REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

DISTRIBUIÇÃO REGIONAL E FREQUÊNCIA RELATIVA DO COMPLEXO ETIOLÓGICO ASSOCIADO ÀS PODRIDÕES DE ESPIGA DE MILHO NO BRASIL, COM ÊNFASE EM *Waitea zeae*

REGIONAL DISTRIBUTION AND RELATIVE FREQUENCY OF THE ETIOLOGICAL COMPLEX ASSOCIATED WITH CORN EAR ROTS IN BRAZIL, WITH AN EMPHASIS ON *Waitea zeae*

DISTRIBUCIÓN REGIONAL Y FRECUENCIA RELATIVA DEL COMPLEJO ETIOLÓGICO ASOCIADO A LAS PODREDUMBRES DE MAZORCA DE MAÍZ EN BRASIL, CON ÉNFASIS EN *Waitea zeae*

Erich dos Reis Duarte

Professor Doutor, Universidade do Norte do Paraná – BR

E-mail: Erich.duarte@bol.com.br

Adilson de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Orquidário Shekynah - BR

E-mail: Adilson_oliveira@yahoo.com.br

Aline Vanessa Sauer

Professora Doutora, Centro Universitário Filadélfia – UniFil - BR

E-mail: Aline.sauer@uenp.ed.br

Camila Ferreira Miyashiro

Professora Doutora,Universidade do Norte do Paraná – BR

E-mail: Camila.miyashiro@uenp.edu.br

André Luiz Radunz

Professor Doutor, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS - campus Chapecó), Brasil

E-mail: andre.radunz@uffs.edu.br

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Marcelo José Ragazzi

Discente do curso de Agronomia Universidade do Norte do Paraná - PR

E-mail: mjragazzi3780@gmail.com

Bruno Rafael Vasconcelos

Ligier de Tecnologia de Aplicação – Bandeirantes – Pr.

E-mail: brunorafa.vasconcelos@gmail.com

Pamela Mayara Aparecida Pinheiro

Discente do curso de Agronomia Universidade do Norte do Paraná - PR

E-mail: pamelamayara673@gmail.com

Resumo

As podridões de espiga constituem um complexo fitossanitário de composição etiológica variável na cultura do milho (*Zea mays* L.). Este estudo caracterizou a frequência relativa e a distribuição regional de categorias etiológicas associadas às podridões de espiga em propriedades comerciais amostradas nas cinco macrorregiões brasileiras. Foram avaliadas 150 propriedades, sendo 30 por macrorregião, com quatro espigas sintomáticas no estádio R6 por propriedade, totalizando 600 espigas. Os agentes associados às podridões foram caracterizados por isolamento em meio de cultura, identificação morfológica, confirmação molecular e testes de patogenicidade, conforme os procedimentos empregados no estudo. A propriedade constituiu a unidade de análise, e as diferenças entre macrorregiões foram avaliadas pelo teste de Kruskal–Wallis, com ajuste de Holm para os testes globais e comparações par a par pelo teste de Mann–Whitney bilateral, com ajuste de Bonferroni. Foram observadas diferenças significativas entre as macrorregiões para todas as categorias avaliadas ($p < 0,001$). *Fusarium verticillioides* apresentou maior frequência média no Sudeste (27,43 ± 1,57%), *Stenocarpella* spp. no Norte (16,50 ± 1,59%) e o complexo *Fusarium graminearum* (FGSC) no Sul (17,97 ± 1,83%). *Waitea zeae* apresentou frequências médias de 19,23 ± 1,72% no Norte, 17,57 ± 1,45% no Nordeste e 14,63 ± 1,13% no Centro-Oeste, com diferenças significativas entre todas as macrorregiões e maior tamanho de efeito entre as categorias avaliadas ($\varepsilon^2 = 0,885$). A categoria de agentes não identificados apresentou frequências entre 35,30 e 43,50%. Os resultados evidenciam heterogeneidade regional na composição relativa das categorias etiológicas nas propriedades amostradas. A ocorrência de *W. zeae* nas cinco macrorregiões amplia sua caracterização regional, mas não constitui evidência de emergência ou expansão recente. Como foram avaliadas exclusivamente espigas sintomáticas, os resultados não permitem estimar incidência ou severidade das doenças em nível de lavoura.

Palavras-chave: *Zea mays*; Podridões de espiga; *Waitea zeae*; Distribuição regional; Frequência relativa.

Abstract

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Corn ear rots constitute a phytosanitary complex with variable etiological composition in maize (*Zea mays* L.). This study characterized the relative frequency and regional distribution of etiological categories associated with corn ear rots in commercial properties sampled across five Brazilian macroregions. A total of 150 properties were evaluated, with 30 properties per macroregion and four symptomatic ears collected at the R6 growth stage from each property, totaling 600 ears. The agents associated with ear rots were characterized by culture isolation, morphological identification, molecular confirmation, and pathogenicity tests, according to the procedures adopted in the study. The property was considered the unit of analysis, and differences among macroregions were assessed using the Kruskal–Wallis test, with Holm adjustment for the global tests and pairwise comparisons using the two-sided Mann–Whitney test with Bonferroni adjustment. Significant differences among macroregions were observed for all evaluated categories ($p < 0.001$). *Fusarium verticillioides* showed the highest mean frequency in the Southeast (27.43 ± 1.57%), *Stenocarpella* spp. in the North (16.50 ± 1.59%), and the *Fusarium graminearum* complex (FGSC), in the South (17.97 ± 1.83%). *Waitea zeae* showed mean frequencies of 19.23 ± 1.72% in the North, 17.57 ± 1.45% in the Northeast, and 14.63 ± 1.13% in the Central-West, with significant differences among all macroregions and the largest effect size among the evaluated categories ($\varepsilon^2 = 0.885$). Unidentified agents accounted for frequencies ranging from 35.30 to 43.50%. The results demonstrate regional heterogeneity in the relative composition of etiological categories within the sampled properties. The occurrence of *W. zeae* across the five macroregions expands its regional characterization but does not constitute evidence of recent emergence or expansion. Because only symptomatic ears were evaluated, the results do not allow estimation of disease incidence or severity at the field level.

Keywords: *Zea mays*; Corn ear rots; *Waitea zeae*; Regional distribution; Relative frequency.

Resumen

Las pudriciones de mazorca constituyen un complejo fitosanitario de composición etiológica variable en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Este estudio caracterizó la frecuencia relativa y la distribución regional de categorías etiológicas asociadas a las pudriciones de mazorca en propiedades comerciales muestreadas en cinco macrorregiones de Brasil. Se evaluaron 150 propiedades, con 30 propiedades por macrorregión y cuatro mazorcas sintomáticas en el estadio R6 por propiedad, totalizando 600 mazorcas. Los agentes asociados a las pudriciones fueron caracterizados mediante aislamiento en medio de cultivo, identificación morfológica, confirmación molecular y pruebas de patogenicidad, de acuerdo con los procedimientos empleados en el estudio. La propiedad fue considerada la unidad de análisis, y las diferencias entre macrorregiones se evaluaron mediante la prueba de Kruskal–Wallis, con ajuste de Holm para las pruebas globales y comparaciones por pares mediante la prueba bilateral de Mann–Whitney, con ajuste de Bonferroni. Se observaron diferencias significativas entre las macrorregiones para todas las categorías evaluadas ($p < 0,001$). *Fusarium verticillioides* presentó la mayor frecuencia media en el Sudeste (27,43 ± 1,57%), *Stenocarpella* spp. en el Norte (16,50 ± 1,59%) y el complejo *Fusarium graminearum (FGSC)* en el Sur (17,97 ± 1,83%). *Waitea zeae* presentó frecuencias medias de 19,23 ± 1,72% en el Norte, 17,57 ± 1,45% en el Nordeste y 14,63 ± 1,13% en el Centro-Oeste, con diferencias significativas entre todas las macrorregiones y el mayor tamaño del efecto entre las categorías evaluadas ($\varepsilon^2 = 0,885$). Los agentes no identificados presentaron frecuencias entre 35,30 y 43,50%. Los resultados evidencian heterogeneidad regional en la composición relativa de las categorías etiológicas en las propiedades muestreadas. La presencia de *W. zeae* en las cinco macrorregiones amplía su caracterización regional, pero no constituye evidencia de emergencia o expansión reciente. Debido a que se evaluaron exclusivamente mazorcas sintomáticas, los resultados no permiten estimar la incidencia o la severidad de las enfermedades a nivel de parcela.

Palabras clave: *Zea mays*; Pudriciones de mazorca; *Waitea zeae*; Distribución regional; Frecuencia relativa.

1. Introdução

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

O milho (*Zea mays* L.) apresenta elevada importância nos sistemas agroalimentares, sendo utilizado na alimentação humana, na produção de rações e como matéria-prima para diferentes setores industriais. A ampla distribuição geográfica da cultura nas propriedades amostradas e a diversidade dos sistemas de produção favorecem a ocorrência de diferentes problemas fitossanitários, entre os quais se destacam as podridões de espiga (HUNDE, 2025; ERENSTEIN *et al.,* 2022).

