



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ACRE
CAMPUS SENA MADUREIRA BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MARIA RILDONEIDE DE FREITAS

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR MICOTOXINAS EM RAÇÕES NO
DESEMPENHO PRODUTIVO E SANIDADE DE AVES NO BRASIL:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

SENA MADUREIRA

2026



MARIA RILDONEIDE DE FREITAS

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR MICOTOXINAS EM RAÇÕES NO
DESEMPENHO PRODUTIVO E SANIDADE DE AVES NO BRASIL:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Zootecnia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre Campus Sena Madureira, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo de Souza e Souza

SENA MADUREIRA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

F866i

Freitas, Maria Rildoneide de.

Impacto da intoxicação por micotoxinas em rações no desempenho produtivo e sanidade de aves no Brasil: uma revisão integrativa / Maria Rildoneide de Freitas – Sena Madureira - AC, 2026.

54 p. : il. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal do Acre, 2026.

Orientação - Prof. Dr. Luís Gustavo de Souza e Souza.

1. Aflatoxinas. 2. Avicultura. 3. Fumonisinas. 4. Micotoxinas 5. Revisão integrativa I. Título. II. Souza, Luís Gustavo de Souza e. III. Freitas, Maria Rildoneide de.

CDD 636.5



MARIA RILDONEIDE DE FREITAS

**IMPACTO DA INTOXICAÇÃO POR MICOTOXINAS EM RAÇÕES NO
DESEMPENHO PRODUTIVO E SANIDADE DE AVES NO BRASIL: UMA
REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado pela Comissão Examinadora:

Orientador:

Documento assinado digitalmente
 LUIS GUSTAVO DE SOUZA E SOUZA
Data: 11/07/2026 14:40:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luís Gustavo de Souza e Souza
Instituto Federal do Acre – IFAC
Campus Sena Madureira

Avaliadores:

Documento assinado digitalmente
 PAULO ANTONIO DA SILVA JUNIOR
Data: 21/07/2026 16:12:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Antônio da Silva Júnior
Instituto Federal do Acre – IFAC
Campus Sena Madureira

Documento assinado digitalmente
 STEFANYE DA SILVA TORRES
Data: 15/07/2026 13:26:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engenheira Agrônoma Stefanye da Silva Torres
SENAR - ACRE

SENA MADUREIRA – AC
03 DE JULHO DE 2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança para superar todos os desafios e chegar até esta conquista.

À minha família pelo o apoio, em especial ao meu tio Carlos por acreditar no meu sonho e me apoiar até aqui e sempre fazer o papel de pai em minha vida.

À minha mãe, que, mesmo não estando mais presente fisicamente, continua sendo minha maior inspiração.

À família Torres de Sena Madureira que me apoiou e me acolheu nesse momento importante de minha vida e formação em especial, Carolai da Silva Torres e Stefanye da Silva Torres.

Ao meu orientador Dr Luís Gustavo de Souza e Souza, pela a dedicação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do curso de Bacharelado em Zootecnia, pelos ensinamentos compartilhados ao longo da graduação que foram essenciais para a minha formação profissional pessoal, e aos meus colegas de curso.

Mas em todas estas coisas somos mais que vencedores, por meio daquele que nos amou.
Romanos 8:37

RESUMO

A avicultura brasileira é altamente vulnerável à contaminação de rações por micotoxinas, metabólitos secundários de fungos toxigênicos com efeitos deletérios sobre o desempenho produtivo e a sanidade das aves. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura para analisar o impacto da intoxicação por micotoxinas em rações sobre o desempenho produtivo e a sanidade de aves de produção no Brasil. A seleção dos estudos seguiu o protocolo PRISMA 2020, resultando na inclusão de 34 trabalhos experimentais publicados entre 2001 e 2025 com frangos de corte, codornas e poedeiras comerciais. As micotoxinas avaliadas compreenderam aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, zearalenona e tricotecenos. Os resultados demonstraram que a exposição a rações micotoxicadas compromete de forma consistente o desempenho produtivo e a integridade sanitária das aves, com padrão dose-dependente bem estabelecido para aflatoxinas e fumonisinas. O fígado mostrou-se o órgão-alvo primário de ambas as classes de toxinas, com ocorrência frequente de hepatomegalia, lipidose e necrose centrolobular, acompanhadas de elevações de enzimas hepáticas e imunossupressão. O ganho de peso e a conversão alimentar foram as variáveis zootécnicas mais afetadas, com reduções expressivas em frangos de corte expostos a aflatoxinas acima de 1 mg/kg e fumonisinas acima de 100 mg/kg, sendo os efeitos potencializados na contaminação mista. Lacunas foram identificadas quanto à representação de codornas, poedeiras e regiões produtoras além do Sul e Sudeste.

Palavras-chave: Aflatoxinas; Avicultura; Fumonisin; Micotoxinas; Revisão integrativa.

ABSTRACT

Brazilian poultry production is highly susceptible to mycotoxin contamination of feeds, as these secondary metabolites produced by toxigenic fungi exert deleterious effects on productive performance and bird health. This study aimed to conduct an integrative review to assess the impact of mycotoxin-contaminated diets on productive performance and health of commercial poultry in Brazil. Study selection followed the PRISMA 2020 protocol, yielding 34 experimental studies published between 2001 and 2025 involving broilers, Japanese quail, and laying hens. The mycotoxins assessed included aflatoxins, fumonisins, ochratoxin A, zearalenone, and trichothecenes. Results demonstrated that exposure to mycotoxin-contaminated diets consistently impairs productive performance and health integrity in a dose-dependent manner, particularly well established for aflatoxins and fumonisins. The liver was identified as the primary target organ for both toxin classes, with recurrent findings of hepatomegaly, hepatic lipidosis, and centrilobular necrosis, associated with increased hepatic enzyme activities and immunosuppression. Body weight gain and feed conversion ratio were the most affected productive variables, with marked reductions documented in broilers exposed to aflatoxin concentrations above 1 mg/kg and fumonisin concentrations above 100 mg/kg; effects were further intensified under combined contamination. Relevant research gaps were identified regarding the underrepresentation of quail, laying hens, and producing regions beyond Southern and Southeastern Brazil.

Keywords: Aflatoxins; Fumonisins; Integrative Review; Mycotoxins; Poultry production.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AFB1 – Aflatoxina B1

AFB2 – Aflatoxina B2

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

BHI – Bilirrubina Hepática Intrínseca (índice)

DON – Deoxinivalenol

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

FUM – Fumonisin

IFAC – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

OTA – Ocratoxina A

PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

T-2 – Toxina T-2 (tricoteceno tipo A)

ZEN – Zearalenona

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução temporal das publicações.....	25
Figura 2 – Tipo de publicação dos estudos incluídos	26
Figura 3 – Distribuição espacial dos estudos no Brasil	27
Figura 4 – Autores com maior número de publicações.....	28
Figura 5 – Heatmap: espécie animal x tipo de micotoxina	29
Figura 6 – Tendência temporal por tipo de micotoxina	30
Figura 7 – Micotoxinas avaliadas nos estudos.....	31
Figura 8 – Tipo de contaminação e uso de adsorventes.....	32
Figura 9 – Distribuição dos estudos por fase de criação.....	33
Figura 10 – Distribuição dos níveis de toxina nos experimentos.....	34
Figura 11 – Distribuição da duração dos experimentos	35
Figura 12 – Cobertura das variáveis reportadas nos estudos	36
Figura 13 – Achados macroscópicos reportados.....	38
Figura 14 – Achados histopatológicos mais frequentes.....	39
Figura 15 – Marcadores bioquímicos séricos avaliados	41
Figura 16 – Ganho de peso por espécie animal e tipo de micotoxina.....	43
Figura 17 – Conversão alimentar por espécie animal e tipo de micotoxina	45
Figura 18 – Relação entre nível de toxina e ganho de peso	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 MICOTOXINAS: ORIGEM, CLASSIFICAÇÃO E OCORRÊNCIA	12
2.2 AFLATOXINAS	13
2.3 FUMONISINAS	14
2.4 OUTROS TRICOTECENOS DE RELEVÂNCIA AVÍCOLA	15
2.5 ESPÉCIES AVÍCOLAS E SUSCEPTIBILIDADE ÀS MICOTOXINAS	16
2.6 IMPACTOS NO DESEMPENHO PRODUTIVO E NA SANIDADE	17
2.7 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E MITIGAÇÃO	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 TIPO E DELINEAMENTO DO ESTUDO	20
3.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA BIBLIOGRÁFICA	20
3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	21
3.4 TRIAGEM E SELEÇÃO DOS ESTUDOS	22
3.5 EXTRAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	22
3.6 ANÁLISE DOS DADOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 PERFIL BIBLIOMÉTRICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA	24
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS	28
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COBERTURA DE VARIÁVEIS	33
4.4 ACHADOS CLÍNICOS, PATOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS	37
4.5 IMPACTO NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	41
5 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira ocupa posição de destaque na produção mundial de proteína animal, com o Brasil reconhecido internacionalmente como um dos principais produtores e exportadores de carne de frango (Ferreira *et al.*, 2025). A manutenção de altos índices produtivos nessa cadeia depende diretamente da qualidade nutricional e sanitária das rações fornecidas às aves, cuja composição envolve ingredientes de origem vegetal produzidos em larga escala e sujeitos a condições ambientais que favorecem a contaminação por fungos toxigênicos (Kobashigawa *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2006). Nesse contexto, a presença de micotoxinas nas rações representa um dos principais riscos à produção avícola, com consequências que se estendem do desempenho zootécnico à sanidade das aves e à segurança dos produtos de origem animal destinados ao consumo humano.

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos toxigênicos que se desenvolvem naturalmente em ingredientes e rações durante as fases de cultivo, colheita e armazenamento (Kobashigawa *et al.*, 2019). No Brasil, espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Fusarium* são os principais agentes relatados em ingredientes e em rações comerciais para aves, sendo responsáveis, respectivamente, pela produção de aflatoxinas (AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2) e fumonisinas (FB1, FB2 e FB3) (Kobashigawa *et al.*, 2019; Rossi *et al.*, 2013). O deoxinivalenol (DON), igualmente produzido por *Fusarium* spp., tem sido associado a perdas produtivas em frangos de corte, sobretudo em razão das condições climáticas quentes e úmidas do País, que favorecem o desenvolvimento fúngico e a síntese de toxinas ao longo da cadeia produtiva de grãos (Ferreira *et al.*, 2025; Schavetock, 2022).

Levantamentos conduzidos em diferentes regiões do Brasil evidenciam frequências expressivas de contaminação em rações e ingredientes destinados à avicultura. Rossi *et al.* (2013) detectaram fumonisinas em 94,9% das amostras de ração para frangos de corte coletadas no norte do Paraná, com teores médios entre 0,52 e 0,68 mg/kg, e aflatoxinas em 72,1% das amostras analisadas. Kobashigawa *et al.* (2019) identificaram médias de 29,1 µg/kg de aflatoxinas e 2.100 µg/kg de fumonisinas em ingredientes de um sistema integrador do estado de São Paulo, e verificaram que lotes de aves que receberam rações com fumonisinas acima de 1.000 µg/kg apresentaram menor ganho de peso e maiores taxas de mortalidade. Vidal *et al.* (2024) constataram, em estudo conduzido durante três safras com variedades transgênicas de milho no sul do Brasil, que a maior produtividade genética dos híbridos não se traduzia em menor contaminação por micotoxinas, reforçando a necessidade

de monitoramento contínuo da qualidade das matérias-primas destinadas à fabricação de rações.

Os efeitos da ingestão de rações micotoxicadas sobre as aves se manifestam em diferentes dimensões, compreendendo alterações no desempenho produtivo, lesões orgânicas e comprometimento imunológico. O fígado é o principal órgão-alvo das aflatoxinas e fumonisinas, com hepatomegalia, lipidose e necrose centrolobular consistentemente descritos nos estudos experimentais (Lopes *et al.*, 2006; Rauber *et al.*, 2013). Em frangos de corte, aflatoxinas a partir de 0,5 mg/kg na ração reduzem o ganho de peso e prejudicam a conversão alimentar, enquanto doses de 3 mg/kg podem elevar a mortalidade a até 28% em ciclos de 42 dias (Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014). Fumonisinas em concentrações elevadas causam redução do ganho de peso, aumento dos pesos relativos de fígado e rins, e lesões histopatológicas nesses órgãos (Rauber *et al.*, 2013). A exposição simultânea a múltiplas micotoxinas pode intensificar esses efeitos, com mortalidades de até 44% documentadas em frangos submetidos à contaminação combinada por aflatoxina B1 e fumonisina B1 (Neeff, 2016). Em doses subclínicas, o impacto se expressa principalmente pela queda na eficiência alimentar sem sinais clínicos evidentes, tornando o problema de difícil diagnóstico em condições comerciais (Lopes *et al.*, 2006; Kobashigawa *et al.*, 2019).

Diante da recorrência da contaminação micotoxicológica em rações avícolas brasileiras e da variedade de efeitos sobre diferentes espécies e categorias produtivas, torna-se necessária a sistematização das evidências experimentais produzidas no contexto nacional. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura para analisar o impacto da intoxicação por micotoxinas em rações sobre o desempenho produtivo e a sanidade de aves de produção criadas no Brasil, com base nos estudos experimentais publicados entre 2001 e 2025.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A produção avícola no Brasil alcançou posição de destaque mundial ao longo das últimas décadas, sustentada por avanços contínuos em genética, nutrição, manejo e sanidade (Armanini, 2021). Nesse contexto, a qualidade sanitária das rações representa um dos principais fatores condicionantes da produtividade e da saúde dos plantéis, uma vez que a presença de contaminantes fúngicos nos ingredientes pode comprometer diretamente o desempenho das aves e a segurança dos produtos de origem animal destinados ao consumo humano (Kobashigawa *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2006). Entre os contaminantes de maior relevância para a avicultura, as micotoxinas se destacam pela ampla distribuição geográfica, pela resistência aos processos de beneficiamento dos grãos e pelo espectro diversificado de efeitos tóxicos documentados em diferentes espécies e categorias produtivas, tornando seu estudo indispensável para a compreensão dos riscos associados à alimentação animal no Brasil (Rossi *et al.*, 2013; Sousa, 2020; Schavetock, 2022).

2.1 MICOTOXINAS: ORIGEM, CLASSIFICAÇÃO E OCORRÊNCIA

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos filamentosos de ocorrência mundial, com predominância em regiões de clima tropical e subtropical, onde as condições de umidade e temperatura favorecem o desenvolvimento fúngico e a síntese dessas substâncias em ingredientes e rações (Sousa, 2020; Schavetock, 2022). O termo é derivado do grego *mykes* (fungo) e do latim *toxican* (toxina), sendo empregado principalmente para denominar compostos tóxicos associados a fungos de alimentos e de rações destinados à nutrição animal e humana (Sousa, 2020). Mais de 400 moléculas de micotoxinas já foram identificadas, entre as quais as aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, zearalenona, tricotecenos e patulina são consideradas de maior relevância toxicológica para a cadeia produtiva de proteína animal (Sousa, 2020; Armanini, 2021).

Os gêneros fúngicos de maior importância toxicológica para a avicultura são *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, responsáveis pela produção das principais micotoxinas detectadas em ingredientes e rações comerciais no Brasil (Schavetock, 2022; Kobashigawa *et al.*, 2019). A contaminação pode ocorrer tanto no campo durante o desenvolvimento das culturas quanto no armazenamento pós-colheita, sendo favorecida por umidade elevada dos grãos, danos físicos em sua estrutura, temperatura inadequada durante a secagem e falhas no armazenamento (Armanini, 2021). Estima-se que aproximadamente 25% das culturas

alimentícias mundiais apresentem algum grau de contaminação por micotoxinas, com perdas anuais na cadeia produtiva de proteína animal estimadas em bilhões de dólares (Sousa, 2020; Armanini, 2021).

No Brasil, levantamentos realizados em diferentes regiões produtoras evidenciam alta frequência de contaminação em rações e ingredientes avícolas. Nesse sentido, Rossi *et al.* (2013) detectaram fumonisinas em 94,9% e aflatoxinas em 72,1% de amostras de ração para frangos de corte coletadas no norte do Paraná. Kobashigawa *et al.* (2019) registraram médias de 29,1 µg/kg de aflatoxinas e 2.100 µg/kg de fumonisinas em amostras de milho de um sistema integrador do estado de São Paulo. No que se refere à regulamentação, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece limites máximos para aflatoxinas, ocratoxina A, DON, fumonisinas, patulina e zearalenona em alimentos para consumo humano; entretanto, a regulamentação para rações animais no Brasil é restrita, com valor máximo recomendado de apenas 50 µg/kg para aflatoxinas em ingredientes, sem parâmetros oficiais para a maioria das demais toxinas (Sousa, 2020; Kobashigawa *et al.*, 2019).

Os efeitos das micotoxinas sobre os animais dependem do tipo e da concentração da toxina, da espécie e da categoria produtiva, da idade, do sexo, do estado nutricional e da presença simultânea de outras substâncias tóxicas na dieta (Schavetock, 2022). Do ponto de vista oncológico, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) classifica as aflatoxinas no Grupo 1 (carcinogênicas para humanos), as fumonisinas e ocratoxinas no Grupo 2B (possivelmente carcinogênicas) e os tricotecenos no Grupo 3 (não classificáveis quanto à carcinogenicidade em humanos) (Armanini, 2021). Do ponto de vista produtivo, os efeitos subclínicos representam o maior impacto econômico na avicultura comercial, manifestando-se pela redução do desempenho zootécnico, imunossupressão e maior susceptibilidade a doenças infecciosas sem sinais clínicos evidentes que facilitem o diagnóstico em condições de campo (Kobashigawa *et al.*, 2019; Lopes *et al.*, 2006).

