

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

DUANE NASCIMENTO OLIVEIRA

GIBERELA DO TRIGO: VIABILIDADE TÉCNICA DA INTEGRAÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANEJO VISANDO RACIONALIZAÇÃO DO USO DE
FUNGICIDAS E REDUÇÃO DE MICOTOXINAS

Sorocaba

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS
NATURAIS RENOVÁVEIS

DUANE NASCIMENTO OLIVEIRA

GIBERELA DO TRIGO: VIABILIDADE TÉCNICA DA INTEGRAÇÃO DE
ESTRATÉGIAS DE MANEJO VISANDO RACIONALIZAÇÃO DO USO DE
FUNGICIDAS E REDUÇÃO DE MICOTOXINAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis – PPGPUR da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

Sorocaba

2023

Nascimento Oliveira, Duane

Giberela do trigo: viabilidade técnica da integração de estratégias de manejo visando racionalização do uso de fungicidas e redução de micotoxinas / Duane Nascimento Oliveira -- 2023.

69f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Waldir Cintra de Jesus Junior

Banca Examinadora: Waldir Cintra de Jesus Junior, Eliana Badiale Furlong, Wanderson Bucker Moraes, Flávio Sérgio Afférri, Willian Bucker Moraes

Bibliografia

1. Giberela do Trigo. 2. Micotoxinas . I. Nascimento Oliveira, Duane. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado do candidato Duane Nascimento Oliveira, realizada em 14/07/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior (UFSCar)

Profa. Dra. Eliana Badiale Furlong (FURG)

Prof. Dr. Wanderson Bucker Moraes (OSU)

Prof. Dr. Flávio Sérgio Afférrri (UFSCar)

Prof. Dr. Willian Bucker Moraes (UFES)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Ao meu Pai, Jairo de Jesus Oliveira (*in memoriam*),

À minha Mãe, Maria de Fátima do Nascimento de
Oliveira,

À minha Esposa, Ana Paula Siqueira Soares.

AGRADECIMENTOS

Enormemente, agradeço à Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, por incentivar e permitir estudos e qualificações profissionais através de políticas institucionais que valorizam e apoiam seus servidores. À Profa. Dra. Giulianna Rondineli Carmassi, que desde o início e, no momento da finalização desta tese, se encontra como Diretora do Centro de Ciências da Natureza – CCN, Campus Lagoa do Sino – UFSCar, e que, prontamente permitiu-me participar do programa de Pós-Graduação, juntamente com minhas atividades lotadas ao Campus.

Ao Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior, pela confiança no desenvolvimento da pesquisa, e com conhecimento, realizamos um trabalho de grande importância social.

À equipe de colaboradores da Fazenda Escola Lagoa do Sino – FELS, que tem como coordenador o Prof. Dr. Alberto Luciano Carmassi, que apoiou o desenvolvimento da pesquisa.

À Profa. Dra. Eliana Badiale Furlong, que indiscutivelmente, engrandeceu a pesquisa, demonstrando inquestionável e admirável conhecimento e profissionalismo, juntamente com o Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos – LAMCA, da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, pela excelência e experiência das análises.

Ao amigo e nosso discente Heráclito Dias Trindade, pelo auxílio nos campos de cultivo.

Agradecer aos membros da banca por aceitarem o convite, e pelos apontamentos e contribuições.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

(Cora Coralina)

RESUMO

A giberela é a doença de mais difícil controle na cultura do trigo, causando danos na qualidade dos grãos, principalmente pela produção de micotoxinas. O atual manejo da doença se faz com o emprego de fungicidas, conciliados a cultivares que apresentam níveis de resistências ao patógeno. Deste modo, os objetivos deste estudo foram avaliar o comportamento da giberela e a decorrente produção de micotoxinas sob as estratégias de manejos adotadas em campos de cultivo de trigo. Para tanto, foram utilizados dois cultivares com diferentes níveis de resistência à doença, cultivar altamente suscetível e moderadamente resistente, aliados a combinações de aplicação ou não de fungicida em diferentes estádios fenológicos. Os campos de cultivo foram instalados em área de pivô de irrigação e área de sequeiro, sendo cultivados por dois anos. Para as combinações de aplicações (0, 1, 2 ou 3) dos fungicidas (tebuconazol e trifloxistrobina) foram consideradas as fases de pré-antese (final do emborrachamento); antese (momento de extrusão da antera) e sete dias após a antese. Dessa forma, por meio das avaliações realizadas seguindo escala fenológica, determinou-se o índice de giberela (IG – Incidência x severidade), os danos nos grãos (D - % de perda de peso), o peso por unidade de volume, peso hectolítrico (kg/hct^{-1}), cálculo de rendimento (t/ha^{-1}), a concentração (ug/kg^{-1}) e os quimiotipos de micotoxinas encontrados nas amostras de trigo. Através dos resultados obtidos, os tratamentos que não receberam aplicações de fungicida apresentaram médias de até 115,5% maiores nos (IG) e (D), quando comparado às parcelas que receberam aplicação. O parâmetro (kg/hct^{-1}) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, e o parâmetro quantitativo, toneladas por hectare (t/ha^{-1}) tiveram médias entre 32% e 48,5% maiores nos tratamentos com duas e três aplicações de fungicida. As aplicações sete dias após a antese foram menos eficientes quando comparadas às demais aplicações. As concentrações das micotoxinas foram 14,7% maiores no material moderadamente resistente. Os quimiotipos de micotoxinas encontrados nas amostras foram: deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15-ADON), 3-acetil DON (3-ADON) e DON-3-Glc (D3G). No presente estudo por meio das avaliações realizadas, constatou-se diferença significativa entre as aplicações de fungicidas nos estádios de fenológicos propostos. Os tratamentos foram eficientes quanto ao controle da doença, não demonstrando mesmo desempenho sobre a produção e o acúmulo das micotoxinas nos cultivares de trigo.

Palavras-chave: *Triticum* spp.; Trigo; *Fusarium* spp.; Tricotecenos.

ABSTRACT

FUSARIUM HEAD BLIGHT: TECHNICAL FEASIBILITY OF INTEGRATION OF MANAGEMENT STRATEGIES AIMING TO RATIONALIZE THE USE OF FUNGICIDES AND REDUCTION OF MYCOTOXINS

Fusarium head blight is the most difficult disease to control in wheat, causing damage to grain quality, mainly due to the production of mycotoxins. The current management of the disease is done with the use of fungicides, combined with cultivars with levels of resistance to the pathogen. Thus, the objectives of this study were to evaluate the behavior of the Fusarium head blight and the resulting production of mycotoxins under the management strategies adopted in wheat crops. That way, two cultivars with different levels of resistance to the disease were used, a highly susceptible and moderately resistant cultivar, combined with application or not of fungicide at different phenological stages. The crops were installed in an irrigation pivot area and a rainfed area, being cultivated for two years. For the application (0, 1, 2 or 3) of fungicides (tebuconazole and trifloxystrobin) the pre-anthesis phase; anthesis (moment of anther extrusion) and seven days after anthesis. Thus, through the evaluations carried out following a phenological scale, the FH index (GI - Incidence x severity), damage to the grains (D - % weight loss), weight per unit volume, hectoliter weight (kg/hct^{-1}), yield calculation (t/ha^{-1}), concentration (ug/kg^{-1}) and chemotypes of mycotoxins found in the wheat samples were determined. Through the results obtained, the treatments that did not receive fungicide applications showed averages of up to 115.5% higher in (IG) and (D), when compared to the plots that received application. The parameter (kg/hct^{-1}) showed no significant difference between treatments, and the quantitative parameter, tons per hectare (t/ha^{-1}) had averages between 32% and 48.5% higher in treatments with two and three fungicide applications. Applications seven days after anthesis were less efficient when compared to other applications. Mycotoxin concentrations were 14.7% higher in moderately resistant material. The mycotoxin chemotypes found in the samples were: deoxynivalenol (DON), 15-acetyl-deoxynivalenol (15-ADON), 3-acetyl DON (3-ADON) and DON-3-Glc (D3G). In the present study, through the evaluations carried out, a significant difference was found between the fungicide applications in the proposed phenological stages. The treatments were efficient in controlling the disease, not demonstrating the same performance on the production and accumulation of mycotoxins in wheat cultivars.

