caixas tipo gerbox contendo papel de filtro umedecidos com ágar-água e incubadas a 25 °C por 7 dias. Após esse período, os grãos foram examinados, individualmente, e aqueles identificados com colônias de *Fusarium* foram quantificados. Em ambos os ensaios, a prevalência de *Fusarium* foi $\geq 99\%$ nos grãos imersos nas soluções evaporadas (sem metanol ou acetona) e não houve diferença estatística entre esses tratamentos e o controle com água (100%). Já nos grãos imersos nas soluções contendo os solventes, a prevalência desse fungo foi bastante inferior (entre 4 e 16%). Portanto, é possível que os efeitos fungicidas dos extratos, em ambos os ensaios, tenham sido por causa da ação dos solventes metanol e acetona e não dos compostos fenólicos do sorgo. Contudo, sugerem-se mais estudos para confirmar esses resultados, incluindo genótipos de sorgo com diferentes perfis de compostos fenólicos.

Termos para indexação: *Zea mays*, fungicidas naturais, fungos toxigênicos, extratos fenólicos.

Effect of sorghum bran extracts, rich in phenolic compounds, on the prevalence fungi of the genus *Fusarium* in maize grains

Abstract – This study aimed to obtain sorghum bran extracts, rich in phenolic compounds, and evaluate their antifungal activity in maize grains naturally contaminated with fungi of the genus *Fusarium*. Two trials were conducted with sorghum extracts SC 319 and CMSXS 3019 obtained with 80/20% methanol/water solution (Trial 1) and 80/20% acetone/water solution (Trial 2). Whole sorghum extracts (containing water and the solvents methanol and acetone) or evaporated (without the solvents) were used. Water and the pure extracting solutions were used as controls. After disinfection, one hundred maize grains were immersed in 50 mL of each solution and distributed in four gerbox-type boxes containing filter paper moistened with agar-water and incubated at 25 °C for seven days. After this period, the grains were examined, individually, and those identified with *Fusarium* colonies were quantified. In both trials, the prevalence of *Fusarium* was $\geq 99\%$ in grains immersed in evaporated solutions (without methanol or acetone) and there was no statistical difference between these treatments and the control with water (100%). However, in grains immersed in solutions containing solvents, the prevalence of this fungus was much lower (between 4 and 16%). Therefore, it is possible that the fungicidal effects of the extracts, in both trials, were due to the action of the solvents methanol and acetone and not to the phenolic compounds of the sorghum. However, further studies are suggested to confirm these results, including sorghum genotypes with different profiles of phenolic compounds.

Index terms: *Zea mays*, natural fungicides, toxigenic fungi, phenolic extracts.

Introdução

O milho é amplamente cultivado e consumido em todo o mundo. No Brasil, o milho ocupa o segundo lugar no ranking de produção de grãos, superado apenas pela soja (Companhia Nacional de Abastecimento, 2024). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, a estimativa de produção total da safra de 2023/2024 é de 112,75 milhões de toneladas, em uma área de 15,76 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento, 2024).

O milho é uma cultura suscetível ao ataque e ao desenvolvimento de fungos patogênicos causadores de diversas doenças em toda a planta (Magarini et al., 2024). Além disso, a infecção fúngica pode comprometer direta e indiretamente grãos de milho e seus derivados, reduzindo sua qualidade sanitária e física e interferindo na sua classificação comercial (Castro, 2011; Bento et al., 2012; Contini et al., 2019).

Os fungos que mais acometem a cultura e se destacam por serem responsáveis pelas principais doenças em grãos de milho pertencem aos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* (Castro, 2011; Bento et al., 2012; Lanza et al., 2016). Destes, o gênero *Fusarium* é conhecido como um dos mais comuns e importantes patógenos de plantas no mundo e tem recebido grande atenção pela alta incidência e capacidade de produção de micotoxinas, provocando contaminação de alimentos e, assim, comprometendo a segurança alimentar (Pasquali et al., 2016; Magarini et al., 2024). Dentre as principais espécies estão *F. verticillioides* e *F. graminearum*, que são capazes de produzir uma grande variedade de micotoxinas no milho, como fumonisinas e fusarinas (*F. verticillioides*) e desoxinivalenol e zearalenona (*F. graminearum*), que podem causar danos à saúde humana e animal (Lanza et al., 2016; Pasquali et al., 2016) além de redução de produtividade de milho, por causa dos danos na qualidade dos grãos (Kuhnem Júnior et al., 2013).