2.2 AFLATOXINAS

As aflatoxinas são produzidas principalmente por espécies do gênero *Aspergillus*, em especial *A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius*, durante o crescimento em substratos ricos em carboidratos nas condições de temperatura e umidade prevalentes nas regiões produtoras de grãos do Brasil (Armanini, 2021; Oliveira *et al.*, 2002). Dezoito tipos de aflatoxinas já foram identificados, sendo AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2 os de maior ocorrência natural e relevância toxicológica; a aflatoxina B1 (AFB1) é a mais tóxica e frequentemente encontrada em rações

avícolas (Oliveira *et al.*, 2002; Armanini, 2021). A nomenclatura das aflatoxinas baseia-se na fluorescência emitida sob luz ultravioleta, com as formas B emitindo fluorescência azul (*blue*) e as formas G emitindo fluorescência verde (*green*) (Armanini, 2021).

A AFB1 apresenta atividade hepatotóxica, mutagênica, teratogênica e carcinogênica, sendo classificada como carcinogênico de Grupo 1 pela IARC (Armanini, 2021). O fígado é o principal órgão-alvo, com lesões histopatológicas características de vacuolização das células hepáticas, infiltração lipídica, megalocitose e hiperplasia dos ductos biliares documentadas tanto em frangos de corte quanto em codornas (Oliveira *et al.*, 2002; Miglino, 2012). A intoxicação aguda manifesta-se clinicamente por depressão, anorexia, icterícia, hemorragias e morte, enquanto a forma crônica, associada a doses subclínicas contínuas, caracteriza-se por imunodepressão, anomalias ósseas, despigmentação e comprometimento funcional do fígado sem sinais clínicos evidentes (Lopes *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2002). As aflatoxicoses foram registradas pela primeira vez em 1960, quando a denominada "Doença X dos perus" levou à morte de aproximadamente 100.000 aves na Inglaterra após o consumo de farelo de amendoim contaminado (Lopes *et al.*, 2006).

Em frangos de corte, os efeitos das aflatoxinas sobre o desempenho produtivo são dose-dependentes e mais expressivos em animais jovens, sendo as primeiras semanas de vida o período de maior susceptibilidade (Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2003). Doses a partir de 0,5 mg/kg na ração podem reduzir o ganho de peso e deteriorar a conversão alimentar, enquanto concentrações de 3 mg/kg provocam mortalidades de até 28% e reduções de peso de até 36% em ciclos de 42 dias (Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014). A imunossupressão provocada pelas aflatoxinas envolve redução do peso relativo da bursa de Fabrício e do timo e menores títulos de anticorpos pós-vacinação, comprometendo a resposta imunológica humoral e a resistência a desafios infecciosos (Neeff, 2016; Kraieski *et al.*, 2017).

2.3 FUMONISINAS

As fumonisinas são produzidas principalmente por *Fusarium verticillioides* e *F. proliferatum*, fungos amplamente distribuídos em culturas de milho em regiões tropicais e subtropicais, incluindo as principais zonas produtoras de grãos do Brasil (Sousa, 2020; Butkeraitis *et al.*, 2004). Descritas pela primeira vez em 1988, mais de 16 tipos de fumonisinas foram isolados e classificados nos grupos A, B, C e P; a fumonisina B1 (FB1) é a forma predominante e de maior toxicidade, seguida pelas FB2 e FB3 (Sousa, 2020;

Butkeraitis *et al.*, 2004). Trata-se de compostos polares e termicamente estáveis, solúveis em água e em misturas acetonitrila-água, resistentes aos processos habituais de processamento de alimentos, o que contribui para sua persistência em ingredientes e rações ao longo da cadeia produtiva (Butkeraitis *et al.*, 2004).

O mecanismo de ação das fumonisinas envolve a inibição da biossíntese de esfingolipídeos de cadeia longa, resultando no acúmulo de esfinganina livre em relação à esfingosina e na ruptura da integridade e da função das membranas celulares (Rauber *et al.*, 2013; Prigol, 2023). A proporção esfinganina:esfingosina (SA:SO) é, por isso, utilizada como biomarcador de exposição a fumonisinas em estudos experimentais com aves (Rauber *et al.*, 2013). Essa disrupção lipídica compromete também as junções de oclusão intestinal, induz processos inflamatórios no trato gastrointestinal e prejudica a absorção de nutrientes, com repercussões sobre o desempenho e a saúde das aves (Prigol, 2023; Sousa, 2020).

Em frangos de corte, as fumonisinas causam redução do consumo de ração e do ganho de peso, aumento dos pesos relativos de fígado e rins, e lesões histopatológicas nesses órgãos, com necrose hepática e renal documentadas em concentrações elevadas (Rauber *et al.*, 2013; Kobashigawa *et al.*, 2019). Nesse contexto, Rauber *et al.* (2013) demonstraram que doses de 100 e 200 mg/kg de FB1 reduziram o ganho de peso em 16,0 e 18,6%, respectivamente, com piora da conversão alimentar e alterações nas enzimas hepáticas e nos lipídios séricos. Em codornas japonesas, Butkeraitis *et al.* (2004) observaram redução expressiva do ganho de peso e elevação da mortalidade com 49 mg/kg de fumonisinas, confirmando a susceptibilidade desta espécie a concentrações elevadas. Em poedeiras e codornas poedeiras, a exposição prolongada a fumonisinas está associada à redução da produção de ovos e à alteração de sua qualidade (Oliveira *et al.*, 2007b; Dazuk *et al.*, 2020).

2.4 OUTROS TRICOTECENOS DE RELEVÂNCIA AVÍCOLA

O deoxinivalenol (DON), também denominado vomitoxina, é um tricoteceno do tipo B produzido por *Fusarium graminearum* e *F. culmorum*, fungos frequentemente associados à fusariose da espiga em trigo e milho cultivados nas condições climáticas brasileiras (Ferreira *et al.*, 2025; Schavetock, 2022). Seu mecanismo de ação envolve a inibição da atividade ribossomal, comprometendo a síntese proteica e promovendo alterações mitocondriais que deterioram a integridade da barreira intestinal, reduzem o transporte de nutrientes e aumentam a susceptibilidade das aves a agentes patogênicos (Prigol, 2023; Ferreira *et al.*, 2025). Em frangos de corte, o DON provoca redução do consumo de ração, queda no ganho de peso e

alterações na morfologia intestinal, com vilos mais curtos e delgados no duodeno e no jejuno, o que prejudica a digestão e a absorção de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2025; Schavetock, 2022). No Brasil, não existem limites máximos oficiais estabelecidos para o DON em rações para aves, o que representa uma lacuna regulatória relevante para a segurança da produção avícola nacional (Ferreira *et al.*, 2025).

A toxina T-2 é um tricoteceno do tipo A, igualmente produzido por espécies de *Fusarium*, com mecanismo de ação baseado na inibição da síntese proteica e na indução de necrose em tecidos de alta taxa de renovação celular, como a mucosa intestinal e o tecido linfóide (Schavetock, 2022). Em poedeiras, Dazuk *et al.* (2020) documentaram que a exposição simultânea à toxina T-2 e à fumonisina B1 (4 mg/kg de cada) por 84 dias promoveu redução do consumo de ração, alterações bioquímicas séricas e comprometimento da saúde hepática. A contaminação mista por tricotecenos e fumonisinas tem sido descrita em ingredientes brasileiros para aves, evidenciando a necessidade de monitoramento micotoxicológico abrangente, não restrito às aflatoxinas (Schavetock, 2022; Prigol, 2023).

2.5 ESPÉCIES AVÍCOLAS E SUSCEPTIBILIDADE ÀS MICOTOXINAS

Os frangos de corte constituem a espécie mais estudada em relação aos efeitos das micotoxinas no contexto brasileiro, o que reflete tanto sua predominância na avicultura nacional quanto sua reconhecida susceptibilidade às aflatoxinas e fumonisinas, especialmente nos primeiros dias de vida (Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2003). A alta taxa de crescimento e o intenso metabolismo hepático característicos das linhagens comerciais de corte contribuem para a maior vulnerabilidade a essas toxinas, uma vez que o fígado é o sítio primário de biotransformação das aflatoxinas e das fumonisinas (Carão, 2016; Neeff, 2016). Estudos conduzidos no Brasil documentaram comprometimento da resposta imunológica e redução do desempenho em frangos expostos a concentrações de AFB1 a partir de 0,4 mg/kg, mesmo sem sinais clínicos evidentes (Kraieski *et al.*, 2017; Mota *et al.*, 2019).

As codornas japonesas (*Coturnix japonica*) foram investigadas em estudos brasileiros tanto para aflatoxinas quanto para fumonisinas, com ênfase nos efeitos sobre o desempenho corporal, a histopatologia hepática e a transferência de resíduos para os ovos (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Butkeraitis *et al.*, 2004). Sob essa ótica, Oliveira *et al.* (2002) demonstraram que doses baixas de AFB1 (0,025 a 0,1 mg/kg) ao longo de 168 dias alteraram o consumo de ração e a mortalidade de forma dose-dependente em codornas poedeiras. Conforme demonstrado por Oliveira *et al.* (2003), documentaram a presença de resíduos de

aflatoxinas em ovos de codornas expostas à AFB1, evidenciando o risco à segurança alimentar dos produtos de origem animal. De acordo com Butkeraitis *et al.* (2004) confirmaram a susceptibilidade das codornas às fumonisinas, com redução expressiva do ganho de peso e aumento da mortalidade em doses de 49 mg/kg de FB.

As galinhas poedeiras foram avaliadas principalmente quanto aos efeitos das micotoxinas sobre a produção e a qualidade dos ovos, com menor cobertura dos parâmetros zootécnicos de desempenho corporal no corpus de estudos nacionais (Oliveira *et al.*, 2001; Dazuk *et al.*, 2020). Ademais, Oliveira *et al.* (2001) verificaram que a exposição prolongada de poedeiras à AFB1 (0,1 a 0,5 mg/kg por 56 dias) alterou o consumo de ração e a conversão alimentar, com variações que não se mostraram linearmente dose-dependentes nas doses testadas. Além disso, Dazuk *et al.* (2020) relataram que a contaminação mista com fumonisina e toxina T-2 (4 mg/kg cada) por 84 dias reduziu o consumo de ração, alterou parâmetros bioquímicos séricos e comprometeu a saúde hepática de poedeiras comerciais. A menor representação de codornas e poedeiras no conjunto de estudos experimentais brasileiros indica uma lacuna científica que limita o estabelecimento de limites de tolerância específicos para essas categorias produtivas.

2.6 IMPACTOS NO DESEMPENHO PRODUTIVO E NA SANIDADE

A ingestão de rações contaminadas por micotoxinas compromete o desempenho zootécnico de forma dose-dependente, sendo o ganho de peso, o consumo de ração e a conversão alimentar as variáveis mais frequentemente afetadas nos estudos experimentais com aves (Lopes *et al.*, 2006; Rauber *et al.*, 2013; Eckhardt *et al.*, 2014). Em frangos de corte, aflatoxinas em doses elevadas (3 mg/kg) provocaram reduções de até 36% no ganho de peso em relação ao controle em 42 dias, com mortalidade de até 28% (Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014). De fato, Kobashigawa *et al.* (2019), avaliando lotes em sistema integrador paulista com contaminação natural, verificaram que fumonisinas acima de 1.000 µg/kg na ração estavam associadas a menor ganho de peso e maior mortalidade nos lotes comerciais, demonstrando a relevância das condições de campo.

As lesões orgânicas induzidas pelas micotoxinas concentram-se principalmente no fígado, sítio de metabolismo e biotransformação dessas substâncias nas aves (Oliveira *et al.*, 2004; Carão, 2016). Os achados macroscópicos mais frequentes incluem hepatomegalia e coloração amarelada ou pálida do parênquima hepático, enquanto os histopatológicos compreendem vacuolização citoplasmática, lipidose, megalocitose, necrose centrolobular e

hiperplasia dos ductos biliares, documentados tanto para aflatoxinas quanto para fumonisinas (Oliveira *et al.*, 2002; Miglino, 2012; Eckhardt *et al.*, 2014). No nível bioquímico, a hepatotoxicidade manifesta-se pelo aumento das atividades séricas de ALT, AST e GGT, pela redução da proteína total plasmática e da albumina e pelo aumento do colesterol e dos triglicerídeos séricos (Rauber *et al.*, 2013; Sobrane Filho *et al.*, 2016).

A imunossupressão representa consequência sanitária relevante das micotoxicoses em aves, com redução dos pesos relativos da bursa de Fabrícus e do timo e menores títulos de anticorpos contra antígenos vacinais documentados em frangos expostos a aflatoxinas (Neeff, 2016; Kraieski *et al.*, 2017). A contaminação simultânea por múltiplas micotoxinas potencializa os efeitos deletérios individualmente observados: Neeff (2016) documentou mortalidade de até 44% em frangos expostos à combinação de AFB1 e fumonisina B1, com cada toxina isolada produzindo efeitos substancialmente menores nas mesmas doses. Sobrane Filho *et al.* (2016) relataram que a combinação de AFB1 e FB1 (2,1 mg/kg cada) reduziu o ganho de peso em até 35% e elevou a mortalidade a mais de 20% em 21 dias de experimento, com recuperação parcial nos grupos suplementados com adsorventes.

2.7 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E MITIGAÇÃO

A estratégia de controle mais avaliada nos estudos experimentais brasileiros é o uso de adsorventes de micotoxinas incorporados à ração, cujo mecanismo baseia-se na capacidade dessas substâncias de se ligarem às micotoxinas no trato gastrointestinal, reduzindo sua biodisponibilidade e, conseqüentemente, seus efeitos tóxicos (Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2003). Nesse sentido, Bentonita sódica, montmorilonita de cálcio, parede celular de *Saccharomyces cerevisiae* e glucomananos esterificados foram os adsorventes mais avaliados no contexto nacional, com eficácia variável conforme o tipo de toxina, a dose empregada e o adsorvente testado (Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014; Keller *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2012). Lopes *et al.* (2006) verificaram que a inclusão de 0,3% de bentonita sódica em rações com 3 mg/kg de aflatoxinas promoveu melhor desempenho dos frangos em relação ao grupo sem adsorvente, sem efeitos negativos sobre as aves que receberam ração livre de toxinas. Desse modo, Eckhardt *et al.* (2014) demonstraram que montmorilonita de cálcio de origem brasileira reduziu parcialmente os efeitos das aflatoxinas sobre o desempenho e a mortalidade de frangos de corte, sem eliminar completamente as lesões hepáticas.

Compostos fitogênicos com propriedades antioxidantes e hepatoprotetoras têm sido avaliados como alternativa ou complemento aos adsorventes tradicionais (Armanini, 2021;

Armanini *et al.*, 2021). Como evidenciaram Armanini *et al.* (2021) demonstraram que a inclusão de um *blend* fitogênico na ração de frangos expostos a 0,5 mg/kg de AFB1 promoveu melhora no desempenho e na qualidade da carne em comparação ao grupo aflatoxinado sem suplementação. Como demonstrado por Sousa (2020) avaliou a farinha de açaí (*Euterpe oleracea*) como agente antioxidante em frangos desafiados com fumonisina B1, com resultados favoráveis sobre parâmetros de estresse oxidativo hepático. No controle físico-químico de grãos, Ferreira *et al.* (2025) demonstraram que a amonização de trigo com gás amônia reduziu o teor de DON em mais de 86,2%, resultando em melhora na conversão alimentar e na integridade da mucosa intestinal dos frangos. Em todos os casos, os resultados dos estudos do corpus indicam que nenhuma estratégia de mitigação isolada elimina completamente os efeitos das micotoxinas sobre a saúde e o desempenho das aves, reforçando que o controle preventivo da contaminação em toda a cadeia produtiva permanece a medida de maior impacto para a segurança das rações avícolas (Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014; Armanini *et al.*, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho constitui uma revisão integrativa da literatura e foi estruturado em seis etapas sequenciais: definição da pergunta norteadora, busca na literatura, extração e avaliação crítica dos dados, análise, interpretação e apresentação dos resultados (Mendes; Silveira; Galvão, 2008; Souza; Silva; Carvalho, 2010). Cada etapa foi conduzida de forma sistemática e documentada, a fim de assegurar a reprodutibilidade do processo e a transparência dos critérios adotados em cada fase.

3.1 TIPO E DELINEAMENTO DO ESTUDO

A revisão integrativa é uma modalidade de síntese da evidência científica que permite incluir estudos com diferentes delineamentos em torno de uma mesma pergunta de pesquisa, possibilitando uma compreensão abrangente do fenômeno investigado (Whittemore; Knafl, 2005). Sua escolha fundamentou-se na heterogeneidade dos delineamentos observada nos estudos primários disponíveis sobre o tema, os quais abrangem experimentos com diferentes espécies avícolas, toxinas, fases de criação e critérios de avaliação (Botelho; Cunha; Macedo, 2011). A pergunta norteadora que orientou o levantamento foi: como o fornecimento de rações e ingredientes contaminados por micotoxinas afeta os parâmetros de desempenho produtivo (consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar) e a integridade sanitária de aves de produção criadas no Brasil?

3.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA BIBLIOGRÁFICA

A busca bibliográfica foi realizada em quatro bases de dados eletrônicas: Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus (Elsevier) e Web of Science (Clarivate). A utilização de múltiplas bases é recomendada para minimizar o risco de viés de publicação e ampliar a recuperação de registros relevantes (Liberati *et al.*, 2009; Page *et al.*, 2021). Não foram estabelecidas restrições quanto ao ano de publicação, abrangendo estudos publicados entre 2001 e 2025.