As podridões de espiga constituem um complexo etiológico formado por diferentes grupos de fungos, cuja composição relativa pode variar entre ambientes, regiões e sistemas produtivos (DERESSA *et al*., 2024). Entre os principais agentes associados encontram-se espécies dos gêneros *Fusarium* e *Stenocarpella*, além de outros fungos de importância regional (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; MÁRIO; GOZUEN; JULIATTI, 2017). A relevância dessas doenças está relacionada não apenas à redução da qualidade e do rendimento dos grãos, mas também ao potencial de determinados agentes produzirem micotoxinas de interesse para a segurança de alimentos e rações (MUNKVOLD; PROCTOR; MORETTI, 2021; MESTERHÁZY *et al*., 2024).

Fusarium verticillioides consolida-se como o agente etiológico predominantemente associado à podridão rosada da espiga e ao acúmulo de fumonisinas em grãos (ROSA JÚNIOR *et al*., 2019; CAO *et al*., 2022), ao passo que integrantes do complexo de espécies de *Fusarium graminearum* (causadores do complexo *Fusarium graminearum - FGSC*) vinculam-se à biossíntese de micotoxinas das classes dos tricotecenos e da zearalenona (MACHADO *et al*., 2021; MUNKVOLD; PROCTOR; MORETTI, 2021). Concomitantemente, *Stenocarpella maydis* e *Stenocarpella macrospora*, causadoras da podridão de Diplodia, exibem expressiva capacidade de sobrevivência saprofítica na palhada residual, atuando como reservatório primordial de inóculo viável entre safras consecutivas (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; MÁRIO; GOZUEN; JULIATTI, 2017; ANDERSON; WISE, 2024).

Dentre os patógenos emergentes ou subestimados do complexo de podridões de espiga, *Waitea zeae* demanda especial atenção em virtude da escassez de dados epidemiológicos sistematizados sobre sua frequência relativa e amplitude de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

distribuição geográfica no território brasileiro (BLANCO *et al*., 2018). No entanto, o histórico da doença no país remonta ao início dos anos 2000, quando Poltronieri, Trindade e Albuquerque (2002) relataram formalmente a podridão de espigas causada por *Rhizoctonia zeae* no Estado do Pará, confirmando a etiologia da enfermidade mediante o cumprimento dos postulados de Koch. Com o avanço das análises filogenéticas e a reestruturação da nomenclatura micológica, a espécie foi transferida para o gênero *Waitea*, consolidando-se a combinação *Waitea zeae* (Voorhees) J.A. Crouch & Cubeta (STALPERS *et al*., 2021).

Assim, a questão científica não consiste em estabelecer um primeiro registro ou uma suposta emergência recente de *W. zeae* no território nacional (POLTRONIERI; TRINDADE; ALBUQUERQUE, 2002), mas em ampliar a caracterização de sua ocorrência, frequência relativa e distribuição geográfica. A comparação entre macrorregiões também pode contribuir para estabelecer uma linha de base para as áreas amostradas nas cinco macrorregiões sobre a composição relativa do complexo etiológico associado às podridões de espiga (HUNDE, 2025).

Entretanto, diferenças espaciais na frequência de agentes etiológicos não devem ser interpretadas automaticamente como efeitos de clima, genótipo ou práticas de manejo quando essas variáveis não foram mensuradas diretamente (MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2017; DERESSA *et al*., 2024). Nesse contexto, levantamentos nacionais apresentam valor descritivo e podem subsidiar estudos epidemiológicos posteriores especificamente delineados para testar hipóteses relacionadas aos fatores determinantes da distribuição dos patógenos.

Diante dessa lacuna de conhecimento, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a frequência relativa e a distribuição espacial dos principais agentes fúngicos associados às podridões de espiga de milho em cinco macrorregiões brasileiras, com especial ênfase no mapeamento da ocorrência de *Waitea zeae*. Avaliou-se a hipótese de que a composição e a dominância relativa dos componentes desse complexo etiológico apresentam heterogeneidade significativa entre as macrorregiões do país.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

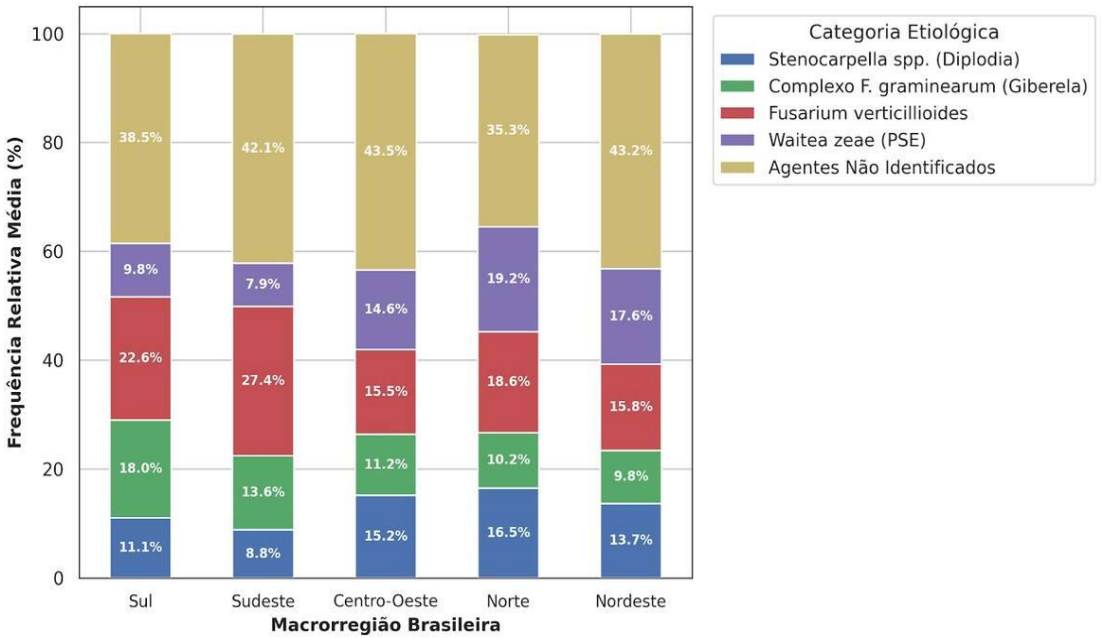
Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

2. Revisão da Literatura

2.1 Complexo etiológico das podridões de espiga de milho

As podridões de espiga constituem um dos principais problemas fitossanitários da cultura do milho (*Zea mays* L.), sendo causadas por um complexo de agentes etiológicos cuja composição pode variar entre regiões, sistemas de produção e condições ambientais. Entre os fungos mais frequentemente associados destacam-se espécies dos gêneros *Fusarium* e *Stenocarpella*, além de outros organismos capazes de colonizar espigas e comprometer a qualidade dos grãos (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; MENDES *et al.*, 2011).

Figura 1. Composição etiológica relativa do complexo de podridões da espiga por macrorregião.



Nota: Barra empilhada mostrando a frequência relativa média (%) por macrorregião (média por propriedade**;** n = 30 propriedades por macrorregião; 4 espigas sintomáticas por propriedade; 120 espigas por macrorregião**).** As categorias etiológicas representadas são: Stenocarpella spp. (Diplodia) — azul; Complexo Fusarium graminearum (Giberela) — verde; Fusarium verticillioides — vermelho; Waitea zeae (PSE) — roxo; Agentes não identificados — bege.

A importância dessas doenças está relacionada não apenas às perdas quantitativas, mas também aos impactos sobre a qualidade tecnológica e sanitária da produção.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Espécies de *Fusarium* podem estar associadas à produção de micotoxinas, incluindo *fumonisinas, tricotecenos e zearalenona*, substâncias que representam risco para a alimentação humana e animal (MUNKVOLD; PROCTOR; MORETTI, 2021; MESTERHÁZY *et al.*, 2024).

A composição do complexo etiológico não é uniforme e pode apresentar diferenças espaciais significativas. Dessa forma, levantamentos fitopatológicos desempenham papel importante na caracterização da frequência relativa dos agentes presentes em diferentes regiões produtoras, contribuindo para a compreensão da epidemiologia das doenças e para o direcionamento de futuras estratégias de manejo (HUNDE, 2025).

2.2 Principais agentes associados às podridões de espiga

Fusarium verticillioides é amplamente relatado entre os principais agentes associados às podridões de espiga, destacando-se pela elevada adaptação à cultura do milho e pela capacidade de produzir fumonisinas. Sua ocorrência tem sido registrada em diferentes ambientes de produção, frequentemente associada à deterioração dos grãos e à redução da qualidade da produção (ROSA JÚNIOR *et al.*, 2019; CAO *et al.*, 2022).

Outro grupo de importância econômica é representado pelo complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC), historicamente associado à denominação *Gibberella zeae*. Esses organismos estão relacionados à podridão do complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC) e à produção de tricotecenos e zearalenona, sendo considerados relevantes para programas de monitoramento fitossanitário e segurança alimentar (MESTERHÁZY *et al.*, 2024).

As espécies de *Stenocarpella*, especialmente *S. maydis* e *S. macrospora*, constituem os agentes etiológicos da podridão de Diplodia. Esses fungos apresentam elevada capacidade de sobrevivência em restos culturais, favorecendo a manutenção do inóculo entre safras e contribuindo para a persistência da doença em áreas de cultivo contínuo de milho (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; MÁRIO; GOZUEN; JULIATTI, 2017).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

A ocorrência e a participação relativa desses agentes variam entre regiões e anos agrícolas, reforçando a necessidade de estudos que permitam caracterizar a composição regional do complexo etiológico associado às podridões de espiga.