Keywords: *Triticum* spp.; Wheat; *Fusarium* spp.; Trichothecenes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. DESENVOLVIMENTO	15
2.1 Trigo.....	15
2.2 Giberela do trigo – Gibberella zeae - Fusarium graminearum	24
2.3 Tipos de resistência do Trigo à Giberela	19
2.4 Micotoxinas	25
2.5 Legislação sobre micotoxinas	26
2.6 Manejo da giberela com fungicidas	27
3. OBJETIVOS	31
3.1 GERAL	31
3.2 ESPECÍFICOS	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
5. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS GRÃOS	34
5.1 Quantificação da intensidade da doença	34
5.2 Determinação da concentração de micotoxinas DON e seus quimiotipos	35
5.3 Quantificação dos danos causados pela doença.....	35
5.4 Cálculo de rendimento dos grãos	36
5.5 Análise estatística	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Dados Metereoológicos	37
6.2 Efeito dos tratamentos sobre a giberela e a produção de micotoxinas.	42
6.3 Parâmetros produtivos	46
6.3.1 PH do trigo (kg/hct peso hectolítrico).....	46
6.3.2 Produtividade	47
6.4 Micotoxinas	50
6.4.1 Concentração e determinação dos tricotecenos tipo B, DON e derivados.....	50
7. CONCLUSÕES	59
8. REFERÊNCIAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação ilustrativa das raízes do trigo.	16
Figura 2. Representação ilustrativa da morfologia geral da planta de trigo.	17
Figura 3. Representação ilustrativa da espiga, flor e seus componentes estruturais.	17
Figura 4. Planta de trigo com afilhos ou perfilhos.	18
Figura 5. Extrusão das anteras após fecundação.	18
Figura 6. Conídios de <i>Fusarium</i> spp.	20
Figura 7. Peritécios em fase de exsudação dos ascos (esquerda) e ascos (direita) com ascósporos.	21
Figura 8. Grãos de trigo com sintomatologia da giberela do trigo.	22
Figura 9. Espigas de trigo esbranquiçadas com sintomatologia de giberela do trigo.	22
Figura 10. Espigas de trigo róseas avermelhadas com sintomatologia de giberela do trigo. ...	23
Figura 11. Estruturas químicas (tricotecenos tipo B) de deoxinivalenol (DON), 3-acetil DON (3-ADON), 15-acetil-desoxinivalenol (15-ADON) e nivalenol (NIV).	26
Figura 12. . Mapa da Divisão Municipal do Estado de São Paulo	32
Figura 13. Estádio fenológico das coletas segundo escala de Zadoks et. al. (1974).	35
Figura 14. Plantas de trigo em estado de maturação, estágio fenológico 90 da escala de Zadoks et. al. (1974).	36
Figura 15. Precipitação (mm) e irrigação (mm) para a área irrigada e precipitação para a área de sequeiro no ano de cultivo de 2021, Buri – SP.	37
Figura 16. Temperatura (°C) no período de maio a outubro de 2021, Buri-SP.	38
Figura 17. Umidade relativa do ar (UR%) no período de maio a outubro de 2021, Buri-SP.	38
Figura 18. Precipitação (mm) e irrigação (mm) para a área irrigada e precipitação para a área de sequeiro no ano de cultivo de 2022, Buri – SP.	39
Figura 19. Temperatura (°C) no período de maio a outubro de 2022, Buri-SP.	40
Figura 20. Umidade relativa do ar (UR%) no período de maio a outubro de 2022, Buri-SP.	40
Figura 21. Perfilhos ou afilhos em 2021 (esquerda) e 2022 (direita), em plantas de trigo dos experimentos,, Buri-SP.	41
Figura 22. . . Distribuição das médias e correlação entre o índice de giberela (IG) e os danos nos grãos (D) nos dois anos de cultivo 2021 e 2022, Buri-SP.	45
Figura 23. Níveis totais ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.	52
Figura 24. Níveis totais ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) no ano de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.	54

Figura 25. Concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nos oito tratamentos e nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) nos anos de cultivo 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP..55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Limites máximos tolerados (LMT) para deoxinivalenol nas matérias-primas e alimentos.....27
- Tabela 2.** Índice de Giberela (IG), quantificação dos danos causados pela doença (D) e concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas deoxinivalenol e derivados (DON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP... 43
- Tabela 3.** Índice de Giberela (IG), quantificação dos danos causados pela doença (D) e concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP... 44
- Tabela 4.** . Peso hectolítrico ($\text{kg}/\text{hct}^{-1}$) e produtividade toneladas por hectare ($\text{t} / \text{ha}^{-1}$) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) nas áreas de irrigado e sequeiro, nos experimentos conduzidos em 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.....49
- Tabela 5.** . Concentração ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) dos tricotecenos, deoxinivalenol-3-glicosídeo DON-3-Glc (D3G), deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15ADON), 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP... 51
- Tabela 6.** Concentração ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) dos tricotecenos, deoxinivalenol-3-glicosídeo DON-3-Glc (D3G), deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15ADON), 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP... 53
- Tabela 7.** Concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas de deoxinivalenol (DON) e derivados, e variações em aumento (+) ou diminuição (-) nos oito tratamentos, utilizando (T1) como controle, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, nos experimentos conduzidos nos anos de 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP... 58

1. INTRODUÇÃO

O trigo é uma das principais fontes alimentares para a humanidade, tendo a produção mundial por volta de 773 milhões de toneladas. No Brasil, o consumo per capita foi de 57,62 quilos, totalizando 14 milhões de toneladas no ano de 2022. Parte desse volume foi importado, pois a produção nacional no mesmo ano foi pouco mais de 9 milhões de toneladas em uma área aproximada de 2,3 milhões de hectares. A principal região produtora no país é a sul. Na região sudeste o principal produtor é São Paulo, destacando-se a região sudoeste do estado. A demanda de trigo no Brasil se dá pela necessidade de sementes para o cultivo, cerca de 3% do total, e o restante usado para a moagem industrial na obtenção de farinhas utilizadas nos inúmeros produtos da cadeia alimentícia, sendo uma matéria-prima indispensável (IBGE, 2022; ABITRIGO, 2022; EMBRAPA, 2016; DEMORI & IGNACZAK, 2011).

A cultura está entre a mais cultivada no mundo, com inúmeras variedades que permitem seu desenvolvimento nas mais diversas regiões e climas. A boa qualidade dos grãos pode ser afetada por diversos fatores bióticos e abióticos, impactando diretamente na qualidade dos grãos e conseqüentemente na farinha, impondo um constante desafio nos quesitos quantitativos e qualitativos (ABITRIGO, 2022; EMBRAPA, 2016; KITAMI et. al., 2005).

Há parâmetros estabelecidos para a qualidade do trigo, sendo avaliados os grãos antes da moagem e também as características da farinha obtida. Nos grãos são observados se estão fisiologicamente maduros, livre de grãos ardidos, queimados, esverdeados, chocos, quebrados, impurezas por contaminação cruzada, matérias estranhas macro e microscópicas e grãos que tenham sofrido ataque de fungos e artrópodes no campo ou no armazenamento. Para a farinha obtida, os padrões se voltam para a qualidade da massa e padrões sanitários, sendo, viscoelasticidade da massa, força do glúten, Falling Number (alfa amilase) e substâncias nocivas à saúde, de origem biológica, química ou física, exemplificando as micotoxinas, resíduos fitossanitários e contaminantes do processamento, respectivamente. (ABITRIGO, 2022; LIMA et. al., 2014; MAPA, 2010)

Dentre os fatores que afetam a produção e a qualidade dos grãos de trigo e seus subseqüentes processados, destacam-se as doenças fúngicas que, além de reduzirem a produtividade, têm a capacidade de produzirem micotoxinas que causam distúrbios metabólicos em humanos e animais, representando um grande problema de segurança de alimentos. Seguindo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência Nacional de

Vigilância Sanitária (ANVISA) determinou limites máximos de micotoxinas tolerados nos grãos, farinhas e produtos derivados do trigo (ANVISA, 2017; CUSTÓDIO et. al., 2016; DESJARDINS, 2006).

Do complexo de doenças que acometem a cultura do trigo e diante do atual cenário relacionado às micotoxinas, a giberela tem destaque pela alta capacidade micotoxigênica, e pelos níveis de resistências dos cultivares não controlarem satisfatoriamente o desenvolvimento do fungo e a consequente produção de micotoxinas, o que torna seu controle um desafio. A doença acomete todas as regiões tritícolas do mundo (AMORIM et. al., 2018; ANGELOTTI et. al., 2006; KITAMI et. al., 2005).