No Google Acadêmico foram realizadas duas buscas independentes, uma em língua portuguesa e outra em língua inglesa. Para a busca em português, utilizaram-se os termos: (*intitle:micotoxina OR intitle:micotoxinas OR intitle:micotoxicose OR intitle:aflatoxina OR intitle:fumonisina*) (*"frangos de corte" OR poedeiras OR codornas*) (*ração OR dieta*)

("desempenho" OR "conversão alimentar") -bovinos -suínos -peixes -"in vitro". Para a busca em inglês, empregou-se: (intitle:mycotoxin OR intitle:mycotoxins OR intitle:mycotoxicosis OR intitle:aflatoxin OR intitle:fumonisin) (broilers OR "laying hens" OR quails) (feed OR diet) ("performance" OR "feed conversion") Brazil -cattle -swine -pigs -fish -"in vitro".

Na base SciELO, adotou-se a equação: (micotoxina OR micotoxinas OR aflatoxina OR fumonisina) AND (ração OR dieta) AND (frango OR frangos OR poedeira OR poedeiras OR codorna OR codornas) AND (desempenho OR peso). Na Scopus, a estratégia foi circunscrita ao campo de título e palavras-chave: TITLE(mycotoxin* OR aflatoxin* OR fumonisin* OR mycotoxicosis) AND TITLE-ABS-KEY(broiler* OR "laying hen*" OR quail*) AND TITLE-ABS-KEY(feed* OR diet* OR ration*) AND TITLE-ABS-KEY(performance OR "feed conversion" OR "weight gain") AND TITLE-ABS-KEY(Brazil*) NOT TITLE-ABS-KEY(cattle OR swine OR pig* OR fish OR "in vitro" OR review). Na Web of Science, a equação correspondente foi: TI=(mycotoxin* OR aflatoxin* OR fumonisin* OR mycotoxicosis) AND TS=(broiler* OR "laying hen*" OR quail*) AND TS=(feed* OR diet* OR ration*) AND TS=(performance OR "feed conversion" OR "weight gain") AND TS=(Brazil*) NOT TS=(cattle OR swine OR pig* OR fish OR "in vitro" OR review).

3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

A definição prévia de critérios de elegibilidade é etapa fundamental em revisões de literatura, pois garante transparência, reprodutibilidade e coerência na seleção dos estudos (Botelho; Cunha; Macedo, 2011; Page *et al.*, 2021). Para este trabalho, foram incluídos artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares e literatura cinzenta (teses e dissertações), desde que reportassem ensaios *in vivo* conduzidos no Brasil com aves de produção. A inclusão de literatura cinzenta seguiu a recomendação de minimizar o viés de publicação em revisões (Liberati *et al.*, 2009). As espécies elegíveis foram frangos de corte (*Gallus gallus domesticus*), poedeiras comerciais (*Gallus gallus domesticus*) e codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*), e os estudos deveriam avaliar, pelo menos, um parâmetro de desempenho produtivo ou de sanidade animal em resposta ao fornecimento de dietas contaminadas por micotoxinas.

Foram excluídos estudos conduzidos com espécies não avícolas (bovinos, suínos, peixes e outras), experimentos realizados exclusivamente *in vitro*, revisões de literatura, artigos de opinião e relatos de caso sem dados quantitativos de desempenho. Estudo

realizados fora do Brasil também foram descartados, por não atenderem ao recorte geográfico definido na pergunta norteadora.

3.4 TRIAGEM E SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Os registros recuperados nas bases de dados foram triados inicialmente pela leitura de títulos e resumos, com descarte de duplicatas e de trabalhos claramente fora do escopo. Essa abordagem em duas fases é recomendada para aumentar a eficiência do processo de triagem em revisões integrativas (Page *et al.*, 2021; Whitemore; Knafl, 2005). Na sequência, os textos completos dos estudos potencialmente elegíveis foram obtidos e avaliados segundo os critérios de inclusão e exclusão predefinidos.

3.5 EXTRAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

A extração das informações de cada estudo foi padronizada por meio de um protocolo estruturado de fichamento, organizado em três grupos de variáveis. A padronização do processo de extração é recomendada para reduzir erros e facilitar a análise comparativa entre os estudos primários incluídos (Mendes; Silveira; Galvão, 2008; Souza; Silva; Carvalho, 2010). O primeiro grupo contemplou dados bibliográficos e metadados: identificação do estudo, autores, título, periódico, palavras-chave, citação e referência bibliográfica padronizada, ano de publicação e localização geográfica do experimento.

O segundo grupo reuniu variáveis qualitativas e categóricas: espécie animal, linhagem genética, fase de criação, espécie fúngica, toxina(s) avaliada(s), tipo de contaminação (inoculação artificial ou natural), presença e tipo de adsorvente, sinais clínicos, achados macroscópicos, achados histopatológicos e alterações bioquímicas séricas. O terceiro grupo incluiu variáveis quantitativas: duração do experimento (dias), idade inicial dos animais (dias), nível de toxina na ração (mg/kg), peso inicial (g), consumo de ração (g), ganho de peso (g), conversão alimentar, mortalidade (%) e peso relativo do fígado (%).

Quando o estudo reportava múltiplos grupos experimentais, os valores numéricos foram registrados sequencialmente, separados por ponto e vírgula, mantendo a mesma ordem declarada na descrição dos tratamentos. Os valores originalmente expressos em ppb ou µg/kg foram convertidos para mg/kg, e os pesos e consumos expressos em kg foram convertidos para gramas. Os dados foram consolidados em planilha eletrônica no formato Microsoft Excel (.xlsx), totalizando 34 linhas de dados e 37 colunas de variáveis.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados de forma descritiva e bibliométrica com o auxílio do software R (R Core Team, 2024), plataforma amplamente utilizada em análises científicas pela sua flexibilidade e capacidade de reprodutibilidade computacional (Wickham *et al.*, 2019). A construção de gráficos e análises exploratórias foi realizada principalmente com os pacotes *tidyverse* (Wickham *et al.*, 2019), *ggplot2* (Wickham, 2016) e *patchwork* (Pedersen, 2024), complementados pelos pacotes *readxl*, *scales*, *RColorBrewer*, *stringr* e *writexl*. Para a elaboração do mapa de distribuição geográfica dos estudos, utilizou-se o pacote *geobr* (Pereira; Gonçalves, 2021), que disponibiliza as malhas territoriais oficiais do Brasil.

Foram elaboradas 18 figuras, organizadas em cinco grupos temáticos: bibliometria (evolução temporal das publicações, tipo de publicação, distribuição espacial dos estudos no Brasil e autores mais produtivos); caracterização dos estudos (distribuição de espécie animal por tipo de micotoxina, tendência temporal por micotoxina, frequência das micotoxinas avaliadas, tipo de contaminação e uso de adsorventes, e fase de criação estudada); dados experimentais (distribuição dos níveis de toxina empregados, duração dos estudos e cobertura das variáveis reportadas); achados clínicos e patológicos (achados macroscópicos, histopatológicos e bioquímicos séricos mais frequentes); e desempenho zootécnico (distribuição do ganho de peso e da conversão alimentar por espécie e tipo de micotoxina, e relação dose-resposta entre o nível de toxina e o ganho de peso). Todas as figuras foram exportadas em formato PNG com resolução de 300 DPI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

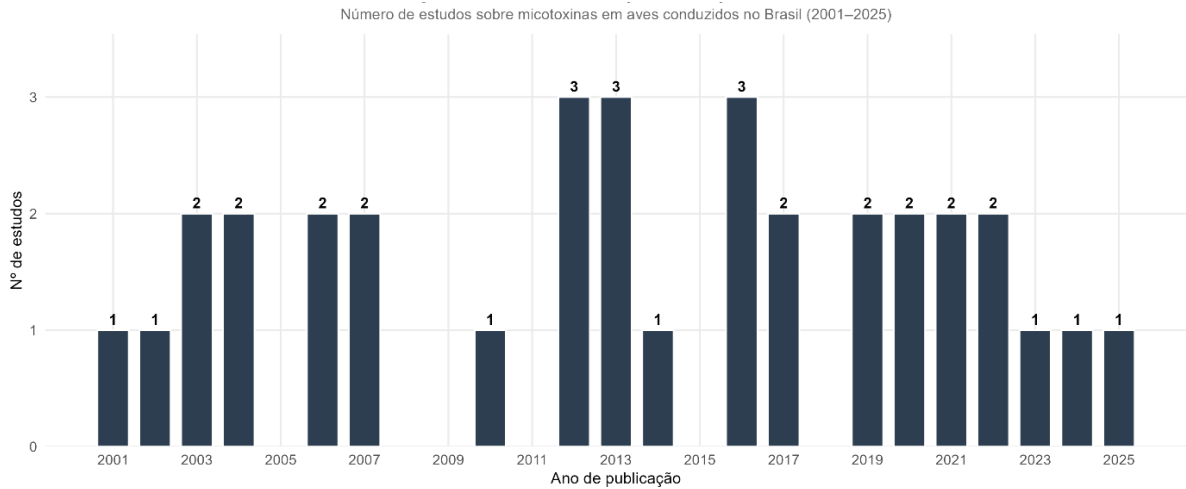
A presente revisão integrativa identificou 34 estudos experimentais conduzidos no Brasil entre 2001 e 2025 que avaliaram os efeitos da exposição a micotoxinas em rações sobre o desempenho produtivo e a sanidade de aves. Os trabalhos abrangem diferentes espécies avícolas, principalmente frangos de corte, codornas e poedeiras comerciais, e contemplam micotoxinas como aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, zearalenona e tricotecenos, em contextos de contaminação artificial e natural, com e sem o uso de agentes adsorventes. Os resultados são apresentados e discutidos nas subseções a seguir (Oliveira *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Santin *et al.*, 2003; Butkeraitis *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2004; Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2007a; Oliveira *et al.*, 2007b; Simas, 2010; Keller *et al.*, 2012; Miglino, 2012; Rosa *et al.*, 2012; Gonzalez, 2013; Rauber *et al.*, 2013; Rossi *et al.*, 2013; Eckhardt *et al.*, 2014; Caraão, 2016; Neeff, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016; Kraieski *et al.*, 2017; Schneider, 2017; Kobashigawa *et al.*, 2019; Mota *et al.*, 2019; Dazuk *et al.*, 2020; Sousa, 2020; Armanini, 2021a; Armanini *et al.*, 2021b; Rosa Júnior *et al.*, 2022; Schavetock, 2022; Prigol, 2023; Vidal *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2025).

4.1 PERFIL BIBLIOMÉTRICO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

A distribuição temporal dos estudos analisados revelou uma produção científica que se estende ao longo de 25 anos, de 2001 a 2025, com notável irregularidade entre os períodos (Figura 1). Os primeiros trabalhos datam de 2001, momento em que o tema começava a ganhar espaço nas pesquisas avícolas nacionais. Os anos de 2012, 2013 e 2016 destacaram-se como os de maior produtividade, com três publicações cada, ao passo que os anos de 2005, 2008, 2009, 2011, 2015 e 2018 não registraram nenhum estudo entre os incluídos nesta revisão.

A partir de 2019, observou-se produção mais regular, com uma a duas publicações por ano até 2025, sugerindo gradual consolidação da temática no cenário científico brasileiro. Esse padrão pode refletir tanto a crescente preocupação com a qualidade sanitária dos ingredientes utilizados na alimentação animal quanto a ampliação da capacidade laboratorial para detectar e quantificar micotoxinas em grãos e rações empregados na avicultura, além do maior acesso dos pesquisadores às ferramentas analíticas disponíveis nos últimos anos.

Figura 1 – Evolução temporal das publicações

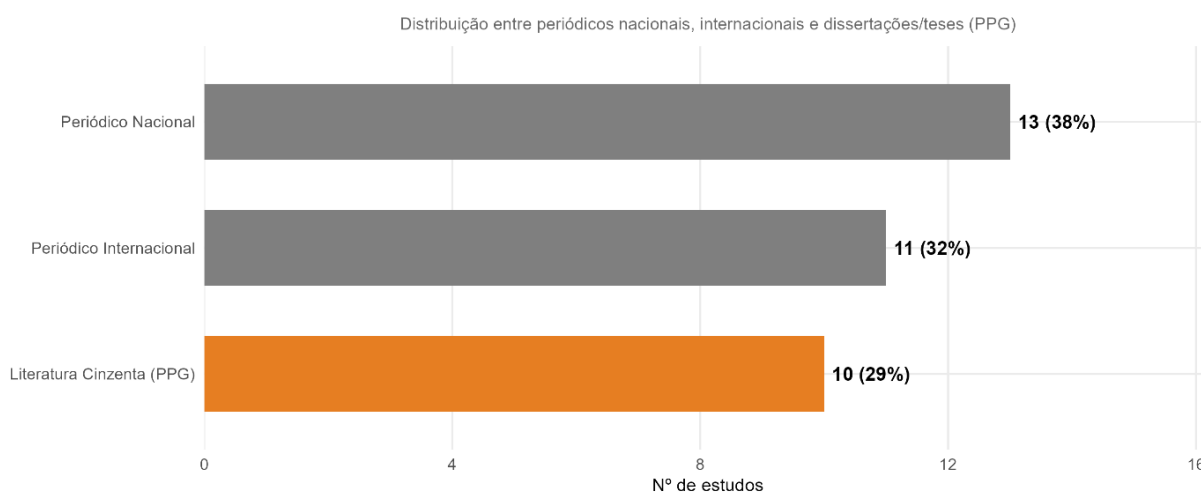


Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Quanto à tipologia das publicações incluídas na revisão, verificou-se que 13 trabalhos (38,2%) foram publicados em periódicos nacionais, 11 (32,4%) em periódicos internacionais e 10 (29,4%) correspondem à literatura cinzenta, representada por dissertações de mestrado e teses de doutorado (Figura 2). A expressiva participação da literatura cinzenta evidencia que parcela significativa do conhecimento produzido sobre o tema permanece restrita ao ambiente acadêmico dos programas de pós-graduação, sem alcançar indexação em bases de dados de ampla circulação.

A inclusão desses documentos foi essencial para ampliar a representatividade dos achados e reduzir o viés de publicação, conforme preconizado pelas diretrizes PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021). O equilíbrio entre publicações nacionais e internacionais indica que a temática das micotoxinas em aves tem alcançado projeção além das fronteiras brasileiras, ao mesmo tempo em que mantém sólida produção nas revistas especializadas do país.

Figura 2 – Tipo de publicação dos estudos incluídos

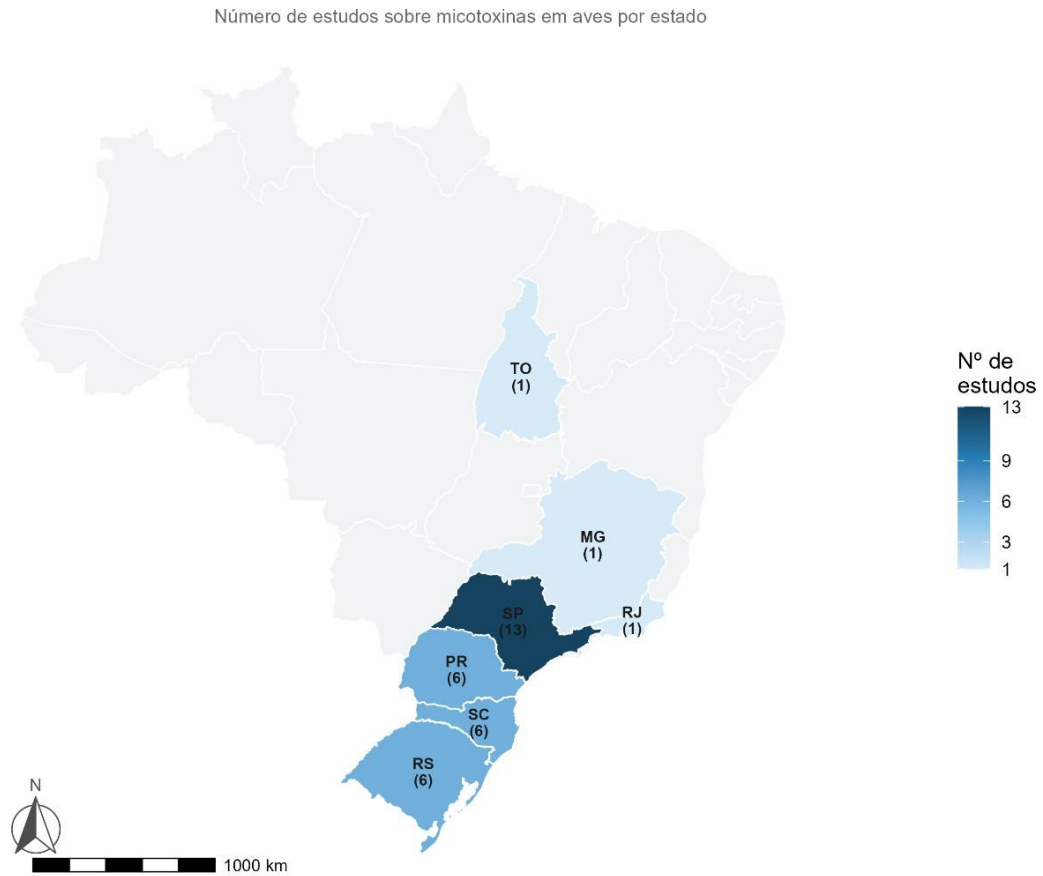


Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A análise da distribuição geográfica dos estudos por estado revelou clara concentração regional na produção científica sobre micotoxinas em aves no Brasil (Figura 3). O estado de São Paulo liderou com 13 estudos (38,2%), seguido dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com seis estudos cada (17,6%), posicionando o eixo Sul-Sudeste como responsável por aproximadamente 91% de toda a produção analisada. Minas Gerais, Rio de Janeiro e Tocantins contribuíram com um estudo cada.