2.3 *Waitea zeae* e a lacuna de conhecimento no Brasil

Entre os agentes associados às podridões de espiga, *Waitea zeae* apresenta interesse crescente devido à limitada disponibilidade de informações sobre sua distribuição geográfica e frequência relativa à distribuição nas propriedades amostradas de cinco macrorregiões brasileiras. A espécie corresponde ao organismo anteriormente conhecido como *Rhizoctonia zeae*, posteriormente reposicionado taxonomicamente no gênero *Waitea*.

Nas cinco macrorregiões amostradas, a ocorrência desse patógeno não pode ser considerada recente. Poltronieri, Trindade e Albuquerque (2002) registraram sua presença em espigas de milho no Estado do Pará e confirmaram sua patogenicidade mediante os postulados de Koch. Dessa forma, levantamentos atuais não devem ser interpretados como evidência de introdução ou emergência recente da espécie, mas como oportunidade para ampliar o conhecimento sobre sua distribuição e participação relativa no complexo etiológico das podridões de espiga.

Apesar da importância fitopatológica potencial de *W. zeae*, ainda são escassos estudos comparativos abrangendo diferentes regiões produtoras brasileiras. Essa limitação dificulta a compreensão de sua representatividade em relação a outros agentes etiológicos e evidencia a necessidade de levantamentos sistemáticos da distribuição nas propriedades amostradas.

Nesse contexto, a caracterização da frequência relativa dos principais agentes associados às podridões de espiga em diferentes macrorregiões brasileiras contribui para estabelecer uma linha de base epidemiológica e fornecer subsídios para futuras investigações sobre fatores ambientais, sistemas de cultivo e dinâmica espacial dos patógenos.

3. Metodologia

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

3.1 Área de estudo e plano amostral

O estudo foi conduzido na safra agrícola **2025/2026** (período de amostragem concentrado entre **dezembro de 2025 e abril de 2026**, coincidente com a fase de maturação R6 do milho nas diferentes regiões). A amostragem abrangeu **150 propriedades agrícolas comerciais** distribuídas em **15 estados** pertencentes às cinco macrorregiões geográficas do Brasil (30 propriedades por macrorregião, sendo 10 propriedades por estado selecionado), a saber:

- **Região Sul:** Paraná (Cascavel, Guarapuava, Londrina); Santa Catarina (Chapecó, Xanxerê); Rio Grande do Sul: (Passo Fundo, Erechim).
- **Região Sudeste:** São Paulo (Capão Bonito, Itapetininga); Minas Gerais (Passos, Unaí); Espírito Santo (Linhares).
- **Região Centro-Oeste:** Mato Grosso (Sorriso, BR-163); Mato Grosso do Sul (Dourados) e Goiás (Rio Verde, Jataí);
- **Região Norte:** Pará (Paragominas, Santarém); Rondônia (Vilhena) e Tocantins (Pedro Afonso);
- **Região Nordeste:** Bahia (Luís Eduardo Magalhães, Barreiras); Piauí (Uruçuí); e Maranhão: (Balsas).

3.1.1 Critérios de Inclusão de Propriedades e Seleção Intralavoura das Espigas.

A seleção das propriedades foi conduzida por amostragem de conveniência direcionada a áreas comerciais de milho com histórico produtivo na safra 2025/2026.

Para serem incluídas no estudo, as propriedades rurais deveriam preencher, cumulativamente, os seguintes critérios:

1. Área mínima cultivada com milho comercial de 20 hectares na safra 2025/2026;
2. Lavouras na fase de maturação fisiológica do grão (estádio fenológico R6);

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

3. Presença confirmada de plantas com espigas exibindo sintomas visíveis de podridão.

Em cada propriedade, identificou-se a área de cultivo e selecionaram-se visualmente quatro espigas sintomáticas no estádio R6 (maturação fisiológica), totalizando 600 espigas avaliadas (150 propriedades × 4 espigas).

Tabela 01 - Distribuição do plano amostral de propriedades comerciais por estado e macrorregião (Safra 2025/2026).

Macrorregião	Estados Incluídos	N° Propriedades / Estado	Total de Propriedades	Total de Espigas Sintomáticas
Sul	PR, SC, RS	10	30	120
Sudestee	SP, MG, ES	10	30	120
Centro-Oeste	MT, MS, GO	10	30	120
Norte	PA, RO, TO	10	30	120
Nordeste	BA, PI, MA	10	30	120
Total Brasil (Amostrado)	15 Estados		150	600

Fonte: Autores

Nota: As coordenadas geográficas exatas foram preservadas por segurança patrimonial dos produtores, mantendo-se distância mínima de 15 km entre os pontos amostrais dentro de cada estado.

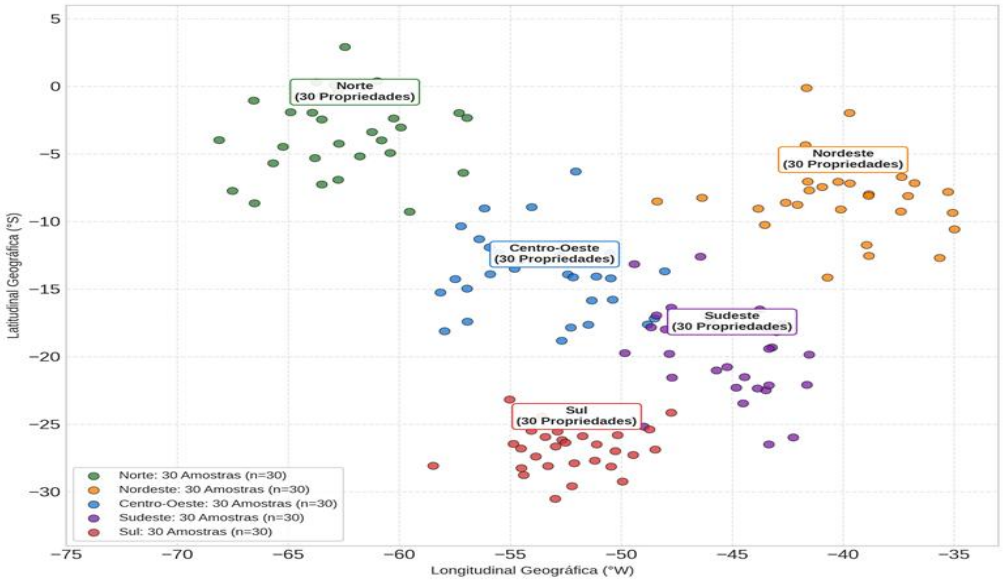
O delineamento seguiu uma distribuição estratificada e homogênea de 30 pontos de amostragem por região (Figura 2).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Figura 2. Mapa de Distribuição Geográfica das 150 Propriedades distribuídas entre cinco regiões (30 propriedades por Macrorregião)



Fonte: Autores

As coletas foram realizadas durante a safra 2025/2026, o milho estava no estádio R6, correspondente à maturação fisiológica dos grãos. Em cada propriedade, foi realizado um caminhamento em formato de ziguezague no talhão comercial (desconsiderando 20 m de bordadura), selecionando-se visualmente **q**uatro espigas sintomáticas no estádio R6, totalizando 600 espigas avaliadas (150 propriedades × 4 espigas).

Nas análises microbiológicas laboratoriais, observou-se que 45% das espigas sintomáticas apresentavam coinfecção (presença simultânea de dois ou mais agentes patogênicos). Nesses casos, adotou-se o critério do isolamento do agente primário/predominante, definido por:

1. Maior severidade/foco de lesão colonizada na área de transição do tecido lesionado;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

2. Agente fúngico com maior número de colônias purificadas obtidas nos fragmentos plaqueados da respectiva espiga.

Quando não foi possível estabelecer a predominância tecidual do patógeno em casos de dupla infecção equivalente, a espiga foi classificada na categoria do agente de maior relevância taxonômica confirmada por PCR, registrando-se a ocorrência simultânea para fins de caracterização epidemiológica secundária.

3.2 Padronização Taxonômica e Resolução Molecular do Complexo *Fusarium graminearum*

A fim de evitar sobreposição taxonômica e atribuições específicas não sustentadas pelos marcadores diagnósticos empregados, padronizou-se a nomenclatura da categoria para o complexo de espécies *Fusarium graminearum* (*Fusarium graminearum* species complex - FGSC) em todo o manuscrito.

O diagnóstico molecular da categoria FGSC fundamentou-se em iniciadores derivados de regiões conservadas (como a amplificação de trechos do rDNA-ITS e do fator de elongação de tradução 1α - *TEF-1α com* primers universais EF-1/EF-2). Considerando que no Brasil a giberela e a frequência dos principais grupos etiológicos investigados entre espigas sintomáticas podem ser causadas por diferentes espécies filogenéticas pertencentes ao FGSC — incluindo a ocorrência documentada de *Fusarium meridionale* ao lado de *Fusarium graminearum sensu stricto* —, a caracterização adotada no presente trabalho restringiu-se ao nível de complexo de espécies. Portanto, descontinuou-se a atribuição individualizada a *Gibberella zeae* ou a *F. graminearum s.s.*, reconhecendo-se que os marcadores utilitários empregados não visaram à discriminação intracomplexo das espécies filogenéticas.

3.3 Coleta e processamento das amostras

Em cada propriedade foram coletadas quatro espigas no estádio fenológico R6, próximas à maturação fisiológica, apresentando sintomas compatíveis com

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

podridões de espiga, como descoloração do sabugo, crescimento micelial, grãos ardidos e lesões necróticas.