Atualmente, a utilização de fungicidas químicos é a principal forma de controle de fungos na cultura do milho. Entretanto, esses produtos provocam efeitos adversos tanto no ambiente quanto na saúde dos seres vivos. Além disso, estudos recentes têm demonstrado que os fungicidas químicos não são tão eficazes no controle de fungos e da síntese de algumas micotoxinas em milho (Lanza et al., 2016; Almeida et al., 2024). Assim, produtos que possuem a mesma ação desses fungicidas sintéticos, mas isentos de seus efeitos nocivos e que sejam eficazes no controle de fungos produtores de micotoxinas, são bastante desejáveis. Nesse sentido, vários compostos naturais produzidos por plantas, a exemplo dos compostos fenólicos, têm sido relatados na literatura como sendo potenciais agentes fungitóxicos, antibacterianos e antiviróticos (Scorzoni et al., 2016).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários naturais biossintetizados nas plantas por meio de vias metabólicas, como pentose fosfato, chiquimato e via fenilpropanoide (Cheynier et al., 2013; Heleno et al., 2015). Esses compostos não apenas ajudam na regulação de vários tipos de

funções fisiológicas nas plantas durante o crescimento e desenvolvimento, mas também estão envolvidos nos mecanismos de defesa das plantas contra condições de estresse tanto abiótico quanto biótico (Chowdhary et al., 2022). A capacidade de sintetizar compostos fenólicos específicos em resposta ao estresse biótico ou abiótico é desenvolvida nas plantas por meio de fenômenos evolutivos adaptativos. Em razão de diferentes desafios ambientais, as plantas desenvolveram diversidade na síntese de vários compostos fenólicos (Caputi et al., 2012).

Entre as plantas que se destacam na síntese de compostos fenólicos está o sorgo (Salazar-López et al., 2018; Przybylska-Balcerek et al., 2019), cereal com algumas vantagens agronômicas sobre outros cereais, como trigo, arroz e milho, por apresentar maior resistência ao estresse hídrico e menor custo de produção (Oliveira et al., 2017). Os compostos fenólicos presentes nos grãos de sorgo têm, entre outras funções, a de auxiliar a planta na defesa contra o ataque de patógenos e de pragas. Awika e Rooney (2004) sugerem que a alta concentração de taninos e outros fenóis em alguns genótipos de sorgo pode contribuir sinergicamente para o seu poder antimicrobiano. Nesse sentido, Kil et al. (2009) relataram efeito antimicrobiano de extratos fenólicos de sorgo, porém Funnell-Harris et al. (2017) não comprovaram efeito antifúngico de extrato do sorgo bmr6.

Diante do exposto, dada a importância da saúde dos grãos de milho tanto para alimentação animal quanto humana, os objetivos do trabalho foram obter extratos a partir de farelos de sorgo dos genótipos SC 319 e CMSXC 3019, ricos em compostos fenólicos, e avaliar a atividade antifúngica desses extratos sobre o gênero *Fusarium* em grãos de milho.

Material e métodos

As avaliações do efeito antifúngico de extratos de farelo de sorgo, ricos em compostos fenólicos, foram realizadas nos Laboratórios de Segurança Alimentar e de Fitopatologia da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Obtenção dos extratos fenólicos de sorgo

Foram utilizados grãos dos genótipos de sorgo SC 319 e CMSXS 3019, pertencentes ao programa de Melhoramento Genético da Embrapa Milho

e Sorgo, selecionados em testes preliminares por conterem teores mais elevados de compostos fenólicos (dados não publicados).

Os grãos foram decorticados em máquina beneficiadora de arroz, e o farelo (pericarpo dos grãos) foi recolhido e levado para o Laboratório de Segurança Alimentar onde foi moído em moinho de bolas (Marca: Retsch, modelo: MM200), obtendo-se uma farinha com granulometria de aproximadamente 10 µm.