Com excessão de Tocantins, mais nenhum estudo foi identificado nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o que representa uma lacuna geográfica expressiva, considerando que essas regiões abrigam importantes polos de produção avícola e apresentam condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de fungos toxigênicos em ingredientes como milho e farelo de soja. Essa concentração tende a espelhar a maior densidade de programas de pós-graduação em zootecnia e medicina veterinária nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde historicamente se concentram os grupos de pesquisa mais consolidados sobre qualidade de ingredientes e sanidade animal.

Figura 3 – Distribuição espacial dos estudos no Brasil

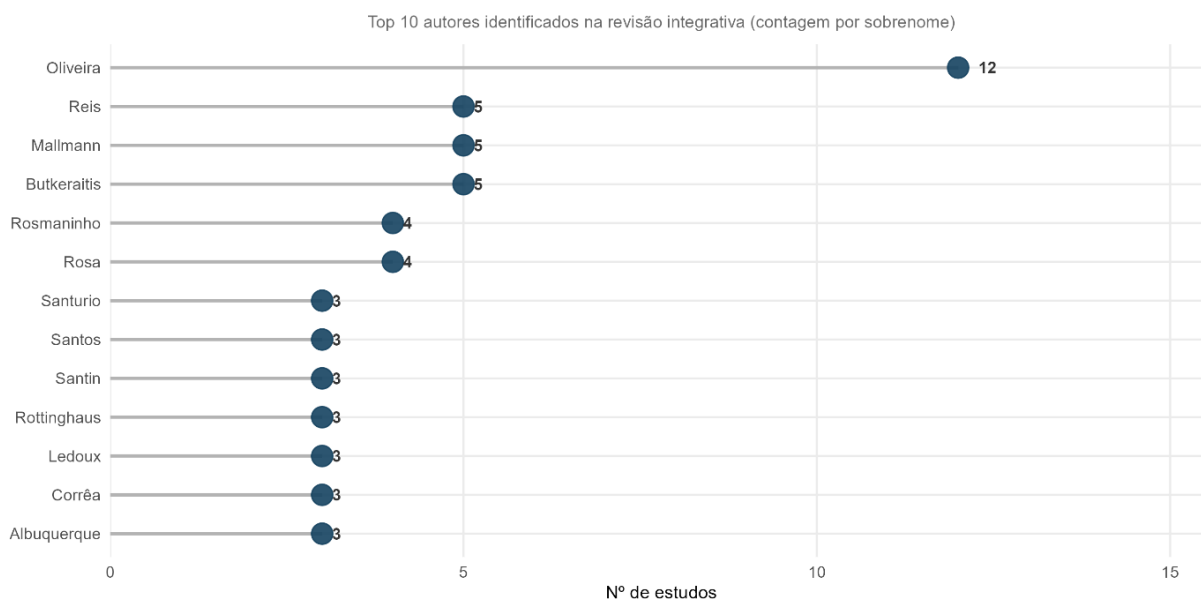


Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A análise dos autores mais produtivos identificou clara liderança do grupo de pesquisa vinculado ao pesquisador Oliveira, com 12 ocorrências entre os estudos incluídos, o que reflete uma trajetória científica de longa data dedicada à investigação dos efeitos de micotoxinas, especialmente aflatoxinas e fumonisinas, no desempenho e na sanidade de frangos de corte (Figura 4). Em seguida, destacaram-se os pesquisadores Reis, Mallmann e Butkeraitis, cada um com cinco ocorrências, e os pesquisadores Rosmaninho e Rosa, com quatro cada.

Com três participações figuram Santurio, Santos, Santin, Rottinghaus, Ledoux, Corrêa e Albuquerque, muitos dos quais atuam como coautores frequentes, indicando colaborações interinstitucionais consolidadas entre grupos que investigam a micotoxicologia aplicada à avicultura. A concentração da produção em poucos grupos é característica frequente em áreas científicas de nicho e pode refletir tanto a expertise acumulada por esses grupos quanto a necessidade de ampliar a base de pesquisadores dedicados ao tema nas diversas regiões do país.

Figura 4 – Autores com maior número de publicações



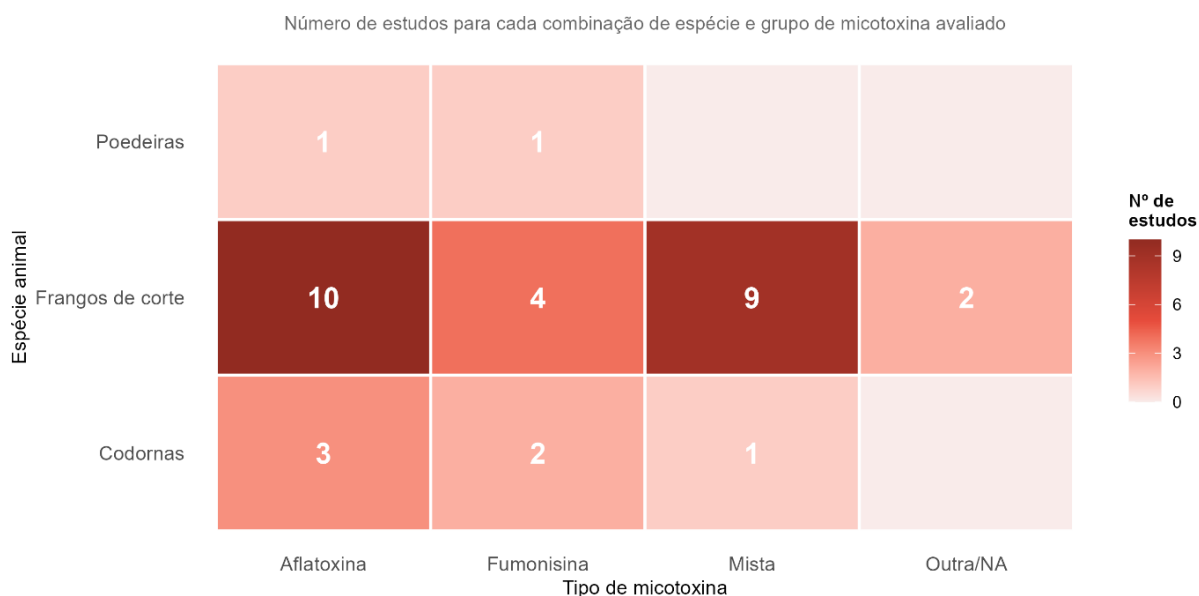
Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESTUDOS INCLUÍDOS

A distribuição das espécies avícolas investigadas em função dos grupos de micotoxinas estudados está representada no heatmap da Figura 5. Os frangos de corte corresponderam à espécie amplamente predominante, com 25 estudos (73,5%), seguidos pelas codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*), com seis estudos (17,6%), e pelas poedeiras comerciais, com dois estudos (5,9%).

Entre os frangos, as aflatoxinas isoladas foram objeto de dez estudos, as fumonisinas de quatro e a associação de ambas as classes toxicológicas (contaminação mista) de nove, o que indica que as aflatoxinas, sozinhas ou em combinação com fumonisinas, estiveram presentes em 19 dos 25 experimentos com essa espécie (Santin *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2006; Keller *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2012; Eckhardt *et al.*, 2014; Carão, 2016; Neeff, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016; Mota *et al.*, 2019; Armanini, 2021a; Armanini *et al.*, 2021b; Schavetock, 2022). Nos estudos com codornas, as aflatoxinas foram investigadas em três trabalhos, as fumonisinas em dois e a contaminação mista em um (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Butkeraitis *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007a; Oliveira *et al.*, 2007b), enquanto as poedeiras foram representadas por apenas um estudo com aflatoxinas e um com fumonisinas (Oliveira *et al.*, 2001; Dazuk *et al.*, 2020).

Figura 5 – Heatmap: espécie animal x tipo de micotoxina



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A predominância dos frangos de corte reflete tanto a importância econômica dessa espécie na avicultura industrial brasileira quanto a sua elevada susceptibilidade às micotoxinas, em especial à aflatoxina B1 (AFB1), cujos efeitos imunossupressores, hepatotóxicos e antimetabólicos comprometem diretamente os índices produtivos em criações de alta densidade (Santin *et al.*, 2003; Simas, 2010; Neeff, 2016; Kraieski *et al.*, 2017). A linhagem Cobb 500 foi a mais utilizada nos experimentos (15 estudos), seguida pela linhagem Cobb sem especificação de número (seis estudos) e pela codorna da linhagem Japonesa (seis estudos).

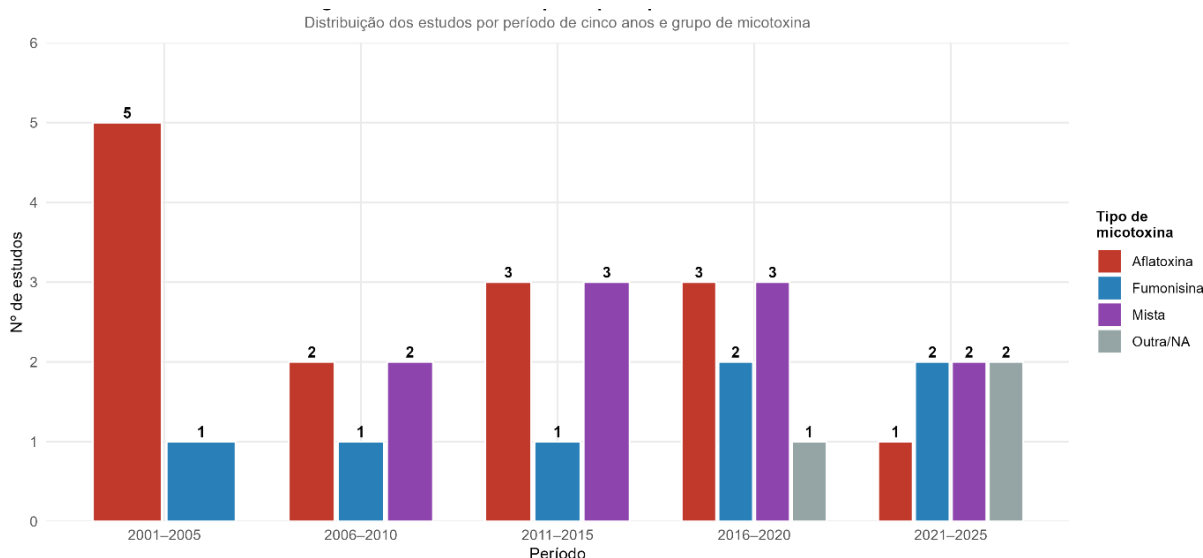
A linhagem Ross 308, AgRoss 308 e Hy-Line Brown foram cada uma registrada em um único estudo (Rosa *et al.*, 2012; Simas, 2010; Dazuk *et al.*, 2020), e a poedeira da linhagem Babcock apareceu em um experimento com aflatoxinas (Oliveira *et al.*, 2001). A reduzida representatividade de poedeiras e de linhagens diversificadas aponta para lacuna relevante na literatura nacional, especialmente considerando que alterações em parâmetros de postura, qualidade interna dos ovos e transferência materno-filial de aflatoxinas são questões de saúde pública e produtividade ainda pouco exploradas no contexto brasileiro (Oliveira *et al.*, 2001; Dazuk *et al.*, 2020).

A tendência temporal segundo o grupo de micotoxina investigado evidencia uma evolução no perfil das pesquisas ao longo de 25 anos (Figura 6). No período de 2001 a 2005, as aflatoxinas concentraram toda a produção com cinco estudos, ao passo que as fumonisinas contabilizaram apenas um e a contaminação mista nenhum. A partir do intervalo 2006–2010,

os estudos com contaminação mista emergem com dois trabalhos, igualando-se numericamente às aflatoxinas isoladas. Esse padrão manteve-se nos dois quinquênios seguintes, com três estudos de aflatoxina e três de contaminação mista em 2011–2015, e igual volume nos dois grupos em 2016–2020.

No período mais recente, de 2021 a 2025, observa-se a entrada de toxinas de outras classes, como o deoxinivalenol (DON), avaliado por Ferreira *et al.* (2025) e também contemplado em um dos tratamentos de Schavetock (2022), ao lado do crescimento relativo dos estudos com fumonisinas. Essa diversificação progressiva sugere a ampliação do interesse científico para toxinas menos estudadas no contexto nacional, o que é relevante dado que co-contaminações envolvendo tricotecenos e fumonisinas são frequentes nos grãos utilizados na alimentação de aves (Rauber *et al.*, 2013; Rosa Júnior *et al.*, 2022; Prigol, 2023).

Figura 6 – Tendência temporal por tipo de micotoxina



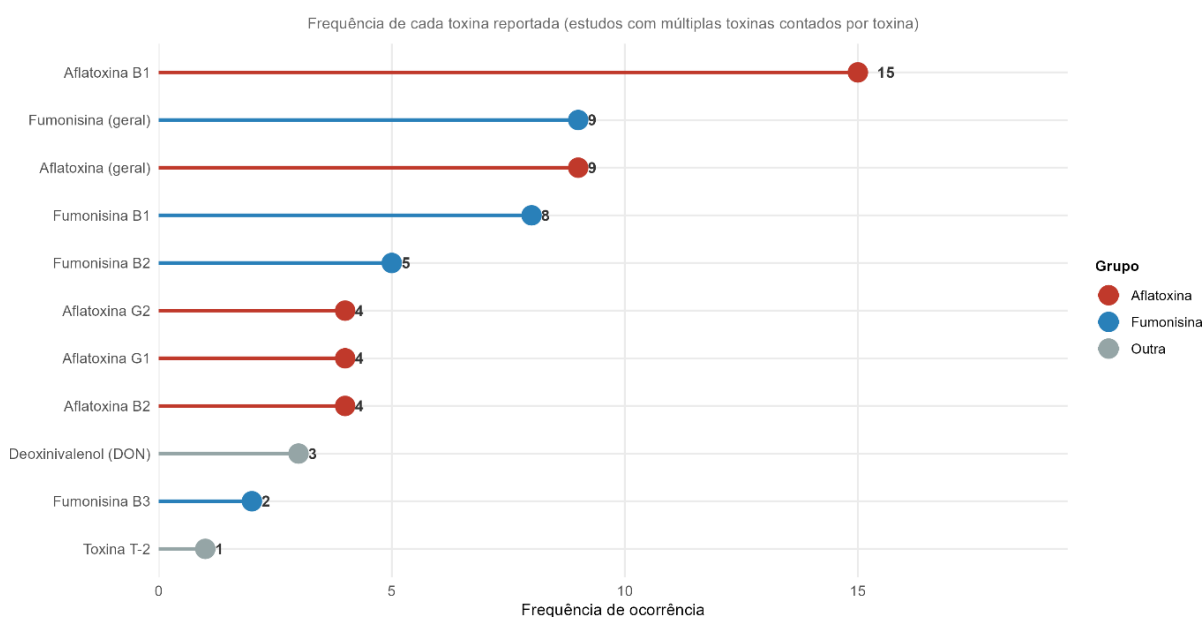
Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A Figura 7 detalha a frequência de cada micotoxina individualmente entre os estudos incluídos. A AFB1 foi a mais investigada, com 15 ocorrências, seguida pela aflatoxina sem discriminação de fração e pela fumonisina geral, com nove ocorrências cada, e pela fumonisina B1 (FB1), com oito. As aflatoxinas B2, G1 e G2 foram avaliadas conjuntamente à B1 em quatro estudos cada, seguindo protocolo de exposição ao complexo aflatoxínico completo, conforme adotado por Lopes *et al.* (2006), Santin *et al.* (2006), Eckhardt *et al.* (2014) e Rosa *et al.* (2012).

As fumonisinas B2 e B3, frequentemente presentes no milho como frações co-

contaminantes da FB1, foram investigadas em cinco e dois estudos, respectivamente (Rauber *et al.*, 2013; Gonzalez, 2013; Rosa Júnior *et al.*, 2022; Prigol, 2023). O DON foi avaliado em dois estudos e a toxina T-2 em um (Schavetock, 2022; Dazuk *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2025), o que evidencia que os tricotecenos permanecem subrepresentados nas pesquisas nacionais sobre micotoxinas em aves, a despeito de sua relevância toxicológica crescente como contaminante de cereais.