Fragmentos retirados da região de transição entre tecidos sadios e lesionados foram submetidos à desinfestação superficial com álcool etílico a 70%, seguida de hipoclorito de sódio a 1% e de lavagens sucessivas em água destilada esterilizada.

Após a desinfestação, os fragmentos foram transferidos para placas contendo meio Batata Dextrose Ágar (BDA) suplementado com sulfato de estreptomicina (200 mg L^{-1}). As placas foram incubadas a 25 ± 2 °C sob fotoperíodo de 12 horas por 7 a 10 dias. Os isolados obtidos foram purificados e identificados por meio da avaliação de características culturais e morfológicas. A confirmação da identidade dos organismos foi complementada por procedimentos moleculares baseados em reação em cadeia da polimerase (PCR), conforme protocolo laboratorial adotado no estudo.

Para fins de análise, os isolados foram agrupados nas seguintes categorias etiológicas:

- *Stenocarpella* spp.;
- *Fusarium verticillioides*;
- Complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC);
- *Waitea zeae*;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Figura 3 - Podridão Salmão da Espiga - PSE



Fonte: Autores

Nota: Aspecto sintomático de espiga de milho infectada por *Waitea zeae*

- Agente não identificado.

A denominação complexa de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC) foi adotada para representar os isolados historicamente associados à *Gibberella*, evitando inconsistências taxonômicas decorrentes do uso isolado da nomenclatura *Fusarium graminearum*.

3.4 Processamento e identificação dos agentes etiológicos

As espigas sintomáticas foram encaminhadas ao laboratório para processamento fitopatológico. Fragmentos de aproximadamente 5 mm² da zona de transição entre tecido sadio e lesionado foram submetidos à antissepsia superficial (álcool 70% por 1 min, hipoclorito de sódio 1% por 2 min e três lavagens em água destilada esterilizada) e transferidos para placas de Petri contendo meio Batata Dextrose Ágar (BDA) suplementado com sulfato de estreptomicina (200 mg L^{-1}). As placas foram incubadas a 25 ± 2 °C, sob fotoperíodo de 12 h, por 7 a 10 dias.

Na apresentação dos resultados, a nomenclatura foi padronizada para *Stenocarpella* spp., complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC), *Fusarium verticillioides* e *Waitea zeae*. A expressão “giberela” é utilizada como denominação da doença,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

enquanto “complexo *Fusarium graminearum*” corresponde à categoria taxonômica empregada na análise. Os isolados fúngicos foram purificados por transferência de hifa apical ou cultura monospórica. A identificação morfológica preliminar baseou-se em chaves taxonômicas especializadas, considerando:

Stenocarpella spp.**:** Presença de picnídios escuros e conídios hialinos, retos ou levemente curvos, uni ou bicelulares (*S. maydis* vs. *S. macrospora*);

Fusarium verticillioides: Colônias de crescimento rápido de coloração esbranquiçada a violeta, microconídios ovoides formados em cadeias longas a partir de monofialides, ausência de macroconídios frequentes e ausência de clamidósporos;

Complexo *Fusarium graminearum* (FGSC): Colônias de coloração carmim a avermelhada, macroconídios falcados multinucleados com célula apical proeminente e presença de peritécios escuros (adotando-se a nomenclatura FGSC para evitar atribuições específicas não sustentadas por marcadores utilitários);

Waitea zeae (sin. *Rhizoctonia zeae*): Colônias inicialmente hialinas, tornando-se salmão a alaranjadas, hifas ramificadas em ângulo reto com estreitamento na base do septo, células monilioides e ausência de conídios verdadeiros;

Agentes Não Identificados: Isolados sem estrutura esporulante definida, sem crescimento, com contaminação saprofítica inviabilizante ou com morfologia não correspondente aos alvos investigados.

3.5 Cálculo da frequência relativa

Os dados foram analisados na forma dos percentuais registrados para cada propriedade rural. Para cada categoria etiológica e macrorregião, a frequência relativa média foi obtida pela média aritmética dos valores registrados nas 30 propriedades pertencentes à respectiva macrorregião. Assim, para uma categoria etiológica *c* na macrorregião *r*, a frequência relativa média foi calculada por:

Frequência relativa média (%) = Σx_i / 30,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

em que x_i representa o percentual registrado para a *i*-ésima propriedade da macrorregião e *i* varia de 1 a 30.

Os valores apresentados nas Tabelas 04 e 05 correspondem, portanto, à sumarização dos 30 registros por propriedade de cada macrorregião. Não foram reconstruídas contagens de espigas a partir desses percentuais e, por essa razão, não se utilizou um denominador para produzir as frequências.

3.6 Organização e sumarização dos dados

Os registros percentuais das 150 propriedades foram organizados segundo a macrorregião de pertencimento. Para cada combinação entre categoria etiológica e macrorregião foram calculados a média aritmética, o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV). A frequência relativa média foi expressa em porcentagem.

O coeficiente de variação foi calculado pela expressão:

$$CV\ (\%) = (DP/\mu) \times 100$$

em que DP corresponde ao desvio-padrão e μ à média dos valores percentuais observados nas 30 propriedades da respectiva combinação categoria × macrorregião.

A propriedade rural foi considerada a unidade amostral primária da análise inferencial (n = 30 por macrorregião). As quatro espigas sintomáticas selecionadas em cada propriedade compuseram o procedimento de amostragem intralavoura e não foram tratadas como observações independentes na análise inferencial, evitando pseudorreplicação.

3.7 Análise inferencial

A adequação dos dados às premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias foi inicialmente examinada por meio dos testes de Shapiro–Wilk e Levene. Considerando a natureza dos percentuais e a não conformidade uniforme com essas premissas, as diferenças entre macrorregiões foram avaliadas separadamente para cada categoria etiológica pelo teste não paramétrico de Kruskal–Wallis.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Quando o teste global foi significativo, as comparações múltiplas entre pares de macrorregiões foram realizadas pelo teste de Dunn, bilateral, com ajuste de Bonferroni, considerando as 10 comparações possíveis entre as cinco macrorregiões e adotando-se α = 0,05. Para controlar a multiplicidade dos cinco testes globais correspondentes às categorias etiológicas, os respectivos *p*-valores foram ajustados pelo procedimento de Holm.

A magnitude das diferenças entre macrorregiões foi quantificada pelo tamanho de efeito ε², calculado a partir da estatística *H* do teste de Kruskal–Wallis pela expressão ε² = (H − *k* + 1) / (*N* − *k*), em que *k* corresponde ao número de grupos e *N* ao número total de propriedades analisadas. Os valores de *H* e ε² apresentados no manuscrito são compatíveis com os resultados recalculados.

Tabela 02 - Análise inferencial da frequência relativa dos agentes etiológicos entre as macrorregiões brasileiras.

Agente etiológico	Kruskal–Wallis (H)	p-valor (Holm)	ε²
Stenocarpella spp.	101,23	<0,001	0,671
Complexo de espécie *Fusarium graminearum* (FGSC)	103,99	<0,001	0,690
Fusarium verticillioides	127,15	<0,001	0,849
Waitea zeae	132,36	<0,001	0,885
Agente não identificado	97,68	<0,001	0,646

Fonte: Autores

Nota: ε² = (H − k + 1)/(N − k), com k = 5 categorias e N = 150 propriedades. Os p-valores globais foram ajustados pelo procedimento de Holm para cinco testes globais. As comparações par a par foram realizadas pelo teste de Dunn, bilateral, com ajuste de Bonferroni dentro de cada categoria (10 pares por categoria).

Como análise complementar da estrutura de dependência existente entre as cinco categorias registradas em uma mesma propriedade, foi ajustado um modelo de Equações de Estimação Generalizadas (GEE), com distribuição Gaussiana e função de ligação identidade, utilizando a propriedade como unidade de agrupamento e estrutura de correlação *exchangeable*, com variância robusta. Foi avaliada a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

interação entre macrorregião e categoria etiológica como teste global de heterogeneidade regional da composição observada.

3.8 Interpretação dos resultados

Os resultados foram interpretados como diferenças na composição relativa das categorias etiológicas entre as propriedades amostradas nas cinco macrorregiões. Como a amostragem foi direcionada exclusivamente a espigas com sintomas de podridão, os percentuais obtidos descrevem a composição observada entre as amostras sintomáticas e não representam incidência ou severidade da doença em nível de lavoura. Essa distinção é coerente com o delineamento descrito no manuscrito.

A análise inferencial foi realizada sobre os percentuais registrados para as 150 propriedades, com 30 propriedades por macrorregião. As quatro espigas avaliadas em cada propriedade não foram tratadas como réplicas independentes. Do mesmo modo, não foram convertidos os percentuais registrados nas propriedades em contagens hipotéticas de espigas para compor um denominador regional.

As diferenças entre macrorregiões foram interpretadas como heterogeneidade regional dentro da estrutura amostral estudada, sem atribuir caráter causal à localização geográfica. Variáveis como condições climáticas, híbridos, histórico da área, práticas de manejo e condições de armazenamento não foram mensuradas de forma padronizada no levantamento e, portanto, não constituem explicações testadas para os padrões observados.