Os compostos fenólicos totais foram determinados utilizando o reagente Folin Ciocalteu, de acordo com o método descrito por Singleton et al. (1999), com modificações. Os extratos foram obtidos em soluções metanol/água 80/20% (v/v) e acetona/água 80/20% (v/v). Um grama de farelo de sorgo de cada genótipo foi adicionado a 100 mL das soluções extratoras. As amostras foram levadas para agitação por 2 horas em mesa agitadora (Marca: Nova Ética, modelo: 109) a 200 rpm e posterior centrifugação por 15 min a 2000 x g (RCF). Uma alíquota de 100 µL de cada extrato de sorgo foi retirada e acrescida de 1,1 mL de água deionizada, 0,4 mL de solução de reagente Folin-Ciocalteu e 0,9 mL de solução de etanolamina. A leitura foi realizada a 600 nm em espectrofotômetro UV/VIS (Marca: Instrutherm, modelo: UV 2000A). Ácido gálico foi utilizado como padrão, e os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico (GAE) / grama de amostra em base seca.

Delineamento experimental

Foram conduzidos dois ensaios utilizando-se extratos de farelo de sorgo dos genótipos SC 319 e CMSXS 3019 obtidos com as soluções metanol/água 80/20% (Ensaio 1 – MET) e acetona/água 80/20% (Ensaio 2 – ACE), tanto na forma integral (INT – contendo água e os solventes metanol ou acetona) quanto evaporada (EVA – sem os solventes), totalizando seis tratamentos em cada ensaio.

A evaporação dos solventes foi realizada no rotaevaporador (marca IKA, RV 10 basic), em capela de exaustão de gases. Aproximadamente 900 mL dos extratos foram levados para secagem a 50 °C até redução de 80% do seu volume inicial, ou seja, quando todo o solvente orgânico havia sido evaporado, restando apenas a água e os compostos extraídos.

No Ensaio 1, foram utilizados água destilada e metanol/água 80/20% como controle e no Ensaio 2, água destilada e acetona/água 80/20%. Um total de oito tratamentos (seis experimentais e dois controles) foi utilizado em cada ensaio.

Os dados foram avaliados por ANOVA, e as médias foram comparadas por teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2003).

Avaliação do efeito fungicida dos extratos de farelo de sorgo, ricos em compostos fenólicos, sobre o gênero *Fusarium* em grãos de milho

Para determinar o efeito fungicida dos extratos sobre o gênero *Fusarium*, utilizou-se o método de incubação em substrato de papel-filtro com congelamento, denominado "blotter test" (Lanza et al., 2016). Grãos de milho foram previamente desinfestados em 50 mL de solução de hipoclorito de sódio 2% por 5 minutos e, em seguida, lavados três vezes em água destilada. Após essa etapa, os grãos foram imersos em 50 mL das soluções e levados para agitação em mesa agitadora (marca Nova Ética, modelo 109) a 120 rpm por 60 minutos. Em seguida, a solução foi descartada e os grãos foram ligeiramente secos em papel filtro.

Em câmara estéril, para cada tratamento, 100 grãos de milho desinfestados foram distribuídos em quatro caixas de acrílico tipo gerbox (25 grãos/caixa, quatro repetições/tratamento), contendo três folhas de papel-filtro umedecidas com ágar-água 5% e esterilizadas a 121 °C, por 30 min. Um total de 24 caixas por ensaio foi mantido em temperatura ambiente, sob luz contínua durante 24 horas, para estimular a germinação. Posteriormente, as caixas contendo os grãos foram transferidas para freezer a -20 °C, por 24 horas, para inibir a germinação e evitar a contaminação entre os grãos. Após essa etapa, as caixas foram retiradas e distribuídas, aleatoriamente, em câmara de incubação tipo BOD a 25 °C e mantidas por sete dias sob regime alternado de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, para estimular o crescimento dos fungos. Ao final desse período, os grãos foram examinados individualmente, e aqueles apresentando colônias características de *Fusarium* (micélio cotonoso de coloração branca a rósea) foram identificados e quantificados.

Resultados e discussão

Os extratos dos farelos dos genótipos de sorgo SC 319 e CMSXS 3019 apresentaram teor de compostos fenólicos, respectivamente, de 62,44 e 59,75 mg de ácido gálico (AG)/g em acetona 80/20% e de 52,23 e 48,91 mg em metanol 80/20%, comprovando que

esses materiais são ricos nesses compostos e, portanto, adequados para testar a hipótese do presente trabalho. Esses resultados foram bastante superiores ao encontrado por Queiroz et al. (2022) no farelo de sorgo de pericarpo branco sem taninos TX635 / TX436 (5,4 mg AG/g), e próximos ao do farelo de sorgo TX3362 (53,0 mg de AG/g), de pericarpo preto com taninos e considerado com altos teores de compostos fenólicos.