Figura 7 – Micotoxinas avaliadas nos estudos



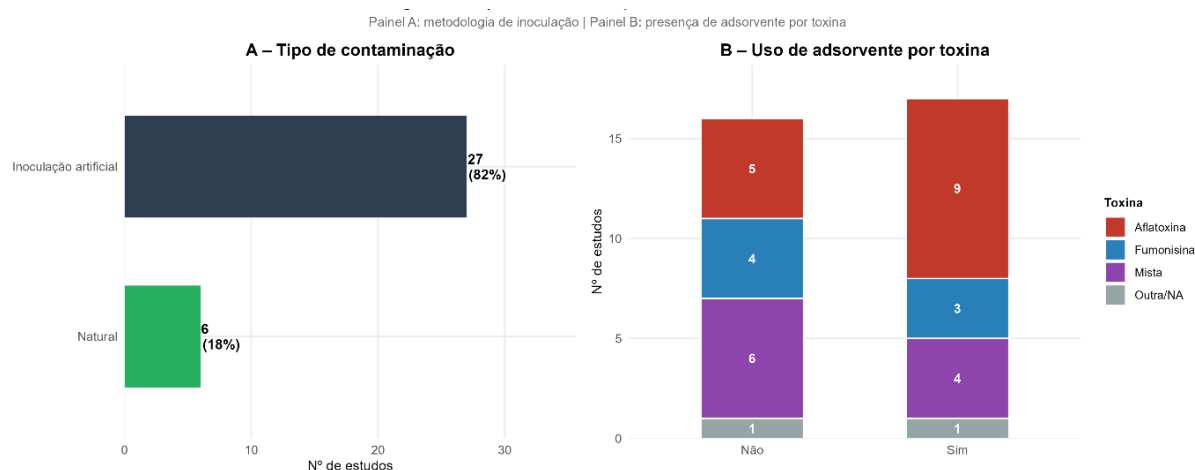
Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A Figura 8 apresenta a metodologia de contaminação empregada e o uso de agentes adsorventes nos experimentos. A inoculação artificial das rações predominou em 27 estudos (79,4%), enquanto a contaminação natural foi empregada em seis (17,6%): Miglino (2012), Gonzalez (2013), Rossi *et al.* (2013), Kobashigawa *et al.* (2019), Vidal *et al.* (2024) e Ferreira *et al.* (2025). A preferência pela contaminação artificial deve-se à necessidade de padronização das doses e controle rigoroso dos grupos experimentais, viabilizando comparações diretas entre níveis de toxina (Santin *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2012; Mota *et al.*, 2019). Os estudos com contaminação natural, por sua vez, conferem maior representatividade às condições reais de produção, embora impliquem menor controle da dose efetiva e possível co-ocorrência com outras toxinas não quantificadas (Miglino, 2012; Gonzalez, 2013; Kobashigawa *et al.*, 2019).

Quanto ao uso de adsorventes, 17 estudos (50,0%) incluíram algum agente de

sequestro em pelo menos um tratamento, e 16 (47,1%) não o fizeram. Os agentes mais empregados foram argilominerais e aluminossilicatos, em 12 ocorrências (bentonita, aluminossilicato de sódio e cálcio, zeólita, argila esmectita), seguidos por derivados de levedura, com dez ocorrências (parede celular e lisado de *Saccharomyces cerevisiae*, glucomananos esterificados, beta-glucanos), aditivos fitogênicos, com seis ocorrências (blends, taninos, curcumina, óleos essenciais, silimarina), ácidos orgânicos em dois e fumonisina esterase em um estudo (Prigol, 2023). O maior uso de adsorventes nos estudos envolvendo aflatoxinas, presente em nove dos 17 experimentos que testaram adsorventes, reflete a consolidação dessas estratégias de mitigação no controle das aflatoxicoses em frangos de corte (Santin *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006; Keller *et al.*, 2012; Eckhardt *et al.*, 2014; Carão, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016).

Figura 8 – Tipo de contaminação e uso de adsorventes



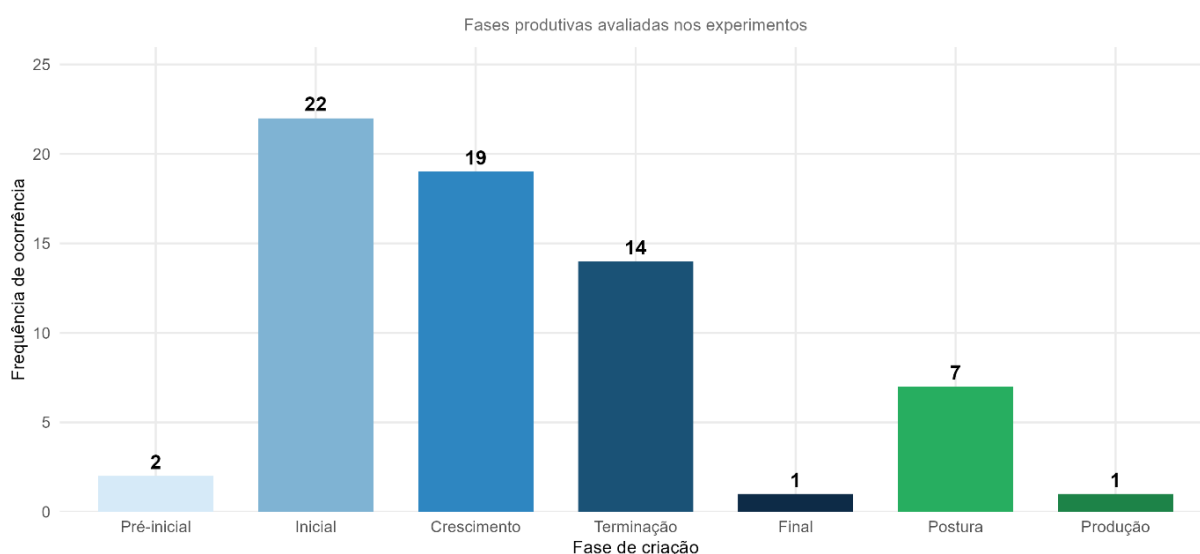
Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A distribuição dos estudos segundo a fase de criação avaliada está apresentada na Figura 9. A fase inicial foi a mais frequentemente investigada, com 22 ocorrências, seguida pelas fases de crescimento (19) e terminação (14), contemplando, na maioria dos casos, o ciclo completo de criação de frangos de corte em um único experimento (Santin *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006; Simas, 2010; Eckhardt *et al.*, 2014; Neeff, 2016; Carão, 2016; Mota *et al.*, 2019; Armanini, 2021a; Schavetock, 2022; Prigol, 2023). A fase de postura foi registrada em sete estudos, correspondendo aos experimentos com codornas e poedeiras comerciais (Oliveira *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Butkeraitis *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007b; Dazuk *et al.*, 2020).

A concentração dos estudos nas fases iniciais é biologicamente fundamentada, uma

vez que pintos jovens apresentam menor capacidade hepática de biotransformação e conjugação de micotoxinas, o que os torna mais vulneráveis aos efeitos hepatotóxicos da AFB1 e aos efeitos imunossupressores das fumonisinas (Oliveira *et al.*, 2003; Butkeraitis *et al.*, 2004; Simas, 2010; Kraieski *et al.*, 2017). A duração mediana dos experimentos foi de 42 dias, compatível com o período de abate dos frangos de corte em sistema de integração, variando de um dia de exposição aguda (Ferreira *et al.*, 2025) a 168 dias nos experimentos com codornas e poedeiras em ciclo reprodutivo (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2004).

Figura 9 – Distribuição dos estudos por fase de criação



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

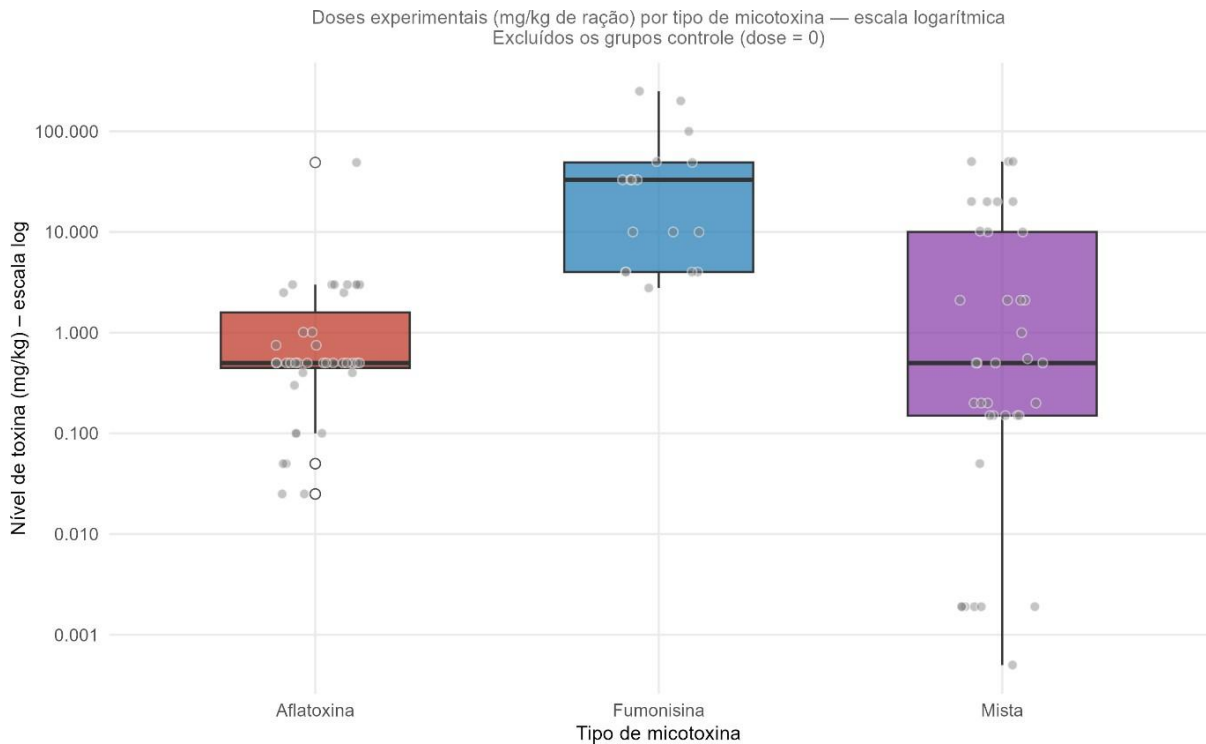
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COBERTURA DE VARIÁVEIS

A Figura 10 apresenta a distribuição das doses de micotoxinas utilizadas nos grupos tratados dos experimentos, em escala logarítmica, para os três grupos toxicológicos principais. Para as aflatoxinas, as 39 observações de dose registradas apresentaram mediana de 0,5 mg/kg de ração, com intervalo interquartil de 0,4 a 2,5 mg/kg e amplitude total de 0,025 a 49,0 mg/kg. A concentração de doses na faixa de 0,4 a 2,5 mg/kg indica que a maioria dos estudos empregou níveis compatíveis com contaminações severas passíveis de ocorrer em condições de campo, como adotado por Lopes *et al.* (2006), Rosa *et al.* (2012) e Eckhardt *et al.* (2014).

No extremo inferior da escala, Gonzalez (2013) e Kobashigawa *et al.* (2019) trabalharam com concentrações de 0,0019 e 0,0005 mg/kg, respectivamente, ambas obtidas por contaminação natural, aproximando os delineamentos das condições reais de produção. No extremo superior, Oliveira *et al.* (2003) utilizaram 49 mg/kg de aflatoxinas em codornas,

com o objetivo de caracterizar o quadro agudo de aflatoxicose e estabelecer parâmetros clínico-patológicos de referência para a espécie.

Figura 10 – Distribuição dos níveis de toxina nos experimentos



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Os estudos com fumonisinas exibiram doses substancialmente mais elevadas do que os estudos com aflatoxinas, com mediana de 33,0 mg/kg e amplitude de 2,78 a 250 mg/kg (Figura 10). Essa diferença de escala reflete a menor potência toxicológica das fumonisinas em comparação à AFB1, cuja ação hepatotóxica, imunossupressora e carcinogênica se manifesta em concentrações muito inferiores por unidade de massa corporal. Rosa Júnior *et al.* (2022) adotaram a menor dose entre os estudos de fumonisinas (2,78 mg/kg de FB1), enquanto Rauber *et al.* (2013) e Oliveira *et al.* (2007a) empregaram até 200 e 250 mg/kg, respectivamente, para estabelecer respostas dose-dependentes em frangos de corte e codornas.

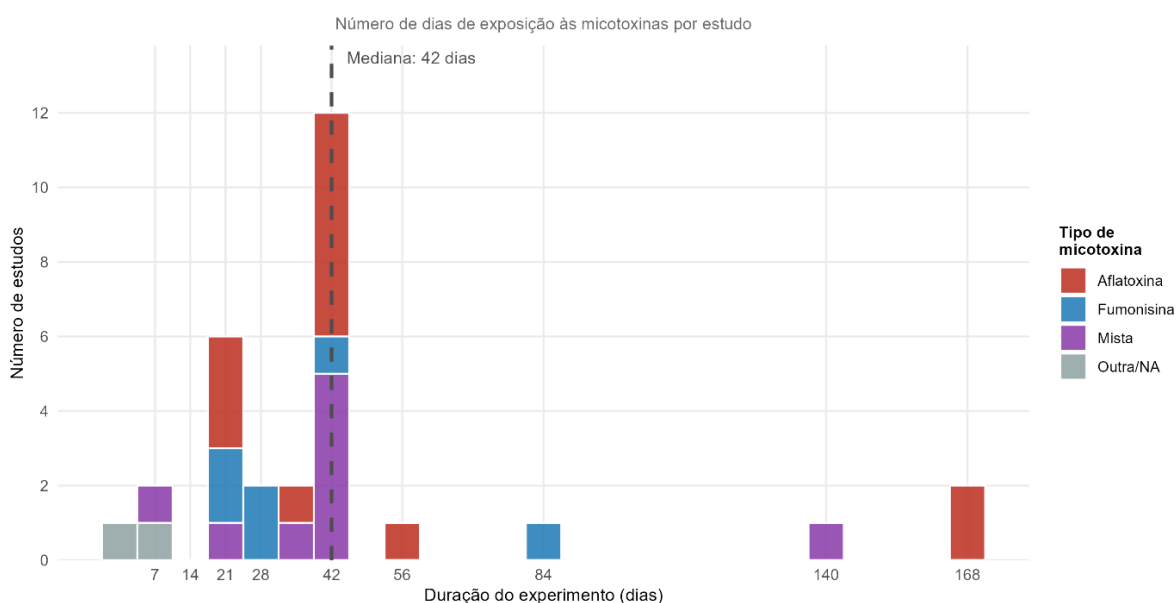
No grupo de contaminação mista (aflatoxinas associadas a fumonisinas), a mediana situou-se em 0,5 mg/kg, refletindo que a fração aflatoxínica domina os valores inferiores da escala logarítmica, ao passo que a fração fumonisínica eleva os extremos superiores a até 50 mg/kg (Simas, 2010; Neeff, 2016; Armanini, 2021a). A ampla heterogeneidade nas doses entre estudos limita comparações quantitativas diretas dos efeitos sobre o desempenho, evidenciando a necessidade de maior padronização dos delineamentos nas pesquisas nacionais

com micotoxinas em aves.

A Figura 11 apresenta o histograma da duração dos experimentos para os 30 estudos que informaram essa variável. O período de 42 dias foi o mais frequente, com 11 estudos (36,7%), correspondendo ao ciclo completo de criação de frangos de corte em sistema de integração, com cobertura das fases inicial, crescimento e terminação em sequência (Santin *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2006; Santin *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014; Carão, 2016; Neeff, 2016; Armanini, 2021a; Schavetock, 2022; Prigol, 2023). A duração mediana geral foi de 42 dias, com mínimo de 1 dia, em estudo de exposição aguda a deoxinivalenol (Ferreira *et al.*, 2025), e máximo de 168 dias, em experimentos com codornas japonesas em fase de postura (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2004).

Experimentos de 21 dias foram conduzidos por cinco estudos concentrados exclusivamente na fase inicial de frangos de corte (Keller *et al.*, 2012; Rosa *et al.*, 2012; Sobrane Filho *et al.*, 2016; Kraieski *et al.*, 2017; Rosa Júnior *et al.*, 2022), enquanto quatro estudos com poedeiras, codornas em postura ou protocolos de exposição crônica superaram 84 dias de duração (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007b; Dazuk *et al.*, 2020). A adequação do período experimental ao ciclo produtivo de cada espécie é determinante para a captura dos efeitos crônicos das micotoxinas, em especial sobre o sistema imune, a integridade hepática e os parâmetros reprodutivos.

Figura 11 – Distribuição da duração dos experimentos

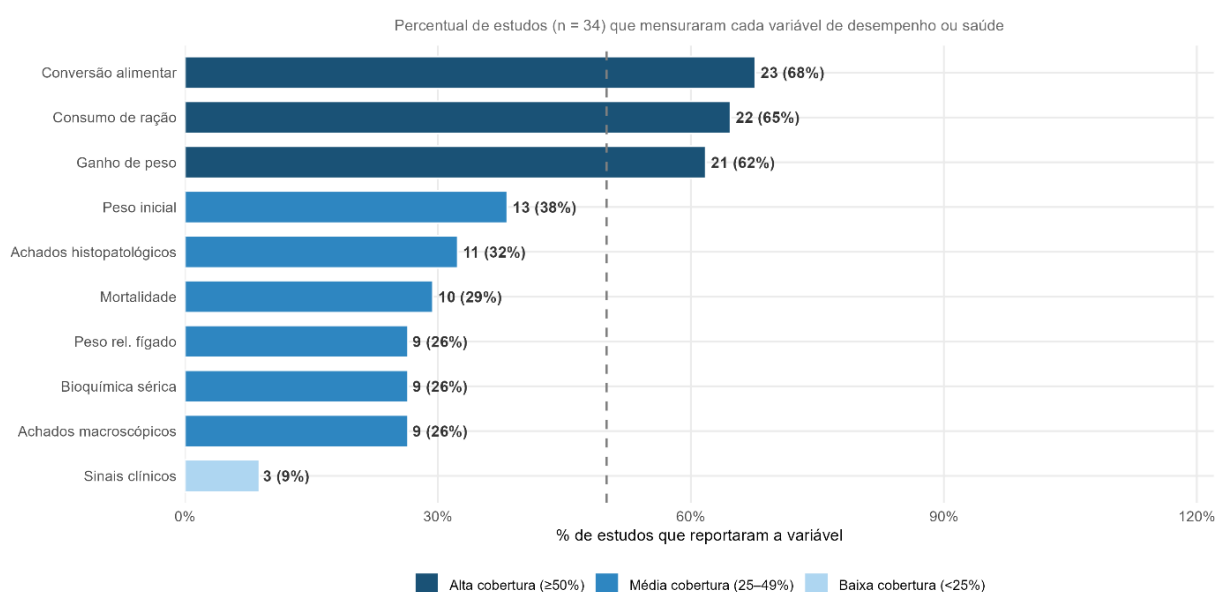


Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

As variáveis de desempenho zootécnico apresentaram a maior cobertura entre todos os

parâmetros avaliados nos estudos incluídos (Figura 12). A conversão alimentar foi mensurada em 23 estudos (67,6%), o consumo de ração em 22 (64,7%) e o ganho de peso em 21 (61,8%), configurando o conjunto de variáveis com cobertura acima de 50% na revisão. A prevalência desse trio de indicadores reflete o caráter predominantemente zootécnico dos experimentos analisados, nos quais a quantificação do impacto das micotoxinas sobre a eficiência de utilização da ração e sobre o crescimento das aves constitui o principal desfecho de interesse (Santin *et al.*, 2003; Rauber *et al.*, 2013; Mota *et al.*, 2019; Vidal *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2025). O peso inicial dos animais, necessário para a correta interpretação dos ganhos de peso acumulados ao longo do experimento, foi informado por 13 estudos (38,2%), evidenciando que nem todos os trabalhos disponibilizaram esse dado de referência, o que compromete a comparação direta dos resultados entre estudos com grupos animais de diferentes pesos de entrada.