3.9 Análise estatística

Para cada categoria etiológica, a unidade de análise foi a propriedade rural, com 30 propriedades em cada macrorregião e 150 propriedades no conjunto do estudo. A variável analisada correspondeu ao percentual registrado para a respectiva categoria em cada propriedade.

As diferenças entre as cinco macrorregiões foram avaliadas pelo teste de Kruskal–Wallis. Os cinco *p*-valores dos testes globais foram ajustados pelo procedimento de Holm. Quando significativo o teste global, as comparações par a par foram realizadas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

pelo teste de Dunn, bilateral, com ajuste de Bonferroni. As médias, os desvios padrão e os coeficientes de variação foram calculados diretamente a partir dos 30 registros de cada macrorregião.

Para a análise complementar de dependência intra-propriedade, foi utilizado GEE com a propriedade como *cluster*. O efeito da interação macrorregião × categoria etiológica foi avaliado por teste de Wald. A apresentação dos resultados e das tabelas foi baseada exclusivamente na unidade analítica de 150 propriedades, não sendo empregadas frequências absolutas do tipo, nem estimativas de prevalência derivadas de um denominador regional de espigas.

3.10 Teste de patogenicidade

O cumprimento dos Postulados de Koch foi conduzido em câmara de crescimento/casa de vegetação sob condições controladas (25 ± 2 °C, 12 h de luz) utilizando o híbrido comercial suscetível de milho.

Protocolo Detalhado do Teste:

Isolados Testados: Foram submetidos ao teste um subconjunto de 50 isolados representativos (10 isolados por categoria etiológica, contemplando 2 isolados por macrorregião);

Estádio e Inoculação: Plantas de milho no estádio fenológico **R2 (bolha)** foram inoculadas mediante injeção no canal do estilete-estigma;

Volume e Concentração do Inóculo: Injeção de 1,0 mL de suspensão ajustada para 1 x 10^6 conídios mL^{-1} (para *Fusarium* spp. e *Stenocarpella* spp.) e 1 x 10^6 células monilioides/propágulos mL^{-1} (para *W. zeae*);

Controle Negativo: 10 espigas mantidas em testemunha foram inoculadas exclusivamente com 1,0 mL de água destilada esterilizada;

Período e Avaliação: As espigas foram mantidas em câmara úmida por 48 h. Aos 30 dias após a inoculação (estádio R6), avaliou-se a presença de sintomas idênticos aos observados no campo;

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Taxa de Reisolamento: Procedeu-se ao reisolamento a partir das lesões provocadas. Confirmou-se uma taxa de reisolamento e recuperação da identidade morfológica/molecular de 96% para os isolados testados, validando a patogenicidade dos agentes sem inferir teste individualizado para as 600 espigas de campo.

As espigas sintomáticas foram organizadas em bancada para inspeção macroscópica (Figura 2), seguidas do isolamento de fragmentos de tecidos e grãos em meio Batata Dextrose Ágar (BDA) em placas de Petri (Figura 3).

Figura 4 – Bancada de inspeção



Fonte: Autores

Nota: Disposição experimental para triagem, inspeção morfológica e processamento de espigas.

1. *Waitea zeae* (sin. *Rhizoctonia zeae*): colônias inicialmente hialinas, tornando-se salmão a alaranjadas, hifas ramificadas em ângulo reto com estreitamento na base do septo, células monilioides e ausência de conídios verdadeiros.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Figura 5 - BDA em placas de Petri.



Fonte: Autores

Nota: Detalhe de espigas sintomáticas e plaqueamento em meio BDA.

3.11 Confirmação Molecular e Diagnóstico de *Waitea zeae*

A confirmação molecular dos isolados fúngicos obtidos das espigas sintomáticas foi realizada no laboratório de fitopatologia. O DNA genômico total de isolados monospóricos/hifais purificados foi extraído a partir do micélio jovem cultivado em meio BDA por 5 dias a 25 °C, utilizando o protocolo de brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) modificado.

Marcadores e Primers:

A região do espaço transcrito interno do DNA ribossomal (rDNA-ITS) foi amplificada utilizando os primers universais ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') e ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (WHITE et al., 1990). Para a confirmação específica do grupo de anastomose/espécie *Waitea zeae* (basiônimo *Rhizoctonia zeae*), utilizou-se adicionalmente o par de primers específicos WZF (5'-AAG TGT TGG CTT TCG GGT C-3') e WZR (5'-GCA TGA TCC GTA TTA AAG GAG-3'), que amplificam um fragmento de tamanho esperado de ~310 pb.

Reação de PCR (Volume e Composição):

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

As reações de amplificação por PCR foram preparadas para um volume final de 25 µL, contendo:

- 1× Tampão de Reação (*Buffer*);
- 2,0 mM de $MgCl_2$;
- 0,2 mM de cada dNTP;
- 0,4 µM de cada *primer* (foward e reverse);
- 1,0 U de *Taq DNA Polimerase*;
- Aproximadamente 20 ng de DNA genômico do isolado;
- Água ultrapura deionizada (Milli-Q) autoclavada para completar o volume.

Condições de Termociclagem:

As amplificações foram conduzidas em termociclador automático programado com o seguinte perfil térmico:

1. Denaturação inicial: 95 °C por 5 minutos;
2. 35 ciclos contendo:
    - Denaturação: 94 °C por 45 segundos;
    - Anelamento: 55 °C por 45 segundos (para ITS1/ITS4) e 58 °C por 45 segundos (para primers específicos WZF/WZR);
    - Extensão: 72 °C por 1 minuto;
3. Extensão final: 72 °C por 7 minutos;
4. Resfriamento/Conservação a 4 °C.

Os produtos de PCR foram submetidos à eletroforese em gel de agarose a 1,5% (p/v) preparado em tampão TAE 1x, corados com brometo de etídio (ou gel stain) e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

visualizados sob iluminação de luz ultravioleta (UV), com verificação visual do tamanho do *amplicon* (aprox. 550–600 pb para ITS e ~310 pb para *W. zeae*).

Sequenciamento, Comparação e Critérios de Identidade:

Um subconjunto representativo de amplicons obtidos foi purificado e submetido ao sequenciamento bidirecional no sequenciador Sanger automático (ABI 3730xl DNA Analyzer). As sequências consensus geradas foram editadas e alinhadas, e a verificação da identidade foi conduzida por comparação contra o banco de dados público GenBank (NCBI) através da ferramenta BLASTn (*Basic Local Alignment Search Tool*). Adotou-se como critério estrito de confirmação taxonômica uma identidade de sequência de ≥ 98 % e cobertura de query ≥ 95 % com sequências de referência de cepas-tipo depositadas de *Waitea zeae* (sin. *Rhizoctonia zeae*).

Escopo da confirmação molecular:

Os procedimentos de PCR foram empregados como etapa confirmatória em isolados representativos previamente purificados. A base consolidada utilizada para as análises regionais não contém o vínculo individual entre cada isolado e sua propriedade ou macrorregião, nem um registro completo dos resultados de PCR por isolado. Por essa razão, os números de isolados molecularmente confirmados não foram utilizados para construir as frequências regionais e não são apresentados em tabela quantitativa. A análise regional permanece baseada exclusivamente nos percentuais registrados por propriedade.

3.12 Uso de ferramentas digitais e inteligência artificial

Durante a elaboração deste manuscrito, foram utilizadas ferramentas digitais e recursos de inteligência artificial como apoio à tradução, revisão linguística e organização das referências bibliográficas. O Google Tradutor foi utilizado como recurso auxiliar na tradução de trechos para os idiomas inglês e espanhol, enquanto o Bibcitation foi empregado para auxiliar na organização e formatação das citações e referências bibliográficas. Todo o conteúdo produzido ou processado por essas ferramentas foi revisado e validado pelos autores, que permanecem integralmente responsáveis pela precisão, interpretação, originalidade e integridade das informações apresentadas no manuscrito.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

4. Resultados e Discussão

4.1 Composição regional do complexo etiológico

A análise dos percentuais registrados nas 150 propriedades evidenciou diferenças entre as cinco macrorregiões brasileiras para todas as categorias etiológicas avaliadas. O teste de Kruskal–Wallis foi significativo para *Stenocarpella* spp. ($H = 101,23$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,671$), complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC) ($H = 103,99$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,690$), *Fusarium verticillioides* ($H = 127,15$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,849$), *Waitea zeae* ($H = 132,36$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,885$) e agentes não identificados ($H = 97,68$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,646$). Após o ajuste de Holm, os cinco testes globais permaneceram significativos ($p < 0,001$). Os valores estatísticos correspondem à análise realizada com 30 propriedades em cada macrorregião.

As comparações múltiplas pelo teste de Dunn, com ajuste de Bonferroni, demonstraram padrões distintos entre as categorias. Para *Stenocarpella* spp., Centro-Oeste e Norte não diferiram entre si, enquanto os demais contrastes apresentaram combinações específicas de diferenças e sobreposições estatísticas. Para o complexo FGSC, Sul apresentou maior valor médio que as demais macrorregiões, enquanto Centro-Oeste, Norte e Nordeste não diferiram entre si. Para *F. verticillioides*, Sul e Sudeste não diferiram entre si, assim como Centro-Oeste e Nordeste. Para *W. zeae*, Sul e Sudeste não diferiram entre si, e Norte e Nordeste também não diferiram. Para agentes não identificados, Sul e Norte não diferiram entre si, enquanto Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste apresentaram valores superiores em relação a pelo menos parte dos demais estratos.