Os resultados do efeito fungicida dos extratos sobre o gênero *Fusarium* encontram-se na Tabela 1. Observa-se que, tanto para o Ensaio 1 (extração dos fenólicos com metanol/água 80/20%) quanto para o Ensaio 2 (extração com acetona/água 80/20%), para os dois genótipos, a prevalência de *Fusarium* foi acima de 99% nos tratamentos cujas soluções foram evaporadas (sem os solventes metanol ou acetona) e não houve diferença estatística desses tratamentos com o controle água (100%). Por outro lado, nos tratamentos cujos grãos foram imersos nas soluções integrais (contendo os solventes), a prevalência desse gênero foi bastante inferior (entre 4 e 16%). No caso do Ensaio 1, os tratamentos contendo as soluções extratoras integrais (INT) não diferiram do controle metanol (MET), porém, no Ensaio 2, foi observada diferença estatística entre os tratamentos INT e o controle acetona (ACE). Entretanto, em ambos os ensaios ficou evidenciada diferença entre o grupo contendo os tratamentos com grãos incubados com água ou com os solventes evaporados (EVA) e o grupo incubado com as soluções extratoras puras (metanol ou acetona) ou sem evaporação dos solventes (INT).

Tabela 1. Prevalência de grãos de milho contaminados com *Fusarium*.

		Metanol			
		Tratamento	Fusarium positivo* (%)	Fusarium + outros fungos* (%)	
Ensaio 1 Metanol 80/20% (v,v)	Controle Água		25 a 100	6,75 b 27	
	SC 319 MET EVA		24,8 a 99	10,5 a 42	
	CMSXS 3019 MET EVA		24,8 a 99	9,5 a 38	
	Controle MET		1,25 b 5	0,25 c 1	
	SC 319 MET INT		1 b 4	0,75 c 3	
	CMSXS 3019 MET INT		3 b 12	1,5 c 6	
		Acetona			
		Tratamento	Fusarium positivo* (%)	Fusarium + outros fungos* (%)	
Ensaio 2 Acetona 80/20% (v,v)	Controle Água		24,8 a 99	6,25 a 25	
	SC 319 ACE EVA		24,8 a 99	7 a 28	
	CMSXS 3019 ACE EVA		25 a 100	2,25 b 9	
	Controle ACE		8 b 32	0,5 b 2	
	SC 319 ACE INT		3 c 12	1 b 4	
	CMSXS 3019 ACE INT		4 c 16	1,5 b 6	

SC 319 e CMSXS 3019: genótipos de sorgo utilizados; INT: extratos integrais (com os solventes metanol ou acetona); EVA: extratos evaporados (sem os solventes).

*Média de quatro repetições contendo 25 grãos de milho em cada. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de significância.

Diante dos resultados obtidos, é provável que os efeitos fungicidas, em ambos os ensaios, tenham sido devidos aos solventes metanol e acetona, já que os extratos de sorgo sem esses solventes (evaporados) não foram capazes de inibir o crescimento de *Fusarium*.

No Ensaio 1, observa-se também que os extratos obtidos dos genótipos SC 319 e CMSXS 3019 evaporados exibiram um percentual, respectivamente, de 42 e 38% de crescimento de outros fungos além do *Fusarium*, valores acima do controle com água (27%), mostrando que esses extratos apresentaram um efeito promotor em vez de inibidor do crescimento deles. Já no Ensaio 2, não houve diferença significativa entre o tratamento CMSXS 3019 EVA e aqueles contendo as soluções integrais (INT) e o controle acetona, mostrando um possível efeito inibitório desse sobre os demais fungos. Assim, sugerem-se mais pesquisas com esse extrato sobre outros gêneros e espécies de fungos para comprovar esse efeito.