Figura 12 – Cobertura das variáveis reportadas nos estudos



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Os indicadores de saúde e integridade orgânica apresentaram cobertura intermediária ou baixa, conforme visualizado na Figura 12. Os achados histopatológicos foram descritos em 11 estudos (32,4%), com ênfase em lesões hepáticas e renais decorrentes da ação de aflatoxinas e fumonisinas (Simas, 2010; Carão, 2016; Neeff, 2016; Kraieski *et al.*, 2017; Sousa, 2020). A mortalidade acumulada foi registrada em dez estudos (29,4%), com percentuais que variaram de 0% em grupos com doses baixas ou suplementados com adsorventes até 44% no grupo de maior dose de aflatoxinas de Neeff (2016) e 28,1% no grupo

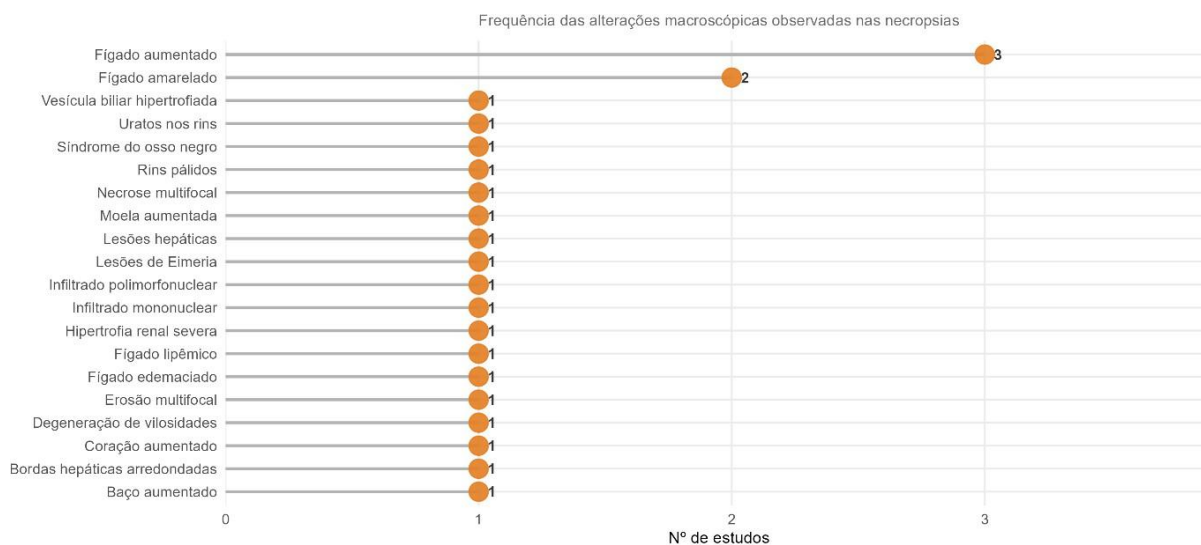
tratado com 3 mg/kg de AFB1 em Lopes *et al.* (2006), valores que ilustram a gravidade do quadro de aflatoxicose aguda em frangos de corte sem proteção farmacológica.

O peso relativo do fígado, indicador sensível de hepatomegalia induzida por hepatotoxinas, foi mensurado em nove estudos (26,5%), da mesma forma que os achados macroscópicos em necropsia e as alterações bioquímicas séricas (26,5% cada), sendo as bioquímicas investigadas principalmente nos estudos com contaminação mista e fumonisinas (Rauber *et al.*, 2013; Sobrane Filho *et al.*, 2016; Dazuk *et al.*, 2020; Armanini, 2021a; Armanini *et al.*, 2021b). Os sinais clínicos foram a variável com menor cobertura, reportados em apenas três estudos (8,8%), com manifestações como anorexia, diarreia, dificuldade de coagulação sanguínea e hemorragias (Miglino, 2012; Carão, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016). A baixa frequência de registro de sinais clínicos pode indicar tanto ausência de manifestações evidentes nas doses empregadas quanto ausência de sistematização na coleta e descrição dessas informações nos protocolos experimentais adotados.

4.4 ACHADOS CLÍNICOS, PATOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS

Os achados macroscópicos foram descritos em 9 dos 34 estudos (26,5%), com predominância de alterações no sistema hepatobiliar (Figura 13). O fígado aumentado de volume foi a lesão macroscópica mais frequente, registrada em três estudos (Oliveira *et al.*, 2007a; Miglino, 2012; Eckhardt *et al.*, 2014), seguido por coloração amarelada do parênquima hepático em dois estudos (Oliveira *et al.*, 2004; Miglino, 2012). Outras alterações hepáticas macroscópicas incluíram bordas arredondadas, fígado lipêmico e fígado edemaciado, cada uma registrada por um único estudo (Miglino, 2012; Carão, 2016). A hepatomegalia associada à icterícia e às alterações de coloração é expressão macroscópica da lesão hepatocelular aguda e crônica provocada pelas aflatoxinas e fumonisinas, compatível com os padrões de degeneração e esteatose identificados microscopicamente nos mesmos estudos. A alta frequência das alterações hepáticas entre todos os achados macroscópicos registrados confirma o fígado como principal órgão-alvo das micotoxinas nas aves avaliadas.

Figura 13 – Achados macroscópicos reportados



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

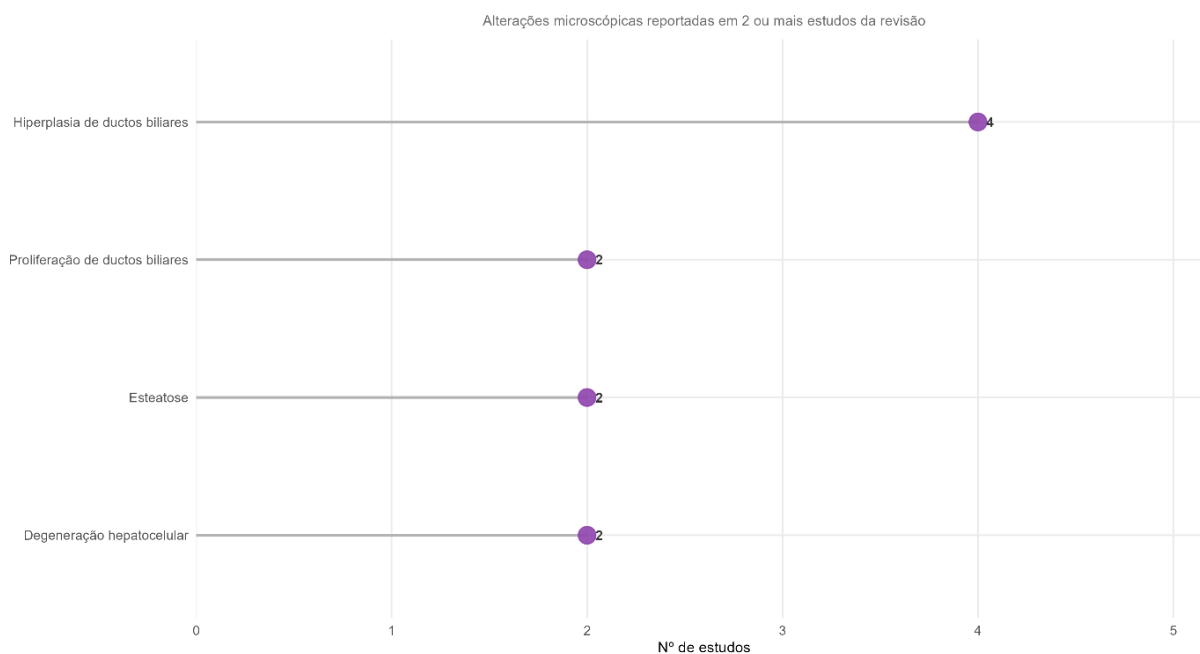
Além das lesões hepáticas, o estudo de Miglino (2012), conduzido com contaminação natural por aflatoxinas e fumonisinas em frangos de corte, registrou um conjunto expressivo de alterações renais: hipertrofia renal severa, rins pálidos e deposição de uratos nos túbulos renais, além de vesícula biliar hipertrofiada. Esse quadro de nefrotoxicidade grave é consistente com a ação das fumonisinas sobre o epitélio tubular renal, mecanismo também documentado histopatologicamente por Rauber *et al.* (2013) em frangos expostos a 100 e 200 mg/kg de FB1, que descreveram necrose do epitélio tubular renal.

Eckhardt *et al.* (2014), ao trabalhar com 3 mg/kg de AFB1, observaram hipertrofia simultânea de moela, coração e baço, indicando comprometimento sistêmico pela aflatoxicose de maior intensidade. Ferreira *et al.* (2025), com exposição aguda a deoxinivalenol, descreveram degeneração de vilosidades intestinais, necrose multifocal, erosão multifocal e infiltrados mononuclear e polimorfonuclear, alterações características do tropismo do DON pelo epitélio intestinal e de relevância direta para a absorção de nutrientes e integridade da barreira entérica.

A Figura 14 apresenta os achados histopatológicos descritos em dois ou mais estudos incluídos na revisão, que totalizaram quatro lesões recorrentes entre as aproximadamente 38 alterações microscópicas identificadas nos 11 estudos que realizaram avaliação histopatológica. A hiperplasia de ductos biliares foi o achado histológico mais consistente, registrado em quatro estudos envolvendo aflatoxinas e fumonisinas em codornas e frangos de corte (Oliveira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2007a; Miglino, 2012; Rauber *et al.*, 2013). A

proliferação de ductos biliares, alteração estruturalmente relacionada, foi descrita por Oliveira *et al.* (2002) e Kobashigawa *et al.* (2019). Esses dois achados refletem resposta adaptativa do parênquima hepático à agressão tóxica crônica, compatível com colestase periportal progressiva, e são coerentes com a elevação de GGT documentada nos estudos que avaliaram bioquímica sérica (Rauber *et al.*, 2013; Carão, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016). A esteatose hepatocelular foi identificada em dois estudos com exposição a aflatoxinas e contaminação mista natural (Oliveira *et al.*, 2004; Kobashigawa *et al.*, 2019), e a degeneração hepatocelular foi descrita por Rauber *et al.* (2013) e Carão (2016).

Figura 14 – Achados histopatológicos mais frequentes



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Achados histopatológicos registrados em estudos individuais ampliam a compreensão dos mecanismos de toxicidade e dos órgãos secundariamente afetados. Simas (2010), em frangos com contaminação mista, descreveu degeneração vacuolar microgoticular, infiltrados inflamatórios heterofílico e linfocítico, hepatite, ventriculite e nefrite intersticial, evidenciando comprometimento multissistêmico pela co-exposição às duas classes de toxinas. Neeff (2016) documentou, em grupos com doses elevadas de AFB1 e fumonisinas, distorção da arquitetura da bursa de Fabricius com ativação e proliferação de linfócitos, além de degeneração hepatocelular intensa e degeneração tubular renal.

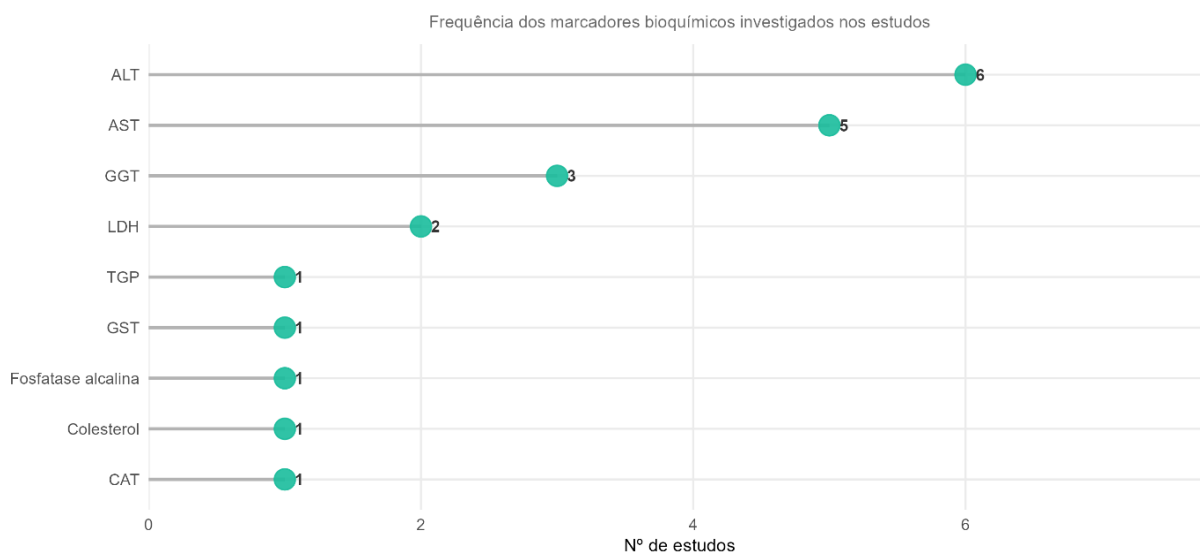
A lesão na bursa de Fabricius é de importância zootécnica e sanitária direta, uma vez que esse órgão é responsável pela maturação de linfócitos B e pela capacidade humoral de

resposta às vacinas aplicadas no período de crescimento dos frangos, tornando o lote mais vulnerável a doenças infecciosas (Neeff, 2016; Kraieski *et al.*, 2017). Sousa (2020) descreveu, em pintos expostos a FB1, diminuição da altura das vilosidades e redução da profundidade das criptas no intestino delgado, comprometimento da superfície absorptiva que se traduz em menor aproveitamento dos nutrientes da dieta e piora dos índices de conversão alimentar.

A Figura 15 apresenta a frequência dos marcadores bioquímicos séricos avaliados nos nove estudos que realizaram análises dessa natureza. A alanina aminotransferase (ALT) foi o marcador mais utilizado, mensurado em seis estudos (Rauber *et al.*, 2013; Carão, 2016; Neeff, 2016; Dazuk *et al.*, 2020; Armanini, 2021a; Armanini *et al.*, 2021b), seguida pela aspartato aminotransferase (AST) em cinco estudos (Rauber *et al.*, 2013; Carão, 2016; Neeff, 2016; Sousa, 2020; Armanini, 2021a) e pela gama-glutamil transferase (GGT) em três (Rauber *et al.*, 2013; Carão, 2016; Sobrane Filho *et al.*, 2016).

A lactato desidrogenase (LDH) foi avaliada em dois estudos (Carão, 2016; Neeff, 2016), enquanto fosfatase alcalina, colesterol e transaminase glutâmico-pirúvica (TGP, equivalente à ALT) foram registrados exclusivamente por Simas (2010). A predominância de ALT, AST, GGT e LDH entre os biomarcadores investigados reflete a orientação dos estudos para o diagnóstico de hepatotoxicidade, com essas enzimas funcionando como indicadores de dano hepatocelular agudo (ALT e AST), colestase biliar (GGT) e necrose tecidual (LDH), padrão bioquímico coerente com os achados macroscópicos e histopatológicos de hepatomegalia, proliferação ductal e degeneração hepatocelular descritos nos mesmos estudos.

Figura 15 – Marcadores bioquímicos séricos avaliados



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Dois estudos avaliaram marcadores de estresse oxidativo hepático para além das transaminases convencionais. Sousa (2020) mensurou a atividade da glutathione S-transferase (GST) e da catalase (CAT) em pintos de corte expostos a 10 mg/kg de FB1, identificando alterações nessas enzimas antioxidantes que foram mais evidentes aos 10 dias de consumo da ração contaminada. Esse achado indica que a fumonisíose induz desequilíbrio do sistema antioxidante hepático em estágio precoce do desenvolvimento das aves, com implicações para a integridade funcional do hepatócito e para a capacidade metabólica de destoxificação de outros compostos presentes na dieta.

Dazuk *et al.* (2020), em poedeiras expostas a fumonisinas associadas à toxina T-2, também registraram elevação de ALT, reforçando que a hepatotoxicidade induzida por micotoxinas não se restringe aos frangos de corte e pode comprometer igualmente a função hepática e o desempenho produtivo de aves em fase de postura. A diversidade de biomarcadores empregados e a ausência de padronização entre protocolos bioquímicos limitam comparações quantitativas diretas entre experimentos, sinalizando a necessidade de consenso metodológico nas pesquisas sobre micotoxinas em aves no Brasil.