Devido à normatização sobre o índice de micotoxinas presentes na cadeia produtiva do trigo, vários estudos têm sido desenvolvidos, visando entender a dinâmica entre o fungo, hospedeiro, meio ambiente e a consequente produção das micotoxinas. Diante da relevância do tema e pela dificuldade de controle da giberela nas práticas de cultivo, a pesquisa enfocou na viabilidade técnica, pelas estratégias de manejo, visando melhorar as práticas do uso de agrotóxicos e sua influência sobre as micotoxinas e nos demais padrões que envolvem a qualidade do trigo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Trigo

O *Triticum* spp. é pertence à família *Poaceae*, originário de gramíneas silvestres que cresciam próximas aos rios Tigre e Eufrates na Ásia, tendo os primeiros registros de cultivos datados de 550 a. C.. A principal espécie hoje, para o cultivo, é a *Triticum aestivum* L., um hexaploide ($2n = 42$) originado de hibridação natural de um tetraploide (*Triticum turgidum* $2n = 28$) e uma gramínea selvagem (*Aegilops squarrosa*, $2n = 14$) que também originou outras espécies menos conhecidas, porém, utilizadas para estudos e investigações genéticas (SCHEEREN et. al., 2015; GONÇALVEZ, et. al. 2007; SCHEEREN, 1986).

Nas condições do inverno brasileiro a espécie também é denominada (primavera), devido a não necessidade de vernalização. O trigo apresenta características morfológicas semelhantes às demais culturas de inverno, como: aveia, centeio, cevada e triticale. Compõe-se de raízes seminais, permanentes e adventícias; as folhas têm disposição alternada no colmo.

O número de folhas representa a quantidade de nós (5 a 6 folhas) sendo a última folha chamada de bandeira (Figuras 1 e 2). Na fase reprodutiva é comum restar de três a quatro folhas (SCHEEREN et. al., 2015; GONÇALVEZ, et. al. 2007; SCHEEREN, 1986).

O colmo do trigo é cilíndrico e oco com 4 a 7 entrenós tendo comprimento variável. Novos colmos são emitidos, chamados de perfilhos ou afilhos (figura 4). A inflorescência é uma espiga composta formada por espiguetas alternadas e opostas. A espigueta é composta por flores dispostas alternadamente. Cada flor é composta pelo lema (com ou sem arista) e a pálea, que protegem a flor. Entre a lema e a pálea se encontra o gineceu, formado pelo ovário, estilete e estigma, e o androceu, constituído por três estames (três filetes e três anteras (Figura 3). Na fase de antese, após a fecundação, as flores se abrem expulsando as anteras (extrusão das anteras, Figura 5), e a partir dessas estruturas, formam-se os grãos (SCHEEREN et. al., 2015; GONÇALVEZ, et. al. 2007; SCHEEREN, 1986).

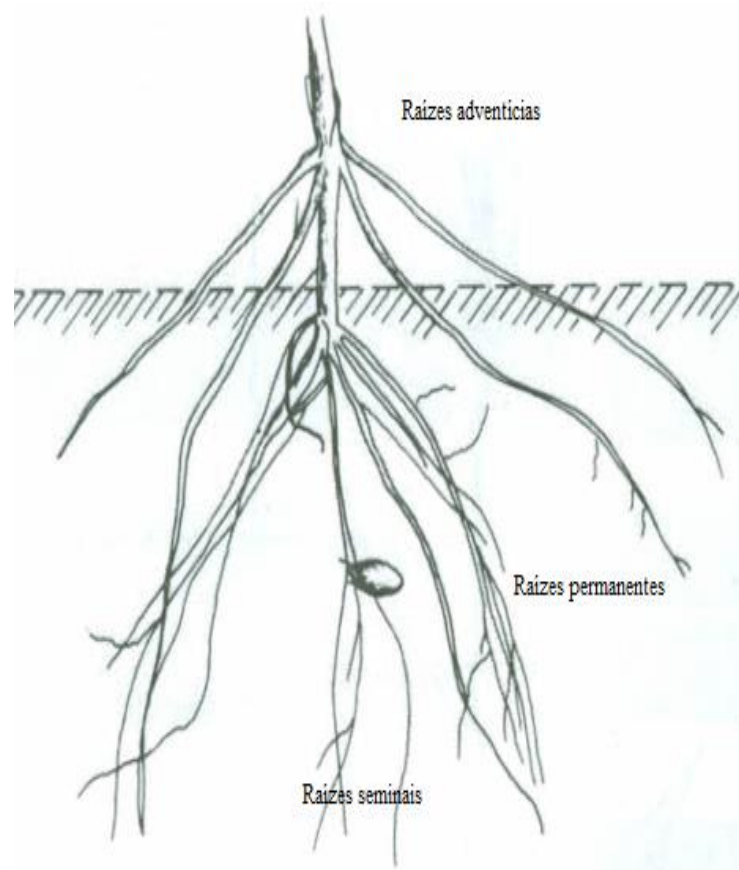


Figura 1. Representação ilustrativa das raízes do trigo.

Fonte: SCHEEREN et. al. (2015)

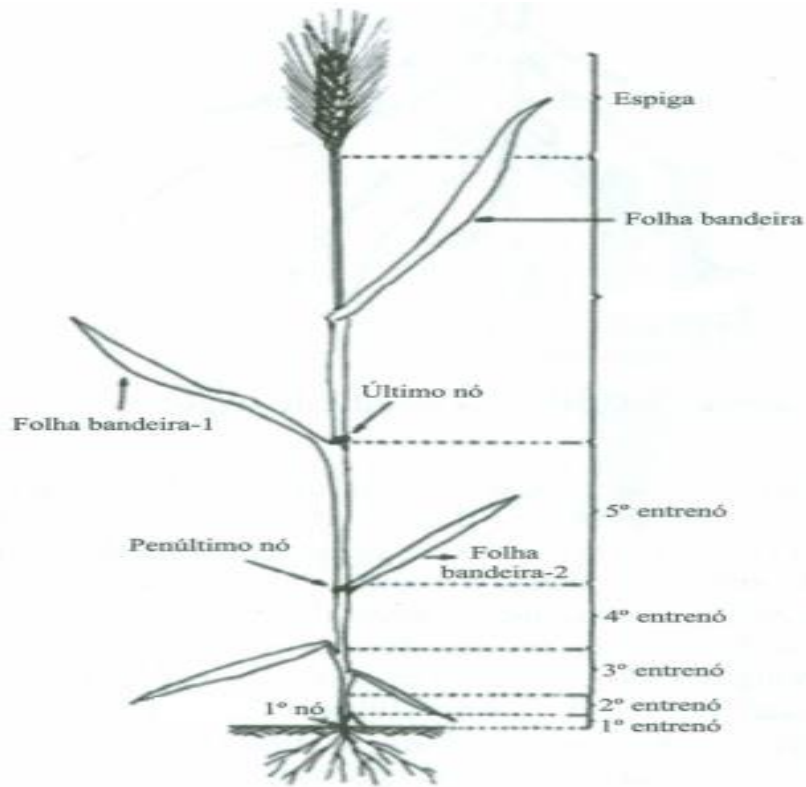


Figura 2. Representação ilustrativa da morfologia geral da planta de trigo.

Fonte: SCHEEREN et. al. (2015)

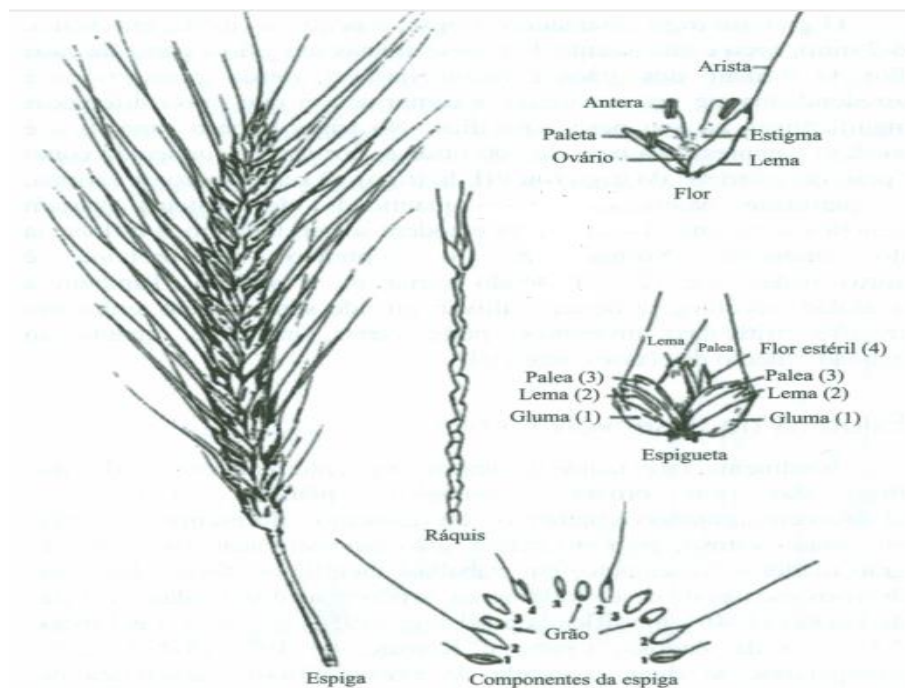


Figura 3. Representação ilustrativa da espiga, flor e seus componentes estruturais.