Tabela 03 - Frequência relativa média dos agentes etiológicos associados às podridões de espiga de milho nas cinco macrorregiões brasileiras.

Agente etiológico	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste
Stenocarpella spp.	11,07 ± 2,92^{ab}	8,83 ± 1,32^{a}	15,17 ± 1,34^{cd}	16,50 ± 1,59^{c}	13,67 ± 1,83^{bd}
Complexo *Fusarium graminearum*	17,97 ± 1,83^{a}	13,63 ± 1,50^{b}	11,23 ± 1,25^{c}	10,20 ± 2,38^{c}	9,77 ± 1,91^{c}
Fusarium verticillioides	22,63 ± 1,90^{a}	27,43 ± 1,57^{a}	15,53 ± 0,94^{b}	18,57 ± 1,91^{c}	15,83 ± 1,51^{b}

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Agente etiológico	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste
Waitea zeae	9,83 ± 1,53[a]	7,93 ± 1,46[a]	14,63 ± 1,13[b]	19,23 ± 1,72[c]	17,57 ± 1,45[c]
Agente não identificado	38,53 ± 2,39[a]	42,10 ± 1,54[b]	43,50 ± 1,22[b]	35,30 ± 1,73[a]	43,17 ± 3,81[b]

Fonte: Autores

Nota: Valores apresentados como média ± desvio padrão dos percentuais registrados nas 30 propriedades de cada macrorregião (n = 30). Letras minúsculas distintas indicam diferença significativa entre as macrorregiões, segundo o teste de Dunn bilateral com ajuste de Bonferroni (α = 0,05). Combinações com mais de uma letra representam sobreposição de grupos não significativamente diferentes. Os percentuais descrevem a composição relativa registrada nas propriedades e não correspondem à incidência ou severidade em nível de lavoura.

As diferenças observadas demonstram heterogeneidade espacial na participação relativa de *Stenocarpella* spp. entre as propriedades avaliadas. Todavia, não permitem estabelecer que a maior frequência observada no Norte decorra de fatores específicos de clima, sistema de cultivo, presença de restos culturais ou manejo, pois essas variáveis não foram avaliadas de maneira sistemática no levantamento.

Como análise complementar, o modelo GEE, que considerou a propriedade como unidade de agrupamento e a dependência entre as categorias registradas dentro de cada propriedade, indicou interação significativa entre macrorregião e categoria etiológica (Wald $\chi^2 = 3736,11$; gl = 16; $p < 0,001$). Esse resultado é consistente com a heterogeneidade regional observada na análise por categoria e reforça que a estrutura dos dados deve ser interpretada no nível das propriedades amostradas.

Tabela 04 - Coeficiente de variação (CV%) das frequências relativas dos agentes etiológicos associados às podridões de espiga de milho.

Agente etiológico	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste
Stenocarpella spp.	26,42	14,89	8,84	9,65	13,36
Complexo *Fusarium graminearum*	10,18	10,98	11,13	23,37	19,52
Fusarium verticillioides	8,41	5,72	6,03	10,27	9,54
Waitea zeae	15,59	18,41	7,72	8,92	8,28
Agente não identificado	6,20	3,66	2,82	4,89	8,82

Fonte: Autores

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Nota: CV (%) = (DP/média) × 100. O coeficiente de variação foi calculado para os 30 valores percentuais disponíveis em cada combinação de agente etiológico × macrorregião e expressa a variabilidade relativa entre propriedades.

Foram observadas diferenças significativas entre as macrorregiões brasileiras na composição relativa dos agentes etiológicos associados às podridões de espiga de milho ($p < 0,001$). A análise baseada em contagens absolutas (n/N) revelou que *Fusarium verticillioides (Tabela 03)* apresentou maior frequência no Sudeste, com espigas (27,43%), seguido pelo Sul com (22,43%). No Norte, destacou-se a ocorrência de *Stenocarpella spp.*, registrada em espigas (16,50%), enquanto o complexo espécies de *Fusarium graminearum* (FGSC) predominou no Sul, com espigas (17,97%).

Tabela 05 – Análise hierárquica confirmatória por GEE

Termo	Wald χ^2	gl	p-valor
Região × categoria etiológica	3736,11	16	<0,001

Nota: Modelo GEE com resposta percentual, estrutura de correlação exchangeable, matriz de covariância robusta (sandwich) e propriedade como unidade de agrupamento (150 propriedades; cinco categorias por propriedade; 750 observações). O teste global da interação região × categoria permanece significativo.

Waitea zeae apresentou frequências expressivas em todas as regiões, com maior ocorrência no Norte (19,23%), seguida pelo Nordeste (17,57%) e Centro-Oeste (14,63%). No Sudeste e Sul, foram registradas (7,93%) e (9,83%) espigas positivas, respectivamente. Essa distribuição confirma a presença do patógeno nas cinco macrorregiões, ampliando sua caracterização regional, mas sem evidência de emergência recente.

A categoria de agentes não identificados manteve elevada participação em todas as regiões, variando de 38,53% no Sul a 43,50% no Centro-Oeste. Esses resultados evidenciam a heterogeneidade regional na composição etiológica das podridões de espiga e reforçam a necessidade de estudos adicionais para compreender os fatores ambientais e de manejo que influenciam essa distribuição.

4.2 Distribuição regional de *Stenocarpella* spp.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

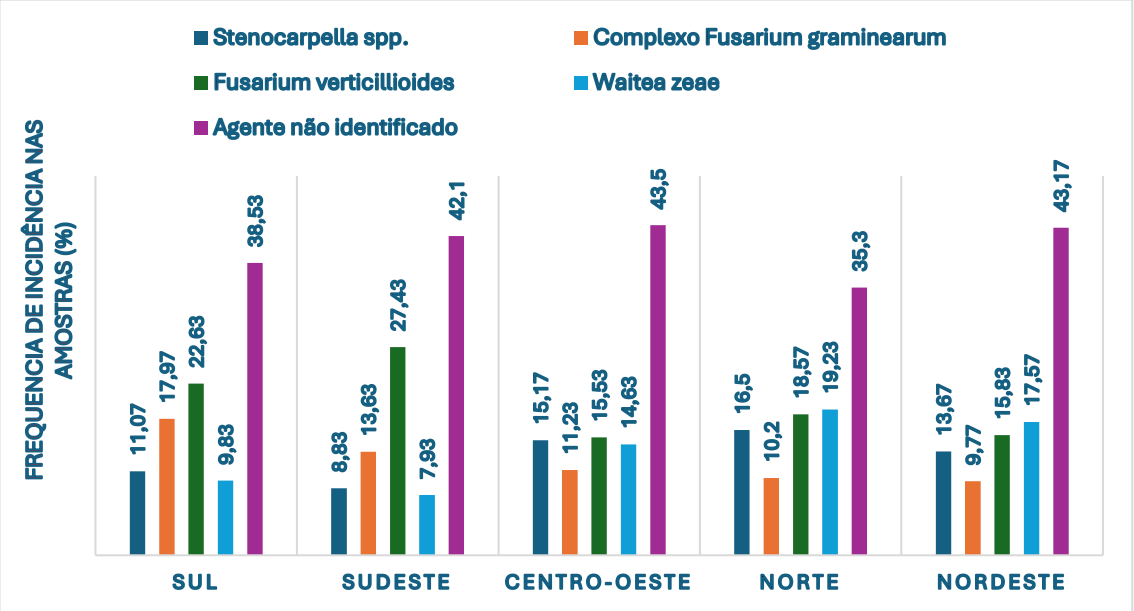
Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

A frequência média de *Stenocarpella* spp. variou significativamente entre as macrorregiões (Kruskal–Wallis: H = 101,23; p < 0,001; ε² = 0,671). O maior valor foi observado no Norte (19,23 ± 1,72%), seguido pelo Centro-Oeste (14,63 ± 1,13%), enquanto o menor ocorreu no Sudeste (7,93 ± 1,46%).

As comparações par a par mostraram diferenças significativas entre as macrorregiões para a frequência relativa de *Stenocarpella* spp., com exceção da comparação entre Centro-Oeste e Norte (p > 0,05). Os demais pares de macrorregiões apresentaram diferenças significativas após o ajuste de Bonferroni (p < 0,05), conforme indicado pelos agrupamentos apresentados na Tabela 04.

A ocorrência regional de *Stenocarpella* spp. é compatível com a importância reconhecida de *S. maydis* e *S. macrospora* no complexo de podridões de espiga.

Figura 6. Frequência relativa das categorias etiológicas associadas às podridões de espiga de milho nas macrorregiões amostradas.



Fonte: Autores

A literatura fitopatológica consolida que os agentes associados ao complexo de podridões de espiga, com destaque para as espécies dos gêneros *Stenocarpella* e *Fusarium*, possuem elevada capacidade de sobrevivência saprofítica em restos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

culturais remanescentes sobre o solo (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; MÁRIO; GOZUEN; JULIATTI, 2017). Em sistemas de cultivo sob plantio direto sem a devida rotação de culturas, essa palhada residual atua como o principal reservatório e fonte de inóculo primário para as safras subsequentes, favorecendo a manutenção e a disseminação dos patógenos na área (CASA; REIS; ZAMBOLIM, 2003; ANDERSON; WISE, 2024).