4.5 IMPACTO NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

O desempenho zootécnico representa o conjunto de variáveis que refletem de maneira objetiva a eficiência produtiva das aves submetidas a determinados tratamentos, sendo o ganho de peso (GP), o consumo de ração (CR) e a conversão alimentar (CA) os indicadores

mais frequentemente avaliados nos estudos desta revisão. Do total de 34 estudos incluídos, 21 (61,8%) registraram dados de ganho de peso, 22 (64,7%) de consumo de ração e 23 (67,6%) de conversão alimentar, constituindo o grupo de variáveis com maior cobertura após os achados histopatológicos. A Figura 16 apresenta a distribuição dos valores de ganho de peso por tipo de toxina e espécie animal, revelando amplitude considerável nos dados e tendência de redução nas linhagens expostas às maiores doses de micotoxinas.

O ganho de peso em frangos de corte submetidos a aflatoxinas demonstrou padrão marcadamente dose-dependente ao longo dos estudos. Em dosagens reduzidas (0,5 mg/kg), os efeitos foram modestos: Santin *et al.* (2003) observaram ganhos entre 2.417 e 2.475 g ao longo de 42 dias, sem diferenças expressivas em relação ao controle (2.475 g); Rosa *et al.* (2012), em período de 21 dias, registraram ganhos de 743 a 784 g frente a controles de 777 g; e Mota *et al.* (2019) obtiveram valores de 3.144 e 3.145 g contra 3.159 g no grupo controle.

Em contrapartida, doses elevadas produziram reduções substanciais: Lopes *et al.* (2006), com 3 mg/kg de aflatoxinas totais durante 42 dias, verificaram queda de aproximadamente 36% no GP em relação ao controle (de 2.421 g para valores entre 1.550 e 1.795 g); Eckhardt *et al.* (2014), com a mesma concentração e período, registraram redução entre 25% e 40% (de 2.721-2.750 g para 1.628-2.006 g). Esses resultados indicam que o limiar de comprometimento significativo do ganho de peso para frangos de corte se situa consistentemente acima de 1 mg/kg de aflatoxinas, evidenciando relação concentração-resposta bem estabelecida para essa classe de toxinas.

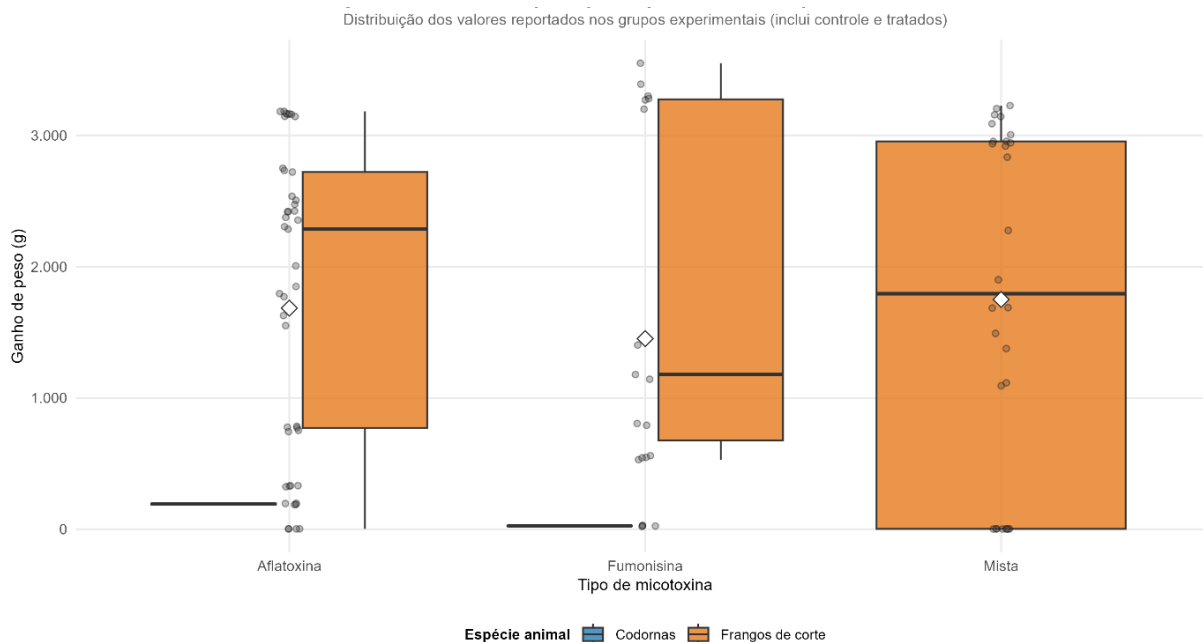
A fumonisina, por sua vez, provocou impactos igualmente relevantes no ganho de peso, ainda que com padrão dose-dependente menos uniforme que o observado para as aflatoxinas. Rauber *et al.* (2013), com doses de 100 e 200 mg/kg de fumonisinas B1 e B2 em 28 dias de experimento, verificaram reduções de 16,0% e 18,6% no GP dos frangos de corte (de 1.403 g para 1.178 e 1.142 g, respectivamente). Sousa (2020), utilizando 10 mg/kg em 20 dias, obteve valores entre 530 e 560 g, com discreta redução frente ao controle (560 g). Rosa Júnior *et al.* (2022), com 2,78 mg/kg em 21 dias, registraram queda de 805 para 792 g, diferença percentualmente pequena.

Em estudos de contaminação mista por aflatoxinas e fumonisinas, as perdas de desempenho mostraram-se amplificadas: Miglino (2012) relatou redução de 16,5% no GP (de 2.276 para 1.900 g em 35 dias com 0,55 mg/kg de mistura); Sobrane Filho *et al.* (2016) documentaram queda de até 35% (de 1.685 para 1.093 g em 21 dias com 2,1 mg/kg de aflatoxina B1 associada a fumonisina B1), com recuperação parcial nos grupos tratados com adsorventes (1.376-1.492 g). Neeff (2016) também identificou que fumonisinas em dose de 20

mg/kg reduziram o GP de frangos de 2,73 para valores entre 1,55 e 1,63 kg, evidenciando elevada toxicidade dessa concentração. A contaminação simultânea por múltiplas toxinas tende, portanto, a potencializar os efeitos deletérios sobre o crescimento, ainda que estudos com doses muito baixas, como Gonzalez (2013) e Schavetock (2022), não tenham verificado diferenças significativas frente ao controle.

Para espécies alternativas, o impacto no ganho de peso também foi documentado, ainda que com menor volume de dados. Em codornas, Oliveira *et al.* (2003), com 49 mg/kg de aflatoxina B1, observaram redução de GP de 198,1 g (controle) para 188,3 g. Butkeraitis *et al.* (2004), estudando fumonisinas na mesma concentração (49 mg/kg) por período similar, registraram queda de 27,71 g para 20,00 g, representando redução de 27,8%, indicando elevada sensibilidade dessa espécie às fumonisinas em altas doses. Para poedeiras, os estudos disponíveis nesta revisão não registraram valores numéricos de GP, refletindo que o interesse principal da avicultura de postura recai sobre variáveis produtivas específicas, como produção e qualidade dos ovos, não contempladas como variáveis de desempenho no corpus analisado.

Figura 16 – Ganho de peso por espécie animal e tipo de micotoxina



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

O consumo de ração, apresentado na Figura 17, exibiu padrão geral de redução nas aves expostas a concentrações mais elevadas de micotoxinas, com magnitude variável conforme a toxina, a dose e a espécie avaliada. Nos frangos de corte submetidos a aflatoxinas, Lopes *et al.* (2006) verificaram a redução mais expressiva: o CR caiu de 3.859 g (controle)

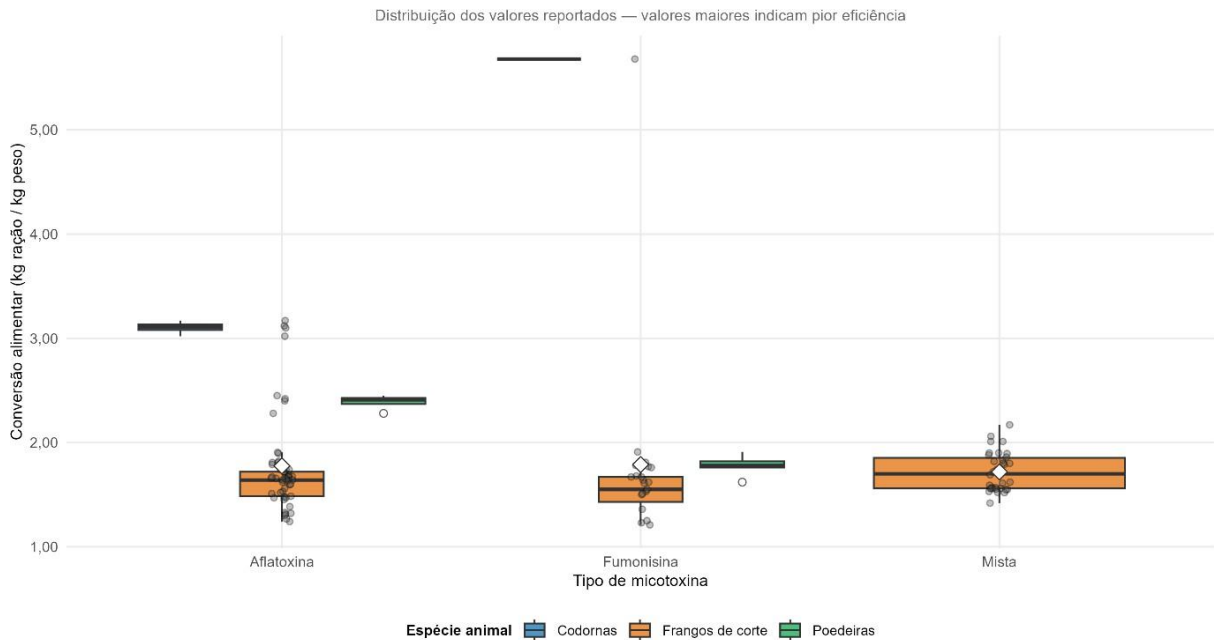
para 2.421 g nos grupos com 3 mg/kg ao longo de 42 dias, representando decréscimo de 37,3%. Eckhardt *et al.* (2014), nas mesmas condições de dose e período, relataram queda de 4.732 g para valores entre 2.805 e 3.508 g nos grupos aflatoxinados.

Em doses mais baixas, as alterações foram moderadas: Santin *et al.* (2003) encontraram redução de 4.691 para 4.530-4.600 g com 0,5 mg/kg; Mota *et al.* (2019), com a mesma dose em 45 dias, obtiveram consumos entre 5.199 e 5.247 g frente a controles de 5.206-5.256 g, sem expressividade prática. Kraieski *et al.* (2017), avaliando 0,4 mg/kg de aflatoxina B1 durante 21 dias, documentaram variações entre 1.071 e 1.285 g sem tendência dose-dependente clara. Esses resultados apontam que a redução do CR decorre primariamente de efeitos sobre o apetite e a palatabilidade das rações, fenômeno frequentemente associado à ação hepatotóxica e à interferência das aflatoxinas no metabolismo energético e proteico das aves (Santin *et al.*, 2003; Eckhardt *et al.*, 2014).

O consumo de ração nas aves expostas a fumonisinas e a misturas de micotoxinas revelou comportamentos mais heterogêneos. Rauber *et al.* (2013) registraram redução de CR de 2.376 g para 2.205 g (100 mg/kg) e 2.137 g (200 mg/kg) em 28 dias, configurando padrão dose-dependente. Sousa (2020), contudo, observou aumento no CR (de 600 para 664-741 g) com fumonisina a 10 mg/kg em 20 dias, sugerindo possível hiperfagia compensatória em resposta aos déficits metabólicos induzidos pela toxina.

Em contaminação mista, Sobrane Filho *et al.* (2016) documentaram a redução mais acentuada da série: de 3.169 g no controle para 1.551 g nos grupos com 2,1 mg/kg de aflatoxina B1 associada a fumonisina B1, sendo que a inclusão de adsorventes promoveu recuperação parcial para 2.504-2.775 g. Armanini (2021), com mistura de aflatoxina e fumonisina em 20,05 mg/kg ao longo de 42 dias, verificou redução de 5.220 para 5.110-5.120 g, efeito menos pronunciado. Para poedeiras, Oliveira *et al.* (2001) registraram variações não monotônicas no CR com aflatoxina B1 (de 88,2 g no controle para 81,8 a 91,9 g), enquanto Dazuk *et al.* (2020), com fumonisina e toxina T-2, relataram reduções de 111,8 para 78,2-97,0 g. A ausência de padrão uniforme em poedeiras reforça a influência do ciclo de postura sobre as respostas metabólicas e de ingestão frente às micotoxinas.

Figura 17 – Conversão alimentar por espécie animal e tipo de micotoxina



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A conversão alimentar (CA), indicador síntese da eficiência com que as aves transformam o alimento consumido em massa corporal, revelou tendência de piora (elevação do índice) nas aves micototoxicadas, conforme evidenciado na Figura 18. Para frangos de corte expostos a aflatoxinas, a piora da CA foi consistente nos estudos com doses superiores a 1 mg/kg: Lopes *et al.* (2006) registraram CA de 1,595 no controle e valores entre 1,561 e 1,707 nos grupos aflatoxinados com 3 mg/kg; Rosa *et al.* (2012) documentaram piora progressiva com 0,5 mg/kg (1,328-1,385) e 0,75 mg/kg (1,454-1,485) frente ao controle (1,321); Kraieski *et al.* (2017) observaram elevação de 1,62 para 1,74-1,82 com 0,4 mg/kg de AFB1 em 21 dias.

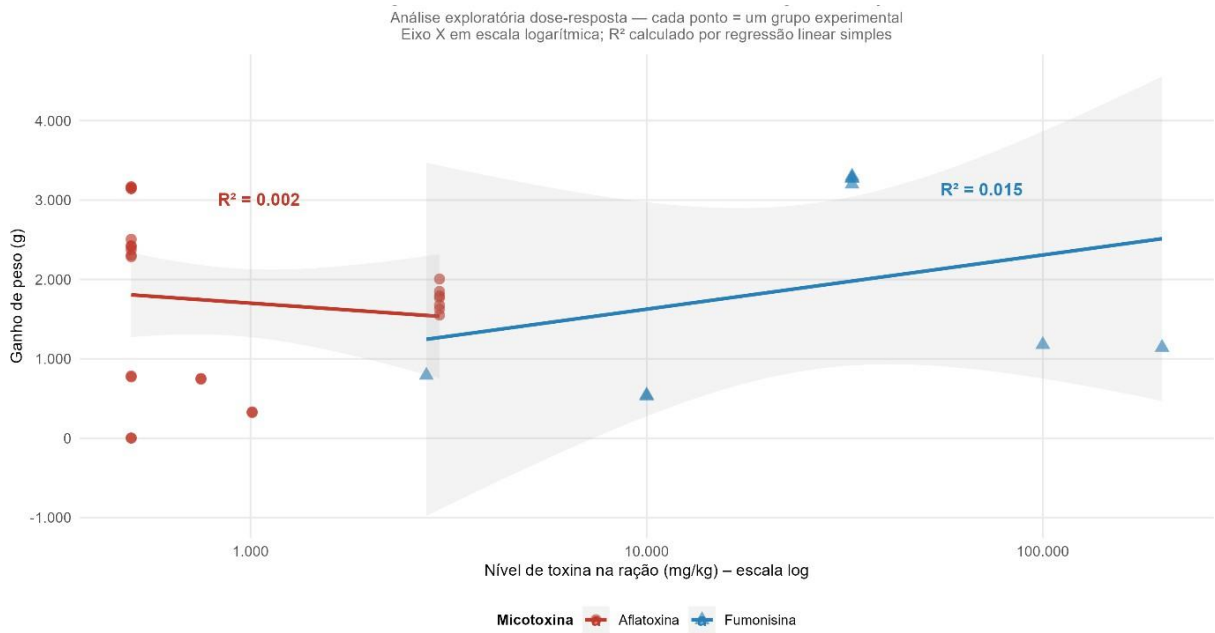
Em doses baixas, os efeitos foram menos expressivos: Keller *et al.* (2012) encontraram CAs de 1,47-1,52 nos grupos aflatoxinados (AFB1 1,01 mg/kg) frente a 1,48-1,53 no controle; Mota *et al.* (2019), com 0,5 mg/kg em 45 dias, registraram CA de 1,63-1,67 frente a 1,64-1,67 no controle, sem diferença prática. Carão (2016) identificou leve piora de 1,24-1,30 para 1,27-1,31 com 0,5 mg/kg de AFB1. Esses dados indicam que a CA se deteriora de forma mais pronunciada quando a queda do ganho de peso supera a redução do consumo de ração, situação que se torna comum em doses moderadas a altas de aflatoxinas, nas quais o metabolismo energético e a síntese proteica são comprometidos de maneira desproporcional ao efeito anorético.

Para fumonisinas e contaminações mistas, a CA também demonstrou piora, embora

com variações entre estudos atribuíveis às diferenças nas doses, períodos e linhagens avaliadas. Rauber *et al.* (2013) verificaram elevação da CA de 1,64 (controle) para 1,81 com 100 mg/kg e 1,77 com 200 mg/kg de fumonisinas, em padrão contraditório para a dose mais alta, provavelmente decorrente da maior mortalidade nos grupos mais expostos. Sousa (2020) registrou piora de 1,21 para 1,25-1,36 com fumonisina a 10 mg/kg em 20 dias, e Rosa Júnior *et al.* (2022), com 2,78 mg/kg, obtiveram CA de 1,50 frente a 1,53 no controle, sem diferença expressiva.