Fonte: SCHEEREN et. al. (2015)



Figura 4. Planta de trigo com afilhos ou perfilhos.

Fonte: Dados da pesquisa.



Figura 5. Extrusão das anteras após fecundação.

Fonte: dados da pesquisa.

O desenvolvimento do trigo é mais comumente descrito pelas fases fenológicas ou estádios de desenvolvimento de modo fixo, sendo: plântula, afilhamento, alongamento, emborrachamento, espigamento, florescimento, grão em estado leitoso, grão em massa, grão em maturação fisiológica e grão maduro. Entretanto, alguns trabalhos científicos (Escala de Feekes (1940), modificada por Large (1954), escala de Zadoks, Chang e Konzac (1974), descrevem de forma mais detalhadas o desenvolvimento dos tecidos, sendo a de Zadoks et. al. (1974) a mais detalhada de cada estágio da planta, dessa forma, mais precisa e indicada para trabalhos científicos (SCHEEREN et. al., 2015; GONÇALVEZ, et. al. 2007; SCHEEREN, 1986).

A cultura tem desenvolvimento ideal para o ciclo produtivo entre 18°C e 22°C, porém, algumas fases desenvolvem-se melhor com temperaturas médias distintas. Para o afilhamento entre 15°C e 20°C; para desenvolvimento de folhas entre 20°C e 25°C e para a fertilização 18°C a 25°C. Temperaturas acima dos 25°C causam redução no número de afilhos e abortamento de flores, além de acelerar o ciclo da cultura. Danos por frio são observados com temperaturas abaixo de -1°C, como por exemplo; o congelamento dos grãos na fase leitosa e estrangulamento do colmo por congelamento dos tecidos meristemáticos em pontos de crescimento. A exigência de água para um rendimento de grãos acima de quatro toneladas por hectare é de aproximadamente 600 mm, variando pelo tipo de cultivar, tendo um volume maior requerido nas fases de afilhamento, florescimento e enchimento de grãos (SCHEEREN et. al., 2015; EMBRAPA, 2016; SOUZA, 2009; GONÇALVEZ, et. al. 2007; SCHEEREN, 1986).

O cultivo no Brasil se dá a partir do outono, passando pelo inverno e chegando à primavera, tendo cultivares com ciclo médio entre 120 e 160 dias. Períodos de chuvas, alta umidade e oscilações de temperatura acabam por favorecer o aparecimento de doenças que podem acometer todas as partes da planta, afetando quantitativamente e qualitativamente os grãos. (ABITRIGO, 2021; EMBRAPA, 2016; KITAMI et. al., 2005, BERGAMIN & KITAMI, 1995).

2.2 Giberela do trigo – *Gibberella zeae* - *Fusarium graminearum*

Dentre as doenças que acometem o trigo, a giberela tem maior relevância pela fácil disseminação, difícil controle e de ser micotoxigênica. As principais espécies encontradas nas

regiões tritícolas pertencem ao complexo de espécies de *F. graminearum* (FGSC) que contém 16 espécies filogenéticas, porém nem todas as espécies são agentes causais da giberela e/ou presente na cultura do trigo, constituído por: *F. acacia-mearnsii*, *F. aethiopicum*, *F. asiaticum*, *F. austroamericanum*, *F. boothii*, *F. brasilicum*, *F. cortaderiae*, *F. gerlachii*, *F. graminearum sensu stricto*, *F. meridionale*, *F. mesoamericanum*, *F. ussurianum*, *F. vorosii*, *F. nepalense* e *F. lousianense* (DEL PONTE, 2013; AOKI et. al., 2012; ASTOLFI et. al., 2012).

O *Fusarium* spp produzem fiálides laterais curtas e conídios falciformes com 3 a 7 septos (Figura 6) que permanecem nos restos culturais de cultivos, sementes e plantas hospedeiras, tendo a disseminação a curtas distâncias feita por chuvas, água de irrigação e mecanizações, porém a forma mais comumente contagiosa é realizada pelos ascósporos. Os peritécios de *G. zaeae* são superficiais, gregários e coloração púrpura escura a pretos, dos quais liberam os ascos clavados contendo oito ascósporos (Figura 7) que são facilmente levados pelos ventos a grandes distâncias (EMBRAPA, 2016; ANGELOTTI et. al., 2006; KITAMI et. al., 2005; BERGAMIN & KITAMI, 1995).

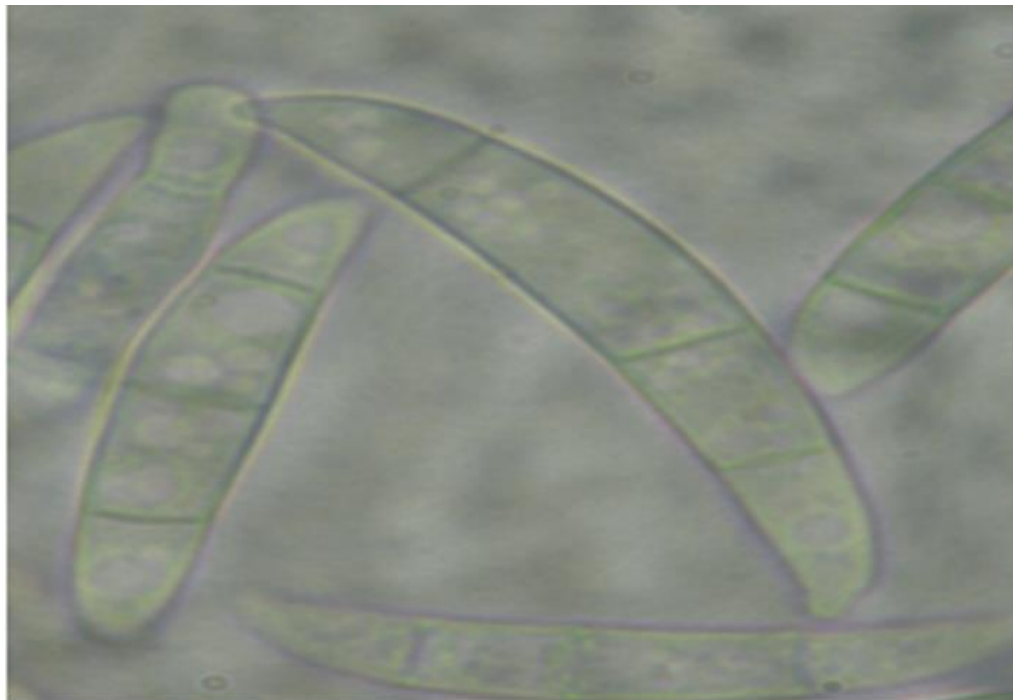


Figura 6. Conídios de *Fusarium* spp.

Fonte: Instituto Biológico de São Paulo



Figura 7. Peritécios em fase de exsudação dos ascos (esquerda) e ascos (direita) com ascósporos

Fonte: Instituto Biológico de São Paulo

A giberela do trigo, *Gibberella zae* Petch (Schwein.) fase teleomórfica, tendo como fase anamórfica (anamorfo *Fusarium graminearum* Schwabe) (FHB, “Fusarium heat blight”), pertence à Divisão *Ascomycota*, ordem *Hypocreales*. Essa divisão mais numerosa dos fungos tem a capacidade de estabelecimento nos mais diversos habitats, exercendo o parasitismo e/ou saprofitismo, causando diversas fitopatologias com alta capacidade micotoxigênicas (AMORIM et. al., 2018; KITAMI et. al., 2005; BERGAMIN & KITAMI, 1995).

Após a formação e liberação dos ascósporos pelos peritécios, fase teleomórfica ou sexuada, estruturas persistentes do fungo, estes ao serem depositados sobre o hospedeiro, germinam, iniciando a colonização dos tecidos. Em condições favoráveis ao fungo, normalmente a reprodução passa para a fase anamórfica ou assexual, produzindo conídios e macroconídios. As estruturas reprodutivas normalmente são de coloração avermelhadas, alaranjadas a róseas de textura carnosa e cerosa (AMORIM et. al., 2018; KITAMI et. al., 2005; BERGAMIN & KITAMI, 1995).