Entretanto, o maior percentual observado no Norte não pode ser atribuído diretamente à disponibilidade de resíduos, ao sistema de manejo, ao histórico de cultivo ou às condições ambientais, uma vez que essas variáveis não foram mensuradas no presente levantamento. Essa interpretação preserva o caráter observacional do estudo.

4.3 Distribuição regional de *Fusarium verticillioides*

Fusarium verticillioides apresentou diferença significativa entre as macrorregiões (Kruskal–Wallis: $H = 127,15$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,849$). A maior frequência média foi registrada no Sudeste (27,43 ± 1,57%), seguida pelo Sul (22,63 ± 1,90%). Os menores valores foram observados no Nordeste (15,83 ± 1,51%) e no Centro-Oeste (15,53 ± 0,94%).

A maior frequência relativa de *F. verticillioides* no Sudeste constitui um dos principais padrões observados no levantamento. Esse fungo é reconhecido na literatura por sua importância no complexo de podridões de espiga de milho e por sua associação com a produção de fumonisinas. Entretanto, a produção ou a concentração de fumonisinas não foi avaliada no presente estudo, de modo que não é possível estabelecer inferência sobre contaminação por essas micotoxinas a partir dos dados obtidos.

Entretanto, a associação entre a maior frequência observada e fatores como temperatura, umidade, genótipo, estresse da planta ou práticas de manejo não pode ser estabelecida com os dados disponíveis. Essas variáveis não foram avaliadas de forma padronizada no delineamento, de modo que qualquer explicação causal permaneceria especulativa.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

4.4 Distribuição regional do complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC)

A frequência média do complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC) diferiu significativamente entre as macrorregiões (Kruskal–Wallis: H = 103,99; p < 0,001; ε^2 = 0,690). O maior valor ocorreu no Sul (17,97 ± 1,83%), seguido pelo Sudeste (13,63 ± 1,50%). Os menores valores foram registrados no Nordeste (9,77 ± 1,91%) e no Norte (10,20 ± 2,38%).

As comparações múltiplas indicaram diferenças significativas entre o Sul e as demais macrorregiões, bem como entre o Sudeste e as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Mann–Whitney + Bonferroni, p < 0,05). Centro-Oeste, Norte e Nordeste não diferiram significativamente entre si.

A interpretação taxonômica dos resultados deve considerar que a categoria foi definida como complexo de espécies *Fusarium graminearum (FGSC)*, conforme a organização metodológica adotada no estudo. Essa denominação é mais apropriada do que a utilização isolada de *Gibberella zeae*, evitando atribuir aos isolados um nível taxonômico superior ao efetivamente sustentado pelos procedimentos de identificação.

A maior frequência observada no Sul representa um padrão regional dentro das propriedades amostradas, mas não permite determinar os fatores responsáveis por essa distribuição. Condições ambientais, genótipos, manejo e histórico agrícola constituem hipóteses que exigiriam estudos específicos para serem testadas experimentalmente.

4.5 Distribuição regional de *Waitea zeae*

Entre as categorias avaliadas, *Waitea zeae* apresentou o maior tamanho de efeito regional (ε^2 = 0,885), associado a diferenças significativas entre as cinco macrorregiões (H = 132,36; p < 0,001). A frequência média foi de 19,23 ± 1,72% no Norte, 17,57 ± 1,45% no Nordeste, 14,63 ± 1,13% no Centro-Oeste, 9,83 ± 1,53% no Sul e 7,93 ± 1,46% no Sudeste (Tabela 04).

CC BY

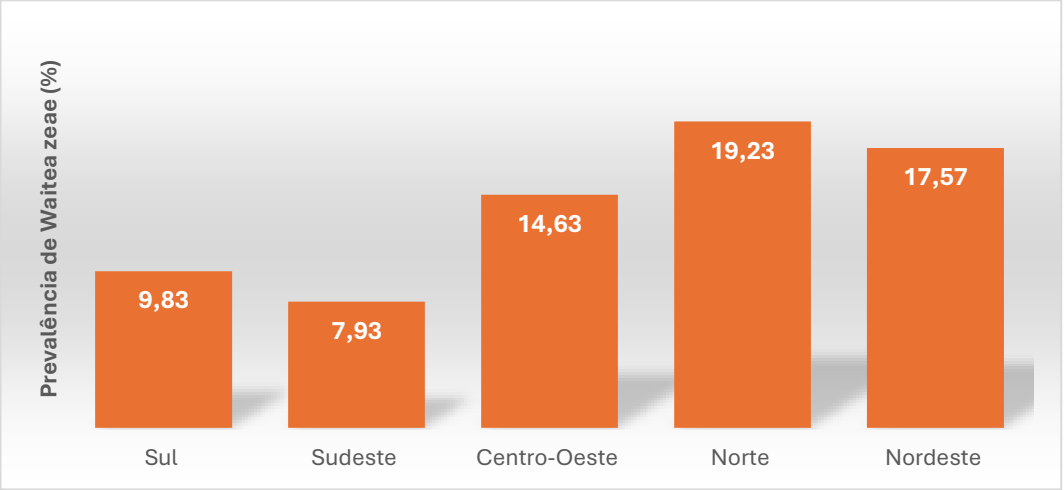
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

As comparações múltiplas indicaram diferenças significativas entre todas as macrorregiões para *W. zeae*, o que resultou na formação de cinco grupos estatísticos distintos. O gradiente observado demonstra que, dentro da amostra estudada, a participação relativa de *W. zeae* foi progressivamente maior nos estratos Norte e Nordeste e menor nos estratos Sul e Sudeste.

A detecção de *W. zeae* nas cinco macrorregiões constitui um dos principais resultados do levantamento, pois demonstra ampla ocorrência do organismo entre as áreas amostradas.

Figura 7. Distribuição regional de *Waitea zeae* associada à podridão salmão da espiga nas propriedades amostradas.



Fonte: Autores

Nota: Como foram avaliadas exclusivamente espigas com sintomas, os dados não permitem avaliar a frequência da doença na população total de plantas ou espigas das propriedades, nem inferir incidência ou severidade em nível de lavoura.

Esse resultado amplia a caracterização da distribuição relativa de *W. zeae* nas propriedades amostradas em todas as cinco macrorregiões brasileiras. A distribuição observada neste levantamento amplia a caracterização regional de *W. zeae* nas propriedades amostradas em todas as cinco macrorregiões brasileiras. Entretanto, esses resultados não permitem interpretar a ocorrência do patógeno como evidência de emergência recente, expansão temporal ou introdução no território nacional, uma

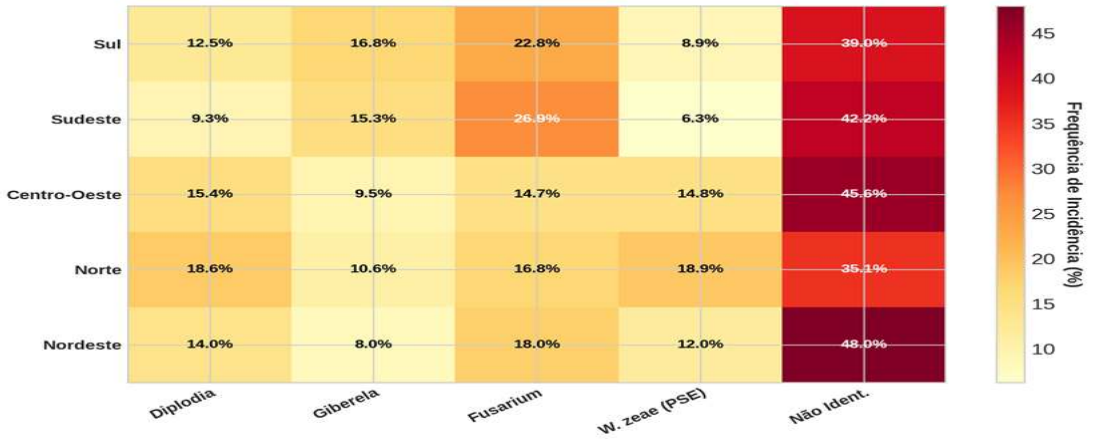
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

vez que o estudo apresenta delineamento transversal e não foi estruturado para avaliar mudanças temporais na distribuição do agente. Registros anteriores já documentaram a ocorrência do agente no território nacional, inclusive no estado do Pará, em 2002, quando o organismo foi inicialmente referido como *Rhizoctonia zeae*. Portanto, os dados atuais devem ser interpretados como uma caracterização da distribuição relativa observada na amostragem realizada, e não como demonstração de surgimento recente da doença no país. A elevada magnitude do efeito estatístico para *W. zeae* também não significa, por si só, maior severidade da doença ou maior risco epidemiológico de distribuição nas propriedades amostradas. O estudo foi direcionado a espigas sintomáticas e avaliou a composição relativa das categorias identificadas. Como foram avaliadas exclusivamente espigas com sintomas, os dados não permitem avaliar a frequência da doença na população total de plantas ou espigas das propriedades**,** nem inferir incidência ou severidade em nível de lavoura.

Figura 8. Mapa de calor da frequência relativa das categorias etiológicas por macrorregião amostrada.



Fonte: Autores

4.6 Agentes não identificados e limitações da caracterização etiológica

A categoria de agentes não identificados apresentou médias de 38,53 ± 2,39% no Sul, 42,10 ± 1,54% no Sudeste, 43,50 ± 1,22% no Centro-Oeste, 35,30 ± 1,73% no

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

Norte e 43,17 ± 3,81% no Nordeste (Tabela 04). A diferença entre as macrorregiões foi significativa ($H = 97,68$; $p < 0,001$; $\varepsilon^2 = 0,646$).