Kil et al. (2009) avaliaram o efeito antimicrobiano de quatro cultivares de sorgo, extraído com metanol e posteriormente fracionado com n-hexano, acetato de etila, n-butanol e água. O extrato metanólico da cultivar Bulkeunchalsusu exibiu o mais alto nível de atividade antimicrobiana contra todas as bactérias testadas (*Bacillus subtilis*, *S. aureus*, *E. coli*, *Salmonella typhimurium* e *K. pneumoniae*), entretanto, nenhuma das cultivares apresentou atividade antifúngica ou anticandidal. Esse resultado corrobora os achados do presente trabalho em relação ao efeito fungicida de extratos de sorgo.

Funnell-Harris et al. (2017) observaram que *F. thapsinum*, cultivado em meio com extrato de sorgo (bmr6), apresentou crescimento significativamente mais rápido que o controle e o meio adicionado de açúcar. Este resultado também corrobora os obtidos no presente trabalho, em que houve maior crescimento de fungos, além do *Fusarium*, nos grãos tratados com soluções contendo os extratos dos farelos dos genótipos de sorgo SC 319 e CMSXS 3019

(Ensaio 1) em comparação com o controle tratado com água.

Awika e Rooney (2004) sugeriram que a atividade antimicrobiana do sorgo pode ser devida à presença de taninos e outros fenóis que podem contribuir sinergicamente para o seu poder antimicrobiano. Nesse contexto, Funnell-Harris et al. (2017) avaliaram o efeito dos ácidos ferúlico, vanílico, sinápico, siríngico e cafeico (compostos fenólicos) extraídos do sorgo, no crescimento de algumas espécies de *Fusarium* in vitro, e observaram que o *F. thapsinum* foi tolerante a esses compostos. Contudo, os autores observaram inibição de *F. verticillioides*, *F. proliferatum* e *M. phaseolina*, mesmo na menor concentração de ácido ferúlico (0,5 mM). Assim, concluíram que o ácido ferúlico poderia inibir diversos fungos e ser utilizado na resistência de plantas a patógenos fúngicos. Recentemente, Schöneberg et al. (2018) também observaram que as concentrações crescentes de ácido ferúlico inibiram substancialmente o crescimento de *Fusarium graminearum*, *F. langsethiae* e *F. poae*. Em contraste, o ácido p-hidroxibenzoico, o ácido vanílico, a quercetina e a rutina estimularam ligeiramente o crescimento do micélio. Os autores concluíram que o efeito de extratos fenólicos no crescimento de micélio fúngico é dependente do tipo e da concentração de ácido fenólico e de flavonoides presentes no extrato, bem como da espécie de *Fusarium*.

Gauthier et al. (2016) relatam que compostos fenólicos isolados de fontes naturais têm propriedades antifúngicas valiosas, mas sua eficácia como agente antifúngico é frequentemente dependente do tipo de cepas fúngicas. Paul et al. (2011), Dzhavakhiya et al. (2012) e Bomfim et al. (2015) sugerem que a combinação de compostos naturais com outros ácidos fenólicos ou com óleos essenciais ou com fungicidas convencionais pode ser uma possível estratégia para melhorar a bioatividade destes compostos, resultando no aumento da atividade antifúngica.

Embora os genótipos SC 319 e CMSXS 3019, utilizados no presente trabalho, contenham altos níveis de taninos, estes genótipos podem ter baixo teor de ácido ferúlico ou outros compostos fenólicos que contenham ação antifúngica, como demonstrado por Funnell-Harris et al. (2017). Assim, sugere-se a realização de novos trabalhos com genótipos de sorgo que contenham distintos perfis de fenólicos para elucidar qual composto possui maior ação fungicida sobre diferentes espécies de fungos.

Conclusão

Não foi evidenciado efeito fungicida dos extratos dos farelos de grãos de sorgo dos genótipos SC 319 e CMSXS 3019, ricos em compostos fenólicos, visto que os grãos de milho imersos nesses extratos, na forma evaporada, mostraram quase 100% de contaminação com *Fusarium*, enquanto nos grãos imersos nas soluções contendo metanol ou acetona a prevalência desse fungo foi inferior a 16%. Portanto, o efeito sobre os fungos, observado nos extratos integrais, foi, provavelmente, decorrente da ação dos solventes utilizados nas extrações.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa e à Fapemig, pelo apoio financeiro.