O fungo pode infectar a flor a partir das anteras, no momento de extrusão, colonizando todos os tecidos da espiguetta. A flor pode ser totalmente destruída, impedindo a formação dos grãos, tornando as espigas esbranquiçadas (Figura 9). Quando a infecção ocorre após a fase de antese e/ou de forma mais lenta, os grãos se desenvolvem mostrando sintomas característicos como: grãos enrugados, ásperos, róseos e chochos (Figura 8) e em climas mais úmidos, as

espiguetas ganham coloração rósea, devido ao desenvolvimento de macroconídios, (Figura 10) (ANGELOTTI et. al., 2006; KITAMI et. al., 2005; BERGAMIN & KITAMI, 1995).



Figura 8. Grãos de trigo com sintomatologia da giberela do trigo.

Fonte: Biotrigo Genética.



Figura 9. Espigas de trigo esbranquiçadas com sintomatologia de giberela do trigo.

Fonte: Dados da Pesquisa.



Figura 10. Espigas de trigo róseas avermelhadas com sintomatologia de giberela do trigo.

Fonte: Biotrigo Genética.

O período de infecção se dá no início da floração. As condições são de alta umidade e temperaturas médias de 20 °C a 25 °C. Com 72 horas de molhamento somado à temperatura ideal, cerca de 80% das espigas são contaminadas. Um aumento na intensidade e frequência de epidemias causadas por *F. graminearum* têm sido relatado nos últimos anos, que causaram perdas significativas na produtividade e mais relevante na qualidade do trigo (ABITRIGO, 2021; CEOLIN & LIMA, 2021; SANTANA, et. al., 2020).

Dentre as doenças de cereais de inverno, a giberela, se mostra a de mais difícil controle, seja pela ausência de cultivares resistentes, seja pelo momento de intervenção por fungicidas, ou ainda, pelo clima favorável coincidindo com o período reprodutivo da cultura. Outro fator importante ligado à giberela é que fungos que se reproduzem de forma sexuada e assexuada, possuem maior capacidade de desenvolver resistência a fungicidas, além de maior adaptabilidade a climas, solos e hospedeiros, ao mesmo tempo em que a presença do fungo pode indicar a contaminação por micotoxinas (ABITRIGO, 2021; SANTANA, et. al., 2020; ANGELOTTI et. al., 2006; KITAMI et. al., 2005; URECH, 1994).

2.3 Tipos de resistência do Trigo à Giberela

Os níveis de resistência do trigo à Giberela estão relacionados a fatores morfológicos e fisiológicos, ou seja, geno-fenotípicos, e são características amplamente buscadas e trabalhadas pelos programas e processos de melhoramentos genéticos de plantas. São comumente descritos e classificados em cinco tipos, sendo: tipo 1 – a resistência à infecção inicial; tipo 2- a resistência à colonização dos tecidos logo após a infecção; tipo 3 – resistência expressa no próprio grão; tipo 4 – resistência à micotoxinas e tipo 5 – tolerância, fator envolvido com qualidade e produtividade (CEOLIN & LIMA, 2021; MIEDANER, 1997).

Certas características morfológicas estão envolvidas com a pré-disposição da planta às infecções iniciais. Cultivares de porte mais baixo têm a tendência a serem mais infectados quando comparados a plantas mais altas, devido grande parte das estruturas do fungo estarem contidas na palhada junto à base da planta. Características como proximidade entre as espiguetas, tamanho de aristas e tempo de extrusão da antera, também são fatores que acabam por favorecer a severidade da doença, devido ao tempo de exposição da fase crítica à deposição de inóculos. Plantas com florescimento mais rápido tendem a ter as espiguetas menos infectadas pelo fungo, assim como a proximidade entre as espiguetas acabam por favorecer a colonização dos tecidos adjacentes. Estas características envolvem resistência tipo 1 (infecção inicial ou não infectado) e resistência tipo 2 (velocidade de colonização e infecção a áreas adjacentes) (CEOLIN & LIMA, 2021; MIEDANER, 1997).

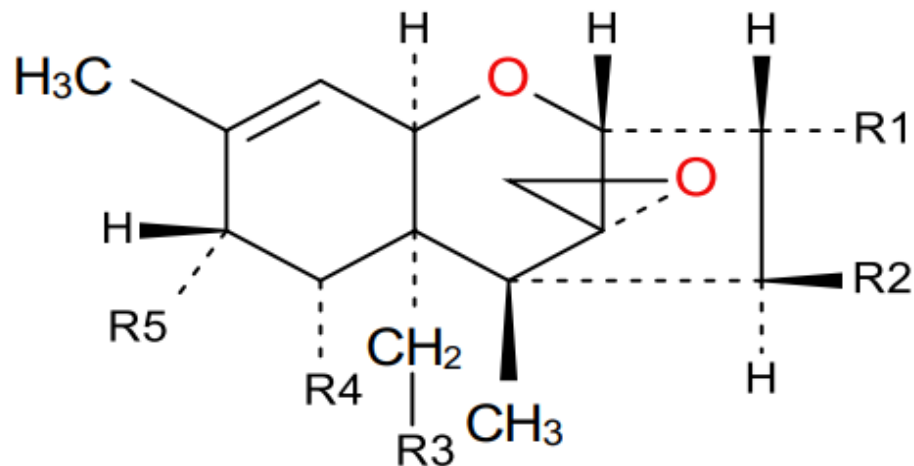
As resistências tipos 3 e 4 são as mais descritas quando se trata de produção e acumulação de micotoxinas, uma constante entre o hospedeiro e o patógeno. Substâncias do grupo oxirredutases e do grupo dos ácidos orgânicos foram encontradas em plantas de trigo infectadas por *Fusarium* com diferentes níveis e tipos de resistências. Independente do nível de resistência ao fungo e/ou sintomatologia, incidência e severidade observada, há a biossíntese de micotoxinas decorrente da presença do patógeno. A produção metabólica de micotoxinas feita pelo fungo pode ser degradada por processos enzimáticos realizados pelo hospedeiro, ferramenta fundamental no melhoramento genético de plantas de trigo, que inserem genes capazes de sintetizar enzimas para a conversão dessas substâncias em formas menos tóxicas (BERTHILLER et. al., 2013; PURI & ZHONG, 2010; BAI & SHANER, 2004). Por fim, a resistência tipo 5 está relacionada à tolerância, capacidade da planta em manter os atributos de quantidade e qualidade dos grãos, ou seja, menor perda produtiva, independentemente dos níveis de infecção de giberela, conferindo aos cultivares com níveis

de suscetibilidade à doença, capacidade e qualidade produtiva (CEOLIN & LIMA, 2021; MIEDANER, 1997).

2.4 Micotoxinas

As micotoxinas são compostos químicos tóxicos, sintetizadas por fungos toxigênicos como defesa ao estresse biótico e abiótico, que afetam a integridade metabólica do indivíduo exposto, produzidos como meio de competição pelo substrato e/ou sobrevivência. Dentre as espécies que acometem o trigo, o complexo da espécie *F. graminearum* é responsável pela produção das: zearalenona (ZEN); fumonisinas (FUMO) e deoxinivalenol (DON) (LIMA, et. al., 2022; MENDES et. al., 2015; COWGER & ARELLANO, 2013; DEL PONTE et. al., 2012; MALLMANN & DILKIN, 2007).

No trigo são encontradas a ZEN, com capacidade estrogênica não esteroide, e mais comumente, a DON, também conhecida como vomitoxina. O deoxinivalenol (DON) (12,13-epoxi-3 α ,7 α ,15-trihidroxitricotec-9-en-8-ona) é um composto orgânico medianamente polar, solvente em solventes orgânicos polares e medianamente polares (acetoneitrila, acetato de etila, clorofórmio, etanol e metanol). Classificada como tricotecenos do tipo B tem como principais quimiotipos de sua forma acetilada o 15-acetil-desoxinivalenol (15-ADON), 3-acetil DON (3-ADON) e nivalenol (NIV), micotoxinas expressadas a partir do genótipo tricoteceno. Os tricotecenos são formados a partir de uma molécula sesquiterpenoide (15 carbonos) (farnesil – pirofosfato) de onde decorre sua biossíntese, caracteriza-se por possuírem esqueleto tetracíclico 12,13 epoxitricoteno (Figura 11). O termo tricoteceno deriva de tricotecina, a primeira micotoxina a ser identificada. Vale ressaltar que as toxinas DON são as mais frequentemente relatadas no mundo, em maior concentração no cultivo do trigo. As micotoxinas são quimicamente estáveis, resistentes aos processos que envolvem a cadeia produtiva e de processamento do trigo, chegando aos produtos para alimentação humana e animal (LIMA, et. al., 2022; MENDES et. al., 2015; COWGER & ARELLANO, 2013; BARCELO et. al., 2008; MALLMANN & DILKIN, 2007, FREIRE et. al., 2007).