O Norte apresentou a menor frequência média de agentes não identificados, enquanto Centro-Oeste e Nordeste apresentaram os maiores valores. Esse resultado possui implicação direta para a interpretação do complexo etiológico: as categorias identificadas no estudo representam apenas a fração das espigas sintomáticas para as quais foi possível estabelecer uma identificação dentro dos procedimentos empregados.

A proporção elevada de agentes não identificados constitui, portanto, uma limitação importante do levantamento. Ela impede que os percentuais das quatro categorias etiológicas identificadas sejam interpretados como representação exaustiva de todos os agentes associados às podridões de espiga nas propriedades avaliadas.

Essa limitação também reforça a necessidade de abordagens complementares de identificação, especialmente métodos moleculares com maior abrangência e resolução taxonômica. Estudos futuros poderão incorporar protocolos de identificação mais amplos, além de informações padronizadas sobre genótipo, ambiente, manejo, histórico da área e condições durante o período de formação das espigas.

4.7 Síntese da distribuição regional

Em conjunto, os resultados demonstram que a composição relativa das categorias etiológicas variou significativamente entre as cinco macrorregiões brasileiras. *F. verticillioides* apresentou maior frequência média no Sudeste (27,43%), *Stenocarpella* spp. no Norte (16,50%) e o complexo *F. graminearum* no Sul (17,97%). *Waitea zeae* apresentou maior frequência média no Norte (19,23%), seguida pelo Nordeste (17,57%) e Centro-Oeste (14,63%).

A distribuição observada demonstra heterogeneidade regional do complexo etiológico associado às espigas sintomáticas, mas não permite estabelecer relações causais entre os padrões encontrados e fatores ambientais, genéticos ou de manejo não avaliados. Dessa forma, a principal contribuição do levantamento consiste na

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

caracterização comparativa da composição relativa das categorias etiológicas entre as macrorregiões amostradas.

Considerando a elevada proporção de agentes não identificados, os resultados também evidenciam a necessidade de ampliar a resolução taxonômica dos levantamentos futuros. Para *W. zeae*, especificamente, os dados demonstram ocorrência nas cinco macrorregiões e diferenças regionais significativas, sem indicar alteração em seu histórico de ocorrência ou avanço geográfico recente da espécie nas propriedades amostradas.

5. CONCLUSÃO

A análise dos percentuais registrados nas 150 propriedades evidenciou heterogeneidade regional na composição relativa das categorias etiológicas associadas às podridões de espiga de milho. Diferenças significativas entre macrorregiões foram observadas para *Stenocarpella* spp., complexo de espécies *Fusarium graminearum (FGSC)*, *Fusarium verticillioides*, *Waitea zeae* e agentes não identificados.

Fusarium verticillioides apresentou a maior frequência média no Sudeste (27,43%), enquanto *Stenocarpella* spp. apresentou a maior frequência média no Norte (16,50%). O complexo de espécies *Fusarium graminearum* (FGSC), apresentou maior frequência média no Sul (17,97%).

Waitea zeae foi registrada nas cinco macrorregiões, com maior frequência média no Norte (19,23%), seguida pelo Nordeste (17,57%) e Centro-Oeste (14,63%). A diferença regional para essa categoria apresentou o maior tamanho de efeito entre as variáveis avaliadas ($\varepsilon^2 = 0,885$).

A elevada frequência de agentes não identificados, variando de 35,30% a 43,50%, demonstra uma limitação importante da caracterização etiológica realizada. Assim, os resultados representam a composição relativa das categorias efetivamente identificadas nas espigas sintomáticas amostradas.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

A distribuição regional observada para *W. zeae* amplia o conhecimento sobre sua ocorrência nas áreas avaliadas, mas não permite caracterizá-la como um novo patógeno regional ou inferir alterações em sua amplitude de ocorrência nas propriedades amostradas nas cinco macrorregiões brasileiras. Da mesma forma, os resultados não permitem estabelecer relações causais entre a distribuição dos agentes e fatores climáticos, genéticos ou de manejo que não foram mensurados no estudo.

Referência

ANDERSON, Nolan R.; WISE, Kiersten A. Effect of *Stenocarpella maydis* and *Stenocarpella macrospora* inoculation timing on Diplodia ear rot of corn. *Plant Health Progress*, vol. 25, n. 4, p. 386–393, 2024. DOI: https://doi.org/10.1094/PHP-01-24-0008-RS.

BLANCO, Angel José Vieira; COSTA, Marília Oliveira; SILVA, Roberto do Nascimento; *et al.* Diversity and Pathogenicity of Rhizoctonia Species from the Brazilian Cerrado. Plant Disease, p. 773–781, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/pdis-05-17-0721-re>.

CAO, Ana; DE LA FUENTE, María; GESTEIRO, Noemi. *et al.* Genomics and pathways involved in maize resistance to *Fusarium* ear rot and kernel contamination with *fumonisins*. Frontiers in Plant Science, v. 13, art. 866478, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2022.866478.

CASA, Ricardo Trezzi; REIS, Erlei Melo; ZAMBOLIM, Laércio. Decomposição dos restos culturais do milho e sobrevivência saprofítica de *Stenocarpella macrospora* e *S. maydis*. *Fitopatologia Brasileira*, v. 28, n. 4, p. 355–361, 2003. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-41582003000400002.

DERESSA, Temesgen; ADUGNA, Girma; SURESH, L. M.; *et al.* Biophysical factors and agronomic practices associated with *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination of *maize* in multiple agroecosystems in Ethiopia. Crop Science, p. 827–845, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csc2.21159>.

ERENSTEIN, Olaf**;** JALETA, Moti; SONDER, Kai; MOTTALEB, Khondoker; PRASANNA, B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *In*: Food Security. [s.l.]: Springer Science and Business Media LLC, 2022, v. 14, p. 1295–1319. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.

HUNDE, Temesgen Deressa; Ear rot diseases in maize (*Zea mays* L.), associated mycotoxins, and management practices in Ethiopia: A review. Agrosystems, Geosciences & Environment, v. 8, ed. 2, p. 1–15, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agg2.70136>.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

MACHADO, Franklin J.; KUHNEM, Paulo R.; CASA, Ricardo T.; *et al.* The Dominance of Fusarium meridionale Over F. graminearum Causing *Gibberella* Ear Rot in Brazil May Be Due to Increased Aggressiveness and Competitiveness. Phytopathology®, v. 111, n. 10, p. 1697–1900, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/phyto-11-20-0515-r>

MADDEN, Laurence V.; HUGHES, Gareth; VAN DEN BOSCH, Frank. The Study of Plant Disease Epidemics. 2. ed. Baltimore: The American Phytopathological Society, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/9780890545058>.

MÁRIO, Justino Luiz; GOZUEN, Cássio Freitas; JULIATTI, Fernando Cezar. *Stenocarpella macrospora* and *Stenocarpella maydis* in the cerrado and southern Brazil regions. Bioscience Journal, p. 76–87, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/bj-v33n1a2017-36068>.

MENDES, Marcelo Cruz; VON PINHO, Renzo Garcia; MACHADO, José da Cruz; *et al.* Qualidade sanitária de grãos de milho com e sem inoculação a campo dos fungos causadores de podridões de espiga. Ciência e Agrotecnologia, p. 931–939, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542011000500010>.

MESTERHAZY, Akos; SZABO, Balaz; SZIEBERTH, Denes; *et al.* Stability of Resistance of Maize to Ear Rots (*Fusarium graminearum*, *F. verticillioides* and *Aspergillus flavus*) and Their Resistance to Toxin Contamination and Conclusions for Variety Registration. Toxins, Basel, v. 16, n. 9, art. 390, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins16090390>.

MUNKVOLD, Gary P.; PROCTOR, Robert H.; MORETTI, Antonio. Mycotoxin Production in *Fusarium* According to Contemporary Species Concepts. Annual Review of Phytopathology, p. 373–402, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-102825>.

POLTRONIERI, Luiz S.; TRINDADE, Dinaldo R.; ALBUQUERQUE, Fernando C. *Rhizoctonia zeae* causando podridão em milho no estado do Pará. Fitopatologia Brasileira, v. 27, n. 4, p. 423, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-41582002000400020>.

ROSA JUNIOR, Oelton; DALCIN, Mateus; NASCIMENTO, Vitor; *et al. Fumonisin* Production by *Fusarium verticillioides* in *Maize* Genotypes Cultivated in Different Environments. Toxins, p. 215, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins11040215>.

STALPERS, Joost A.; REDHEAD, Scott A.; MAY, Tom W.; *et al.* Competing sexual-asexual generic names in Agaricomycotina (*Basidiomycota*) with recommendations for use. IMA Fungus, p. 1–31, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s43008-021-00061-3>

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/09/2026 - **Accepted:** 19/10/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/df97fv65
Pages: 1-36

WHITE, T.J.; BRUNS, T.; LEE, S.; *et al*. AMPLIFICATION AND DIRECT SEQUENCING OF FUNGAL RIBOSOMAL RNA GENES FOR PHYLOGENETICS. *In*: PCR Protocols. [s.l.]: Elsevier, 1990, p. 315–322. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1>.

CC BY