Referências

- ALMEIDA, J. J. de; BONALDO, S. M.; MÁRIO, J. L.; PIRIS, A.; BARRETO, R. R. Chemical and genetic control of *Stenocarpella* sp. and *Fusarium* sp. in maize. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, e3740, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n3-108>.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemical and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.001>.
- BENTO, L. F.; CANEPPELE, M. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; KOBAYASTI, L.; CANEPPELE, C.; ANDRADE, P. J. Ocorrência de fungos e aflatoxinas em grãos de milho. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 1, p. 44-49, 2012.
- BOMFIM, N. da S.; NAKASSUGI, L. P.; OLIVEIRA, J. F. P.; KOHIYAMA, C. Y.; MOSSINI, S. A. G.; GRESPAN, R.; NERILO, S. B.; MALLMANN, C. A.; ABREU FILHO, B. A.; MACHINSKI JR., M. Antifungal activity and inhibition of fumonisin production by *Rosmarinus officinalis* L. essential oil in *Fusarium verticillioides* (Sacc.). **Food Chemistry**, v. 166, p. 330-336, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.019>.
- CAPUTI, L.; MALNOY, M.; GOREMYKIN, V.; NIKIFOROVA, S.; MARTENS, S. A genome-wide phylogenetic reconstruction of family 1 UDP-glycosyltransferases revealed the expansion of

the family during the adaptation of plants to life on land. **Plant Journal**, v. 69, n. 6, p. 1030-1042, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313x.2011.04853.x>.

CASTRO, F. L. F. **Interação entre fungos toxigênicos (*Aspergillus flavus* e *Fusarium verticillioides*) e carunchos (*Sitophilus zeamais*) em amostras de grãos de milho**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHEYNIER, V.; COMTE, G.; DAVIES, K. M.; LATTANZIO, V.; MARTENS, S. Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 72, p. 1-20, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009>.

CHOWDHARY, V.; ALOOPARAMPIL, S.; PANDYA, R. V.; TANK, J. G. Physiological function of phenolic compounds in plant defense system. In: BADRIA, F. A. (ed.). **Phenolic compounds: chemistry, synthesis, diversity, non-conventional industrial, pharmaceutical and therapeutic applications**. London: IntechOpen, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.101131>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Nova estimativa para safra de grãos na safra 2023/24 é de 295,6 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5425-nova-estimativa-para-safra-de-graos-na-safra-2023-24-e-de-295-6-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 14 mar. 2024.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. [Brasília, DF: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo], 2019. 45 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2). Nota técnica.

DZHAVAKHIYA, V.; SHCHERBAKOVA, L.; SEMINA, Y.; ZHEMCHUZHINA, N.; CAMPBELL, B. Chemosensitization of plant pathogenic fungi to agricultural fungicides. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, article 87, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00087>.

FERREIRA, D. F. **Programa SISVAR: sistema de análise de variância: versão 4.6 (Build 6.0)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.

FUNNELL-HARRIS, D. L.; O'NEILL, P. M.; SATTler, S. E.; GRIES, T.; BERHOW, M. A.; PEDERSEN, J. F. Response of sorghum stalk pathogens to brown midrib plants and soluble phenolic extracts from near isogenic lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 148, n. 4, p. 941-953, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1148-2>.

GAUTHIER, L.; BONNIN-VERDAL, M. N.; MARCHEGAY, G.; PINSON-GADAIS, L.; DUCOS, C.; RICHARD-FORGET, F.; ATANASOVA-PÉNICHON, V. Fungal biotransformation of chlorogenic and caffeic acids by

Fusarium graminearum: new insights in the contribution of phenolic acids to resistance to deoxynivalenol accumulation in cereal. **International Journal of Food Microbiology**, v. 221, p. 61-68, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.005>.

HELENO, S. A.; MARTINS, A.; QUEIROZ, M. J. R. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Bioactivity of phenolic acids: metabolites versus parent compounds: a review. **Food Chemistry**, v. 173, p. 501-513, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>.

KIL, H. Y.; SEONG, E. S.; GHIMIRE, B. K.; CHUNG, I.; KWON, S. S.; GOH, E. J.; HEO, K. H.; KIM, M. J.; LIM, J. D.; LEE, D.; YU, C. Y. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. **Food Chemistry**, v. 115, n. 4, p. 1234-1239, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.032>.