Grupo	Toxina	R1	R2	R3	R4	R5
B	Desoxinivalenol (DON)	-OH	-H	-OH	-OH	=O
	3-O-acetil DON (3-ADON)	-Oac	-H	-OH	-OH	=O
	15-O-acetil DON (15-ADON)	-OH	-H	-OAc	-OH	=O
	Nivalenol (NIV)	-OH	-OH	-OH	-OH	=O

Figura 11. Estruturas químicas (tricotecenos tipo B) de deoxinivalenol (DON), 3-acetil DON (3-ADON), 15-acetil-desoxinivalenol (15-ADON) e nivalenol (NIV).

Fonte: FREIRE et. al. 2007.

A toxicidade de micotoxinas DON se dá pelos grupos hidroxilas livres (-OH) e anéis epóxido 8, 9, 10 e 12, sendo este último, comum em todos os tricotecenos. Após a ingestão o efeito tóxico inibe a síntese proteica e a função mitocondrial, interrompendo o funcionamento normal das células. A micotoxicose causada pela DON pode desencadear sintomas como, recusa alimentar, aleukia tóxica, vômitos, deficiências imunológicas e neurológicas. Outros efeitos ligados aos tricotecenos são: diminuição de glóbulos vermelhos; redução nos níveis de proteínas séricas, cálcio e de fósforo (BIANCHINI et. al., 2015; PESTKA, 2010; DEL PONTE, 2007; FREIRE et. al., 2007; SNIJDERS, 1990).

2.5 Legislação sobre micotoxinas

Devido às ameaças à saúde pública decorrentes das micotoxinas e a fundamental importância da segurança alimentar, segundo a legislação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os alimentos derivados do trigo, desde sua matéria-prima, deverão respeitar um limite máximo para a presença de micotoxinas, sendo seu descumprimento um

ato de infração sanitária passível de multa e recolhimento do material (ANVISA, 2022). Embora haja legislação vigente sobre o índice de DON no trigo e seus derivados, estudo realizado por Mallmann et al. (2017) relatou que 30% das 1.043 amostras de trigo coletadas por eles, excediam 1000 ppb da micotoxina. Em outro estudo Guarienti et. al. (2018) detectaram a presença da micotoxina em 55% das 100 amostras coletadas, variando entre 200 ppb e 2.743 ppb. Já os produtos prontos para o consumo, Savi et. al. (2016) relataram que 10% dos biscoitos salgados e 17% do pão integral apresentaram respectivamente, 624 ppb e 437 ppb da DON, ainda, segundo os trabalhos publicados por Custódio et. al. (2016) e Bianchini et. a. 2015, dentre os alimentos que mais expõe a população brasileira à DON, estão o macarrão (79,3%), pão (14,5%), biscoito salgado (2,1%) e biscoito doce (1,3%).

A dose letal média LD50 para DON em humanos, está entre 46 a 78 ppm, motivo que levou a Organização Mundial da Saúde (OMS) a estabelecer nível máximo de 1ppm por quilo corporal. A fim de proteger os consumidores e regular os níveis de micotoxinas presentes em matérias-primas e produtos alimentícios, a (ANVISA) determinou limites máximos tolerados (LMT) para DON (Figura 12) (ANVISA, 2022).

Desoxinivalenol (DON)	
Alimentos ou categorias de alimentos	LMT (mcg/kg)
Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	200
Arroz beneficiado e derivados	750
Farinha de trigo, grão de cevada, cevada maltada, massas, crackers, biscoitos de água e sal, outros produtos de panificação, e outros cereais e produtos de cereais, exceto os de arroz e trigo integral	1000
Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral e farelo de trigo	1250
Trigo, milho e cevada em grãos para posterior processamento	2000

Tabela 1. Limites máximos tolerados (LMT) para deoxinivalenol nas matérias-primas e alimentos.

Fonte: ANVISA (2022).

2.6 Manejo da giberela com fungicidas

Para o melhor manejo do complexo de doenças do trigo, as práticas culturais comuns à agricultura e de cultivo são de suma importância, mas, ainda um enorme desafio para a

giberela. A partir dos tipos de resistências, os cultivares de trigos utilizados nos cultivos apresentam de alta suscetibilidade a moderada resistência à giberela, sendo sua escolha uma parte importante para o manejo. A permanência das estruturas reprodutivas do fungo em restos culturais como milho, sorgo, soja e plantas hospedeiras garante a permanência nos campos de cultivo. Outra forma utilizada para tentar minimizar os danos causados pela doença é o momento de semeadura do trigo, método que visa antecipar ou postergar o florescimento, tentativa de fazer com que a floração não coincida com momentos meteorológicos favoráveis ao fungo. Dessa forma a utilização de fungicidas em momentos apropriados somado aos demais manejos pode reforçar a tentativa de reduzir os impactos causados pela doença (ABITRIGO, 2021; AMORIM et. al., 2018; KITAMI et. al., 2005).

Mesmo com poucos fungicidas registrados para o controle da giberela do trigo, o controle químico é o mais utilizado. O manejo apresenta eficácia bastante variável, em função de condições geográficas, cultivar de trigo, momento de aplicação e resistência do fungo endêmico. Para um melhor desempenho dos fungicidas, seus usos devem estar estritamente ligados ao momento correto de aplicação, devendo seguir preceitos técnicos de aplicação, quais moléculas utilizar, frequência de utilização, dosagem e condições ambientais, visando reduzir a seleção e a resistência do fungo (SANTANA et. al., 2020; AMORIM et. al., 2018; KITAMI et. al., 2005; BERGAMIN & KITAMI, 1995; URECH, 1994).

A giberela é classificada como uma fitopatologia de infecção floral de difícil controle, a forma mais difundida para seu manejo por fungicidas, é a condição de floração (25% e/ou maior número de flores abertas, extrusadas) somada a condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença. Após a exposição da flor aos inóculos do patógeno, ocorre a germinação dos esporos e a colonização dos tecidos florais, tornando o controle ineficiente. Dessa forma, aplicações objetivando a fase de floração são fundamentais para a tentativa de proteger o ponto de infecção. A tecnologia de aplicação dos fungicidas foi desenvolvida para o recobrimento foliar, tendo sua eficácia reduzida quanto ao recobrimento dos componentes florais da espiga, pelo fato destas possuírem formato, tamanho e disposição diferentes quando comparado às folhas, além de performarem em momentos distintos em cada planta, fato que pode decorrer de mais aplicações para o maior número de flores protegidas (AMORIM et. al., 2018; AVOZANI et. al., 2014; DEL PONTE et. al., 2004; KITAMI et. al., 2005).

Fungicidas dos grupos químicos estrobilurinas e triazois demonstraram resultados na redução da incidência da giberela, em aplicações no florescimento, como relatado por

Scaglioni (2017). Mesterhazy (1996) relatou diminuição de até 73,6% na incidência da giberela utilizando aplicações em pré-florescimento e em florescimento, quando comparado às testemunhas, que receberam aplicações mais tardias ou não receberam nenhuma aplicação, constatando que a antecipação ao florescimento também pode ser aliada na proteção contra a germinação e desenvolvimento micelial do fungo.

Embora alguns fungicidas diminuam o desenvolvimento da giberela, agindo sobre os processos bioquímicos e fisiológicos do patógeno, principalmente nas mitocôndrias e no ergosterol, por outro lado, estudos demonstram que, mesmo com a diminuição do desenvolvimento da doença, não ocorre o mesmo efeito sobre a produção de micotoxinas. Em pesquisa realizada por Ramirez et. al. (2004) verificaram que as maiores das doses dos fungicidas dos grupos químicos estrobilurinas e triazois foram eficientes quanto à inibição do crescimento micelial de *F. graminearum*, e consequente controle da doença, porém quando comparado à testemunha, sem aplicação, a presença dos fungicidas estimularam a produção de micotoxinas.

A utilização de resistência genética e de fungicidas é clara quando da diminuição do desenvolvimento da giberela, porém, têm efeitos variáveis quanto à produção e a acumulação de micotoxinas. Estudos demonstraram que diferentes níveis de resistência dos cultivares de trigo à giberela, não correlacionam com maiores ou menores níveis de micotoxinas nas plantas. Outro fator também apontado, é que, os níveis de incidência e severidade podem não estar relacionados aos níveis de micotoxinas (PURI & ZHONG, 2010; MUDGE et. al., 2006).

A identificação dos momentos de maior suscetibilidade ao fungo é importante para a tomada de decisão de aplicação de fungicidas, permitindo realizar o manejo adequado e reduzir a exposição da espiga aos inóculos do patógeno. Do alongamento do último entrenó, emergirá a espiga e folha bandeira, sendo esta a última folha. O período crítico à giberela compreende a exposição das anteras, de aproximadamente 20 dias, momento em que a flor pode ser totalmente destruída, somado a 10 dias de pós-floração, onde a infecção pode causar os danos relacionados aos grãos. As condições meteorológicas nessas fases são de fundamental importância para a liberação de ascósporos pelos peritécios, e consequente, correta tomada de decisão quanto ao manejo (EMBRAPA, 2020; KITAMI et. al., 2005; LIMA, et. al., 2002).