Em contaminação mista, Kobashigawa *et al.* (2019) encontraram CA de 1,9 nos grupos aflatoxinados contra 1,8 no controle; Armanini (2021), com 20,05 mg/kg de mistura em 42 dias, observou elevação de 1,59 para 1,61-1,69; Schavetock (2022), com doses baixas de mistura (0,15 mg/kg), registrou valores entre 1,52 e 1,57 frente a 1,52 no controle, sem impacto prático. Neeff (2016) documentou o caso mais extremo de piora da CA em função de fumonisinas: aves com 0,5 mg/kg de AFB1 apresentaram CA de 2,01-2,17, muito superior ao controle (1,71-1,72), sendo essa diferença explicada pela severa redução do GP sem redução proporcional do CR. Considerados em conjunto, os dados das Figuras 16 a 18 evidenciam que o impacto das micotoxinas sobre o desempenho zootécnico das aves é multifatorial, dose-dependente e modulado pela espécie, pela associação entre toxinas e pela presença de adsorventes na dieta, reforçando a importância do controle preventivo da contaminação em toda a cadeia produtiva avícola (Oliveira *et al.*, 2002; Lopes *et al.*, 2006; Eckhardt *et al.*, 2014; Rauber *et al.*, 2013; Mota *et al.*, 2019; Schavetock, 2022; Prigol, 2023).

Figura 18 – Relação entre nível de toxina e ganho de peso



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

5 CONCLUSÃO

A revisão integrativa de 34 estudos experimentais conduzidos no Brasil entre 2001 e 2025 evidenciou que a exposição de aves a rações contaminadas por micotoxinas compromete de forma consistente o desempenho produtivo e a integridade sanitária, com padrão dose-dependente bem estabelecido para aflatoxinas e fumonisinas. O fígado mostrou-se o órgão-alvo primário em ambas as classes de toxinas, com achados macroscópicos e histopatológicos recorrentes de hepatomegalia, lipidose e necrose centrolobular, associados a elevações das enzimas hepáticas e a quadros de imunossupressão. O ganho de peso e a conversão alimentar foram as variáveis zootécnicas mais afetadas, com reduções expressivas documentadas especialmente em frangos de corte expostos a concentrações de aflatoxinas superiores a 1 mg/kg e de fumonisinas acima de 100 mg/kg, sendo os efeitos potencializados na contaminação mista. O corpus analisado revelou lacunas relevantes quanto à representação de codornas, poedeiras e regiões produtoras além do Sul e Sudeste, indicando a necessidade de pesquisas com maior diversidade de espécies, condições de campo e estratégias combinadas de controle micotoxicológico.

REFERÊNCIAS

- ARMANINI, E. H. **Adição de produtos naturais na forma isolada (silimarina) e combinada (blend fitogênico) na dieta de frangos de corte contaminada por micotoxinas: impactos sobre desempenho, saúde das aves e qualidade de carne.** 2021. 80 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, 2021. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/handle/UDESC/15174>. Acesso em: 2 maio 2026.
- ARMANINI, E. H.; BOIAGO, M. M.; OLIVEIRA, P. V.; ROSCAMP, E.; STRAPAZZON, J. V.; LIMA, A. G.; COPETTI, P. M.; MORSCH, V. M.; OLIVEIRA, F. C.; WAGNER, R.; SANTURIO, J. M.; ROSA, G.; DA SILVA, A. S. Inclusion of a phytogenic blend in broiler diet as a performance enhancer and anti-aflatoxin agent: impacts on health, performance, and meat quality. **Research in Veterinary Science**, [s. l.], v. 137, p. 186-193, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.05.004>. Acesso em: 30 abr. 2026.
- BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 5, n. 11, p. 121-136, maio/ago. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220>. Acesso em: 2 maio 2026.
- BUTKERAITIS, P.; OLIVEIRA, C. A. F.; LEDOUX, D. R.; OGIDO, R.; ALBUQUERQUE, R.; ROSMANINHO, J. F.; ROTTINGHAUS, G. E. Effect of dietary fumonisin B1 on laying Japanese quail. **British Poultry Science**, London, v. 45, n. 6, p. 798-801, dez. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071660400012766>. Acesso em: 28 abr. 2026.
- CARÃO, A. C. P. **Determinação de biomarcadores de aflatoxina B1 e aplicabilidade na avaliação da eficiência de adsorventes em frangos de corte.** 2016. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.10.2016.tde-11052016-172125>. Acesso em: 2 maio 2026.
- DAZUK, V.; BOIAGO, M. M.; ROLIM, G.; PARAVISI, A.; COPETTI, P. M.; BISSACOTTI, B. F.; MORSCH, V. M.; VEDOVATTO, M.; GAZONI, F. L.; MATTE, F.; GLORIA, E. M.; DA SILVA, A. S. Laying hens fed mycotoxin-contaminated feed produced by *Fusarium* fungi (T-2 toxin and fumonisin B1) and *Saccharomyces cerevisiae* lysate: impacts on poultry health, productive efficiency, and egg quality. **Microbial Pathogenesis**, [s. l.], v. 149, p. 104517, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104517>. Acesso em: 30 abr. 2026.
- ECKHARDT, J. C.; SANTURIO, J. M.; ZANETTE, R. A.; ROSA, A. P.; SCHER, A.; DAL POZZO, M.; ALVES, S. H.; FERREIRO, L. Efficacy of a Brazilian calcium montmorillonite against toxic effects of dietary aflatoxins on broilers reared to market weight. **British Poultry Science**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 215-220, abr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.883065>. Acesso em: 28 abr. 2026.
- FERREIRA, J. M.; LEVANDOWSKI, R.; FREITAS, C. P.; AGUIRRE, H. M.; LUI, J. F. M.; MOTTA, A. C.; PEIXOTO, C. S.; FACCO, G.; FAVERO, A.; RODRIGUES, L. B.; SANTOS, L. R.; PILOTTO, F. Deactivation of deoxynivalenol in wheat with ammonia gas and its impact on broiler performance. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s. l.], v. 77, n. 6, p. 1-8, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162->

13523. Acesso em: 30 abr. 2026.

GONZALEZ, N. F. G. **Aditivos anti-micotoxinas em dietas para frangos de corte**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/items/dae5f2c1-a8f7-4ca5-8105-2880723f9d7e>. Acesso em: 2 maio 2026.

KELLER, K. M.; OLIVEIRA, A. A.; ALMEIDA, T. X.; KELLER, L. A. M.; QUEIROZ, B. D.; NUNES, L. M. T.; CAVAGLIERI, L. R.; ROSA, C. A. R. Efeito de parede celular de levedura sobre o desempenho produtivo de frangos de corte intoxicados com aflatoxina B1. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, Seropédica, v. 34, n. 2, p. 101-105, abr./jun. 2012. Disponível em: <https://bjvm.org.br/BJVM/article/view/701>. Acesso em: 28 abr. 2026.

KOBASHIGAWA, E.; CORASSIN, C. H.; FRANCO, L. T.; ULIANA, R. D.; OLIVEIRA, C. A. F. Aflatoxins and fumonisins in feed from a broiler operation system from São Paulo state, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 2, e20180888, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180888>. Acesso em: 29 abr. 2026.

KRAIESKI, A. L.; HAYASHI, R. M.; SANCHES, A.; ALMEIDA, G. C.; SANTIN, E. Effect of aflatoxin experimental ingestion and *Eimeria* vaccine challenges on intestinal histopathology and immune cellular dynamic of broilers: applying an intestinal health index. **Poultry Science**, [s. l.], v. 96, n. 4, p. 1078-1087, abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pew397>. Acesso em: 29 abr. 2026.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D. G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GÖTZSCHE, P. C.; IOANNIDIS, J. P. A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **PLoS Medicine**, San Francisco, v. 6, n. 7, p. e1000100, jul. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>. Acesso em: 2 maio 2026.

LOPES, J. M.; RUTZ, F.; MALLMANN, C. A.; TOLEDO, G. S. P. Adição de bentonita sódica como adsorvente de aflatoxinas em rações de frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1594-1599, set./out. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500040>. Acesso em: 28 abr. 2026.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto e Contexto Enfermagem**, Florianópolis, v. 17, n. 4, p. 758-764, out./dez. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>. Acesso em: 2 maio 2026.

MIGLINO, L. B. **Efeito de milho naturalmente contaminado com micotoxinas sobre imunidade e desempenho em frangos de corte**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/27772>. Acesso em: 28 abr. 2026.

MOTA, M. M.; HERMES, R. G.; ARAÚJO, C. S. S.; PEREIRA, A. S. C.; ULTIMI, N. B. P.; LEITE, B. G. S.; ARAÚJO, L. F. Effects on meat quality and black bone incidence of elevated dietary vitamin levels in broiler diets challenged with aflatoxin. **Animal**, [s. l.], v. 13,

n. 12, p. 2932-2938, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731119001216>. Acesso em: 29 abr. 2026.

NEEFF, D. V. **Efeitos da administração da aflatoxina, fumonisina e curcumina, isoladas ou associadas, sobre a resposta imunológica humoral e determinação de produtos de biotransformação em frangos de corte**. 2016. 133 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.74.2017.tde-22022017-100142>. Acesso em: 2 maio 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; ALBUQUERQUE, R.; CORREA, B.; KOBASHIGAWA, E.; REIS, T. A.; FAGUNDES, A. C. A.; LIMA, F. R. Produção e qualidade dos ovos de poedeiras submetidas à intoxicação prolongada com aflatoxina B1. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 1-4, jul./dez. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v68n1.2p00120011>. Acesso em: 28 abr. 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; BUTKERAITIS, P.; LEDOUX, D. R.; ROTTINGHAUS, G. Efeito da ingestão de fumonisina B1 no peso corporal e na histopatologia de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 284-287, jan./fev. 2007a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000100048>. Acesso em: 28 abr. 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; BUTKERAITIS, P.; ROSMANINHO, J. F.; GUERRA, J. L.; CORREA, B.; REIS, T. A. Alterações hepáticas em codornas japonesas submetidas à intoxicação prolongada por aflatoxina B1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 213-217, jan./fev. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000100033>. Acesso em: 28 abr. 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; OGIDO, R.; LEDOUX, D. R.; ROTTINGHAUS, G. E.; CORRÊA, B.; REIS, T. A.; GONÇALEZ, E. The quality of eggs from Japanese quail, *Coturnix japonica*, fed rations containing aflatoxin B1 and fumonisin B1. **The Journal of Poultry Science**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 29-33, 2007b. Disponível em: <https://doi.org/10.2141/jpsa.44.29>. Acesso em: 28 abr. 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; ROSMANINHO, J. F.; BUTKERAITIS, P.; CORRÊA, B.; REIS, T. A.; GUERRA, J. L.; ALBUQUERQUE, R.; MORO, M. E. G. Effect of low levels of dietary aflatoxin B1 on laying Japanese quail. **Poultry Science**, [s. l.], v. 81, n. 7, p. 976-980, jul. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/ps/81.7.976>. Acesso em: 2 maio 2026.

OLIVEIRA, C. A. F.; ROSMANINHO, J. F.; CASTRO, A. L.; BUTKERAITIS, P.; REIS, T. A.; CORRÊA, B. Aflatoxin residues in eggs of laying Japanese quail after long-term administration of rations containing low levels of aflatoxin B1. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 20, n. 7, p. 648-653, jul. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0265203031000119025>. Acesso em: 28 abr. 2026.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**,

London, v. 372, n. 71, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em: 2 maio 2026.

PEDERSEN, T. L. **patchwork**: the composer of plots. R package version 1.2.0. 2024. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=patchwork>. Acesso em: 2 maio 2026.

PEREIRA, R. H. M.; GONÇALVES, C. N. **geobr**: loads shapefiles of official spatial data sets of Brazil. R package version 1.7.0. 2021. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=geobr>. Acesso em: 2 maio 2026.

PRIGOL, C. **Uso de blend inativador de micotoxinas em dietas de frangos de corte contaminadas por deoxinivalenol e fumonisina**. 2023. 50 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, 2023. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/handle/UDESC/18071>. Acesso em: 2 maio 2026.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 2 maio 2026.

RAUBER, R. H.; OLIVEIRA, M. S.; MALLMANN, A. O.; DILKIN, P.; MALLMANN, C. A.; GIACOMINI, L. Z.; NASCIMENTO, V. P. Effects of fumonisin B1 on selected biological responses and performance of broiler chickens. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Porto Alegre, v. 33, n. 9, p. 1081-1086, set. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000900006>. Acesso em: 28 abr. 2026.

ROSA JÚNIOR, O.; CANGUSSU, A. S. R.; SILVA, A. P. C.; RODRIGUES, K. F.; FÉLIX, M. K. C.; DEUSDARÁ, T. T.; FERREIRA, T. P. S.; BRITO, H. S.; VIANA, K. F.; SOBRINHO, E. M.; AGUIAR, R. W. S.; SANTOS, G. R. Toxicological studies in poultry consuming fumonisin from corn contaminated with Brazilian Amazonian flora. **Revista de Ciencias Agrícolas**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 56-68, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22267/rcia.223902.182>. Acesso em: 30 abr. 2026.

ROSA, A. P.; UTTPATEL, R.; SANTURIO, J. M.; SCHER, A.; DUARTE, V.; SANTOS, C. B.; BOEMO, L. S.; FORGIARINI, J. Desempenho de frangos de corte oriundos de matrizes de corte submetidas a dietas contendo aflatoxinas e glucomananos esterificados como adsorvente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 2, p. 347-352, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200017>. Acesso em: 28 abr. 2026.

ROSSI, C. N.; TAKABAYASHI, C. R.; ONO, M. A.; BORDINI, J. G.; KAWAMURA, O.; VIZONI, E.; HIROOKA, E. Y.; ONO, E. Y. S. Assessment of exposure of broiler chicken in Brazil to mycotoxins through naturally contaminated feed. **Food Security**, [s. l.], v. 5, p. 541-550, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0278-4>. Acesso em: 28 abr. 2026.

SANTIN, E.; PAULILLO, A. C.; KRABBE, E. L.; ALESSI, A. C.; POLVEIRO, W. J. C.; MAIORKA, A. Low level of aflatoxin in broiler at experimental conditions: use of cell wall yeast as adsorbent of aflatoxin. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 51-55, 2003. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/112172369/a4f2311debb6639a48733651219e0994b733.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2026.

SANTIN, E.; PAULILLO, A. C.; NAKAGUI, L. S. O.; ALESSI, A. C.; MAIORKA, A. Evaluation of yeast cell wall on the performance of broiles fed diets with or without

mycotoxins. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 221-225, dez. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2006000400004>. Acesso em: 2 maio 2026.

SCHAVETOCK, B. R. **Eficácia dos ácidos orgânicos comerciais no desempenho de frangos de corte desafiados com micotoxinas**. 2022. 33 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27278>. Acesso em: 2 maio 2026.

SCHNEIDER, A. F. **Interações de adsorvente de micotoxinas com minerais em dietas de frangos de corte**. 2017. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/4427/ALINE_F_LIX_SCHNEIDER_1743771_0942486_4427.pdf. Acesso em: 2 maio 2026.

SIMAS, M. M. S. **Efeitos da radiação gama sobre microbiota fúngica e micotoxinas encontradas em ração de frangos de corte**. 2010. 183 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://inis.iaea.org/records/9dds7-e9153>. Acesso em: 28 abr. 2026.

SOBRANE FILHO, S. T.; JUNQUEIRA, O. M.; LAURENTIZ, A. C.; FILARDI, R. S.; RUBIO, M. S.; DUARTE, K. F.; LAURENTIZ, R. S. Effects of mycotoxin adsorbents in aflatoxin B1- and fumonisin B1-contaminated broiler diet on performance and blood metabolite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 45, n. 5, p. 250-256, maio 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000500007>. Acesso em: 28 abr. 2026.

SOUSA, M. C. S. **Impactos negativos do consumo de ração contaminada com fumonisina na fase inicial de produção de frangos de corte sobre o desempenho, saúde animal e benefícios da suplementação com farinha de açaí (*Euterpe oleracea*)**. 2020. 101 f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, 2020. Disponível em: <https://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/000086/000086fb.pdf>. Acesso em: 2 maio 2026.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, jan./mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1679-45082010rw1134>. Acesso em: 2 maio 2026.

VIDAL, J. K.; SIMÕES, C. T.; MALLMANN, A. O.; TYSKA, D.; PEREIRA, H. V.; MALLMANN, C. A. A three-year study on the nutritional composition and occurrence of mycotoxins of corn varieties with different transgenic events focusing on poultry nutrition. **Veterinary Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 97, fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/vetsci11020097>. Acesso em: 30 abr. 2026.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, Oxford, v. 52, n. 5, p. 546-553, dez. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>. Acesso em: 2 maio 2026.

WICKHAM, H. **ggplot2: elegant graphics for data analysis**. 2. ed. New York: Springer, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 2 maio 2026.

WICKHAM, H.; AVERICK, M.; BRYAN, J.; CHANG, W.; MCGOWAN, L. D.;

FRANÇOIS, R.; GROLEMUND, G.; HAYES, A.; HENRY, L.; HESTER, J.; KUHN, M.; PEDERSEN, T. L.; MILLER, E.; BACHE, S. M.; MÜLLER, K.; OOMS, J.; ROBINSON, D.; SEIDEL, D. P.; SPINU, V.; TAKAHASHI, K.; VAUGHAN, D.; WILKE, C.; WOO, K.;

YUTANI, H. Welcome to the Tidyverse. **Journal of Open Source Software**, [S.l.], v. 4, n. 43, p. 1686, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21105/joss.01686>. Acesso em: 2 maio 2026.