KUHNEM JÚNIOR, P. R.; STUMPF, R.; SPOLTI, P.; DEL PONTE, E. M. Características patogênicas de isolados do complexo *Fusarium graminearum* e de *Fusarium verticillioides* em sementes e plântulas de milho. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 583-588, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000400004>.

LANZA, F. E.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, R. V. da; SILVA, D. D. da; QUEIROZ, V. A. V.; PARREIRA, D. F.; MENDES, S. M.; SOUZA, A. G. C.; COTA, L. V. Aplicação foliar de fungicidas e incidência de grãos ardidos e fumonisinas totais em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 638-646, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500026>.

MAGARINI, A.; COLOMBO, F.; CASSANI, E.; GHIDOLI, M.; LANDONI, M.; SANGIORGIO, S.; PILU, R. The role of husk traits in maize susceptibility to *Fusarium verticillioides*: a multi-location study in northern Italy. **Food and Energy Security**, v. 13, n. 2, e537, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.537>.

OLIVEIRA, K. G.; QUEIROZ, V. A. V.; CARLOS, L. A.; CARDOSO, L. M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MENEZES, C. B.; SILVA, E. C.; BARROS, F. A. R. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. **Food Chemistry**, v. 216, p. 390-398, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.047>.

PASQUALI, M.; BEYER, M.; LOGRIECO, A.; AUDENAERT, K.; BALMAS, V.; BASLER, R.; BOUTIGNY, A. L.; CHRPOVÁ, J.; CZEMBOR, E.; GAGKAEVA, T.; GONZÁLEZ-JAÉN, M. T.; HOFGAARD, I. S.; KÖYÇÜ, N. D.; HOFFMANN, L.; LEVIC, J.; MARIN, P.; MIEDANER, T.; MIGHELI, Q.; MORETTI, A.; MÜLLER, M. E. H.; MUNAUT, F.; PARIKKA, P.; PALLEZ-BARTHEL, M.; PIEC, J.; SCAUFLAIRE, J.; SCHERM, B.; STANKOVIC, S.; THRANE, U.; UHLIG, S.; VANHEULE, A.; YLI-MATTILA, T.; VOGELGSANG, S. A European database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* trichothecene

genotypes. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, article 406, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00406>.

PAUL, S.; DUBEY, R. C.; MAHESWARI, D. K.; KANG, S. C. Trachyspermum ammi (L.) fruit essential oil influencing on membran permeability and surface characteristics in inhibiting food-borne pathogens. **Food Control**, v. 22, n. 5, p. 725-731, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.003>.

PRZYBYLSKA-BALCEREK, A.; FRANKOWSKI, J.; STUPER-SZABLEWSKA, K. Bioactive compounds in sorghum. **European Food Research and Technology**, v. 245, p. 1075-1080, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3207-0>.

QUEIROZ, V. A. V.; DIZLEK, H.; BARROS, F. A. R. de; TARDIN, F. D.; FIGUEIREDO, J. E. F.; AWIKA, J. M. Baking process effects and combined cowpea flour and sorghum bran on functional properties of gluten-free cookies. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 77, n. 4, p. 552-559, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-022-01002-0>.

SALAZAR-LÓPEZ, N. J.; GONZALEZ-AGUILAR, G.; ROUZAUD-SANDEZ, O.; ROBLES-SANCHEZ, M. Technologies applied to sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench): changes in phenolic compounds and antioxidant capacity. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 369-382, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/fst.16017>.

SCORZONI, L.; SANGALLI-LEITE, F.; SINGULANI, J. L.; SILVA, A. C. A. P.; COSTA-ORLANDI, C. B.; FUSCO-ALMEIDA, A. M.; MENDES-GIANNINI, M. J. S. Searching new antifungals: the use of *in vitro* and in vivo methods for evaluation of natural compounds. **Journal of Microbiological Methods**, v. 123, p. 68-78, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2016.02.005>.

SCHÖNEBERG, T.; KIBLER, K.; SULYOK, M.; MUSA, T.; BUCHELI, D. T.; MASCHER, F.; BERTOSSA, M.; VOEGELE, R. T.; VOGELGSANG, S. Can plant phenolic compounds reduce *Fusarium* growth and mycotoxin production in cereals? **Food Addit Contam Part A**, v. 35, n. 12, p. 2455-2470, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1538570>.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).