É imperativo o uso de fungicidas para o controle de fitopatologias dos cultivos em geral, porém o uso indiscriminado e a utilização incorreta de tecnologias de aplicação

contribuem para a deterioração ambiental, perdendo processo edáficos, poluindo águas e alimentos, invariavelmente chegando aos consumidores. Condição que motiva a racionalização do uso desses defensivos químicos, buscando diferentes estratégias técnicas de uso para garantir juntamente com a fitossanidade das plantas, a qualidade e a manutenção dos parâmetros ambientais e da segurança de alimentos (SANTANA et. al., 2020; AMORIM et. al., 2018; ZAMBERLAM & FRONCHETI, 2007; ALTIERI, 2004)

Em situações do aumento da concentração de micotoxinas nos grãos de trigo, os produtores encontram dificuldades na comercialização e na utilização da produção. Com a expansão da triticultura e conseqüente aumento da giberela, aumentaram também as demandas por soluções para o manejo. Dessa forma, práticas que visem diminuir os danos causados pela doença, devem ser estudadas, principalmente as que envolvam a utilização de cultivares, manejo fitossanitário e ações pós-colheita (LIMA, et. al., 2022; TIBOLA & FERNANDES, 2020).

Embora, nas ultimas décadas, tenha ocorrido progresso sobre o conhecimento técnico-científico da giberela do trigo, o manejo do patógeno continua sendo um desafio para a triticultura. A adoção de estratégias no cultivo do trigo desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da doença, porém, não evitam o surgimento das micotoxinas (LAU et. al, 2020; SANTANA et. al., 2020; AMORIM et. al., 2018). As pesquisas de comprovação para diminuição do desenvolvimento da giberela através de resistências genéticas e fungicidas são muitas, porém, a falta de informações sobre produção e acumulação de micotoxinas a partir dessas metodologias ainda é uma constante. Diante dos resultados observados em pesquisas, o presente trabalho propôs avaliar o comportamento dos níveis de resistências contrastantes à giberela, aliado à diferenciação da aplicação de fungicidas em diferentes estádios fenológicos, avaliando sua influência na intensidade da doença, qualidade dos grãos e contaminação por micotoxinas.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a viabilidade técnica da integração de estratégias de manejo da giberela do trigo, em condições de sequeiro e irrigado, visando racionalizar o uso de agrotóxicos e reduzir a contaminação por micotoxinas.

3.2 Específicos

Avaliar o efeito da integração entre aplicação de fungicida em diferentes estádios fenológicos e resistência de cultivar, na incidência e severidade da giberela do trigo;

Identificar as micotoxinas presentes em decorrência da infecção por *Fusarium* spp;

Determinar os níveis de micotoxinas encontrados em cada variedade de trigo e tratamentos;

Quantificar os danos decorrentes da giberela sobre a qualidade e quantidade de grãos de trigo;

Avaliar a eficiência das diferentes estratégias de manejo integrado da giberela do trigo em condições de irrigado sob pivô central e sequeiro;

Descrever a influência das combinações de aplicações de fungicidas no que se refere à qualidade e quantidade produtivas, além da inibição ou não sobre a produção das micotoxinas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

A pesquisa foi realizada no *Campus* Lagoa do Sino da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, município de Buri, Estado de São Paulo (Figura 13), Brasil, a uma altitude de 634 metros. O clima da região é o tropical em transição para o subtropical, tendo as quatro estações bem definidas, com temperatura média anual de 24°C graus. O solo predominante é o Latossolo vermelho distroférico (IAC, 2021; MENDONÇA & OLIVEIRA, 2007).

Para o desenvolvimento do projeto foram adotados dois hectares, sendo um hectare em área irrigada por pivô central e um hectare em área de sequeiro. Os cultivares de trigo

moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) foram semeados na divisão de meio hectare para cada material e em cada situação de cultivo.



Figura 13. Mapa da Divisão Municipal do Estado de São Paulo

Fonte: IGC (2022) Localização Município de Buri.

Para a implantação do projeto foi utilizado trator e uma semeadora de trigo de doze linhas. As semeaduras dos materiais foram realizadas em sistema de plantio direto sobre palhada de cultivo de soja, nos dias 11/05/21 e 16/05/22. A adubação de base foi de 300 kg/ha⁻¹ (N-P-K 8-28-16).

O manejo de plantas espontâneas foi realizado em dessecação pré-semeadura com herbicidas 2,4D e glifosato, e pós-semeadura com metsulfurom metílico e clodinafope propargil. Quando no desenvolvimento das plantas de trigo, tendo o primeiro nó visível a partir da alongação, fez-se a aplicação de regulador de crescimento trinexapaque-etílico, para fortalecimento dos entrenós basais, engrossamento de colmo e controle da altura de plantas, evitando assim tombamentos. O controle de pragas foi realizado somente quando atingiram nível de dano econômico (NDE), utilizando pretroides, neocotinoídeos e diamidas, para o controle de artrópodes mastigadores e sugadores, em todas as parcelas.

Os tratamentos foram realizados com fungicida registrado para a cultura do trigo (triazol e estrobilurina, mistura comercial de tebuconazole 200g/l + trifloxistrobina 100g/l na

dose de 0,75 l/ ha⁻¹ adicionado de óleo adjuvante metilado de soja 0,25% do volume de calda), aplicados com pulverizador costal com volume calculado para 150 l/ ha⁻¹, nas épocas pré-determinadas.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos ao acaso, com três repetições de cada tratamento, sendo 24 subparcelas para cada cultivar em área de irrigado (48 repetições - 24(AS) + 24(MR)) e 24 subparcelas para cada cultivar em área de sequeiro (48 repetições - 24(AS) + 24(MR)), o que resultou na análise de oito combinações de aplicações de fungicidas e dois níveis de resistência genética do trigo.

As irrigações foram realizadas a partir da extrusão das anteras até seu término, distribuídas em cinco lâminas, sempre às 10h00min. As lâminas de irrigação foram de 12 mm por cerca de 27 minutos, tempo necessário para o volume de irrigação, consequente da velocidade de deslocamento do pivô central sobre a área do experimento. Todas as parcelas na área de irrigação receberam o mesmo volume. Para as anotações das chuvas, utilizou-se pluviômetro já existente nas dependências do campus Lagoa do Sino – UFSCar, Buri – SP.

Cada subparcela experimental foi de 6x6m / 36 m² sendo 35 linhas de semeadura num espaçamento de 0,17m, obtendo-se população final de 68 plantas por metro (m) e/ou 400 plantas por metro quadrado (m²), utilizando-se aproximadamente 92 kg de sementes não tratadas por hectare. Para evitar interferência entre os tratamentos, as cinco fileiras laterais de cada lado da parcela bem como 1,0 m do início e do final de cada linha foram utilizadas como bordadura, não sendo contabilizadas para as coletas das espigas e avaliações. A parcela útil foi composta pelas 15 fileiras centrais.

As combinações dos tratamentos (característica genética e controle químico) para o manejo da giberela do trigo foi realizado considerando as fases fenológicas segundo Zadoks et al. (1974):

T1- sem aplicação de fungicida (controle);

T2- aplicação na pré-antese (considerando o final do emborrachamento com as primeiras aristas visíveis em pelo menos 70% das plantas);

T3- aplicação na antese (considerando a extrusão da antera em 70% das plantas);

T4- aplicação sete dias após a antese;

T5- aplicações na pré-antese e na antese;

T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese;

T7- aplicações na antese e sete dias após a antese;

T8- aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

Assim, foi possível verificar, em condições de campo, a eficácia das combinações de manejo propostas, bem como o efeito da antecipação (efeito preventivo) e/ou postergação (efeito curativo) da aplicação de fungicida, bem como a eficiência do número de aplicações, considerando que na prática as espigas se performam em momentos distintos, permitindo a infecção pela giberela em período maior de tempo, estendendo a fase crítica, em que nem sempre é possível aplicar o produto no momento correto para a minimização dos danos causados.

5. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS GRÃOS

5.1 Quantificação da intensidade da doença

A intensidade de giberela foi quantificada pela incidência e a severidade, resultando no índice de giberela (IG), conforme apresentado por Casa et. al. (2007), em 100 espigas avaliadas *in loco* ao acaso nas quinze linhas centrais de cada parcela, no estágio de desenvolvimento 88 (Figura 14) da escala fenológica de Zadoks et. al. (1974). A incidência da doença foi determinada pela porcentagem de espigas doentes do número total de 100 espigas avaliadas. Foi considerada espiga doente (giberelada) aquela com a presença de, no mínimo, uma espiguetas infectada, apresentando sintomas característicos da doença. A severidade foi determinada contando-se o número de espiguetas infectadas por espiga. Os dados de severidade foram expressos em porcentagem, obtidos do número de espiguetas gibereladas em função do número médio de quarenta espiguetas por espiga, e posteriormente, aplicadas ao índice de giberela (IG) calculado de acordo com a equação:

$$IG = (I \times S) / 100 \quad \text{em que, I é incidência e S é severidade.}$$



Figura 14. Estádio fenológico das coletas segundo escala de Zadoks et. al. (1974).

Fonte: Dados da pesquisa.

5.2 Determinação da concentração de micotoxinas DON e seus quimiotipos

Dentro da área útil de cada subparcela, sendo as 15 fileiras centrais, coletaram-se aleatoriamente espigas no estágio 90 da escala fenológica de Zadoks et. al. (1974) (Figura 16). Posteriormente, realizou-se debulha manual obtendo amostras de 60g (gramas) de grãos de cada repetição por tratamento. As amostras foram processadas em moinho de facas com peneira de 2 mm (milímetros), armazenadas em sacos de papel sob congelamento, e posteriormente, enviadas ao Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos – LAMCA, da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. As concentrações de micotoxinas e tipos dos tricotecenos foram determinados, avaliados e validados segundo metodologia QuEChERS e HPLC-PDA (CERQUEIRA et. al., 2022).

5.3 Quantificação dos danos causados pela doença

Para a determinação dos danos, empregou-se a metodologia proposta por Reis (1986) e também utilizada com sucesso por Panisson et. al. (2003), cujos procedimentos foram:

-
- 1- pesagem dos grãos sadios e doentes, separados por quarteação, do total de 100 espigas;
 - 2- determinação do rendimento potencial (RP) usando a divisão do peso total de grãos sadios pelo número de espigas sadias (não gibereladas) e multiplicando-se esse valor pelo número total de 100 espigas;

3- cálculo do rendimento real (RR) pela soma do peso dos grãos sadios e do peso dos grãos das espigas doentes.

4- Cálculo dos danos (D), a partir da subtração de RR do RP, redução de peso (%)

5.4 Cálculo de rendimento dos grãos

Para a avaliação do peso por unidade de volume, gerando a densidade do grão (kg/hct^{-1} peso hectolítrico) foi utilizada balança analítica GEHAKA® 650i. Para calcular a produtividade esperada em (t/ha^{-1}) sob cada tratamento, foi realizada metodologia conforme Bach et. al. (2020), nas áreas amostrais dentro da área útil de cada subparcela nas repetições dos tratamentos, coletou-se todas as espigas em estágio 90 (Figura 16) da escala fenológica de Zadoks et. al. (1974), em 1 metro quadrado (m^2) as quais foram debulhadas e os grãos obtidos pesados em balança analítica.



Figura 16. Plantas de trigo em estado de maturação, estágio fenológico 90 da escala de Zadoks et. al. (1974),

Fonte: Dados da pesquisa

5.5 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada ao conjunto de dados, seguida do teste de Tukey com nível de 95% de confiança pelo software (BioEstat - versão 5.3).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Dados Meteorológicos

Nos dois anos de cultivo do trigo, naturalmente, houve diferenças entre as pluviosidades, temperaturas e umidade relativa do ar, o que influenciou o desenvolvimento das plantas e a intensidade da giberela. O ano de 2022 foi mais quente, com menor pluviosidade e maior umidade, quando comparado a 2021.

Os volumes pluviométricos durante os ciclos de cultivos se distribuíram da seguinte forma: para o ano de cultivo de 2021, da sementeira até o período de emborrachamento (117 mm); da exposição da espiga até o final da antese (47 mm) e do grão em fase de leite até a colheita (148 mm). No primeiro ano de cultivo a antese se iniciou em 12/08/2021 e se encerrou em 26/08/2021, coincidindo com o menor volume de chuvas. A área irrigada recebeu um total de 60 mm distribuídas em cinco irrigações, dando um total de 396 mm para a área irrigada (irrigação + precipitação) e 336 mm para a área de sequeiro (precipitação), (Figura 17).



Figura 17. Precipitação (mm) e irrigação (mm) para a área irrigada e precipitação para a área de sequeiro em 2021, Buri – SP.

Durante a fase crítica para o desenvolvimento da giberela, no primeiro ano de cultivo (considerado a partir do florescimento) a temperatura média foi de 21 °C e a umidade média relativa do ar (UR %) foi de 72. Antes do período de florescimento, as temperaturas médias ficaram abaixo dos 20 °C, o que pode não ter favorecido maior exsudação de ascósporos pelos peritécios, podendo reduzir os níveis de infecção da doença, característica meteorológica que se repetiu após o florescimento (Figuras 18 e 19).

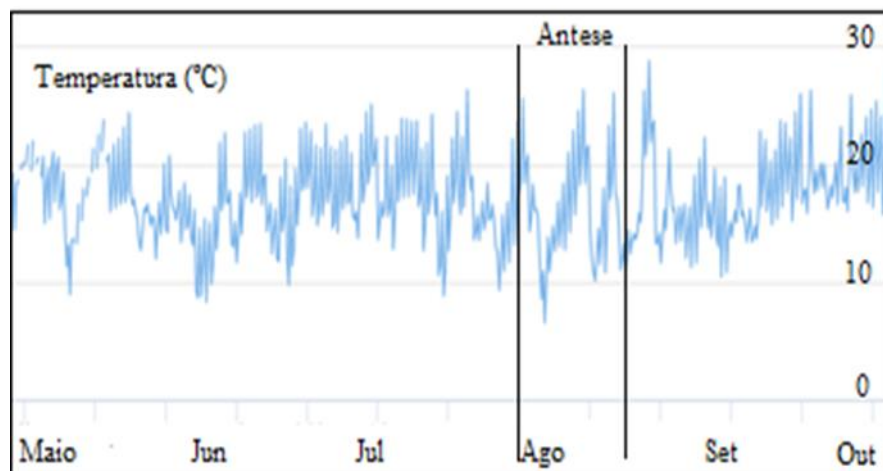


Figura 18. Temperatura (°C) no período de maio a outubro de 2021, Buri-SP.

Fonte: INMET (2022).

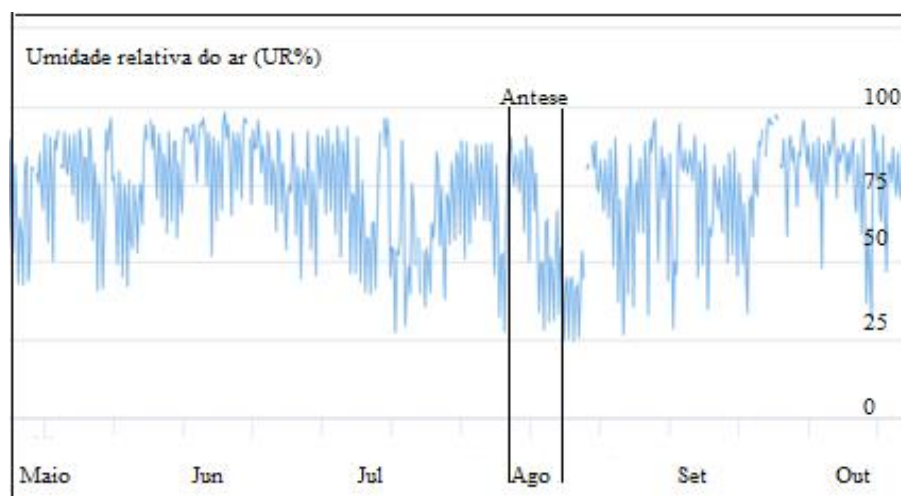


Figura 19. Umidade relativa do ar (UR%) no período de maio a outubro de 2021, Buri-SP.

Fonte: INMET (2022).

Para o ano de cultivo de 2022 os volumes pluviométricos se distribuíram da seguinte forma, da semeadura até o período de emborrachamento (87 mm); da exposição da espiga até o final da antese (62 mm) e do grão em fase de leite até a colheita (125 mm). A antese teve início em 17/08 e se encerrou em 29/08. A área irrigada recebeu um total de 60 mm de água distribuídas em cinco irrigações, dando um total de 334 mm para a área irrigada (irrigação + precipitação) e 274 mm para a área de sequeiro (precipitação), (Figura 20).

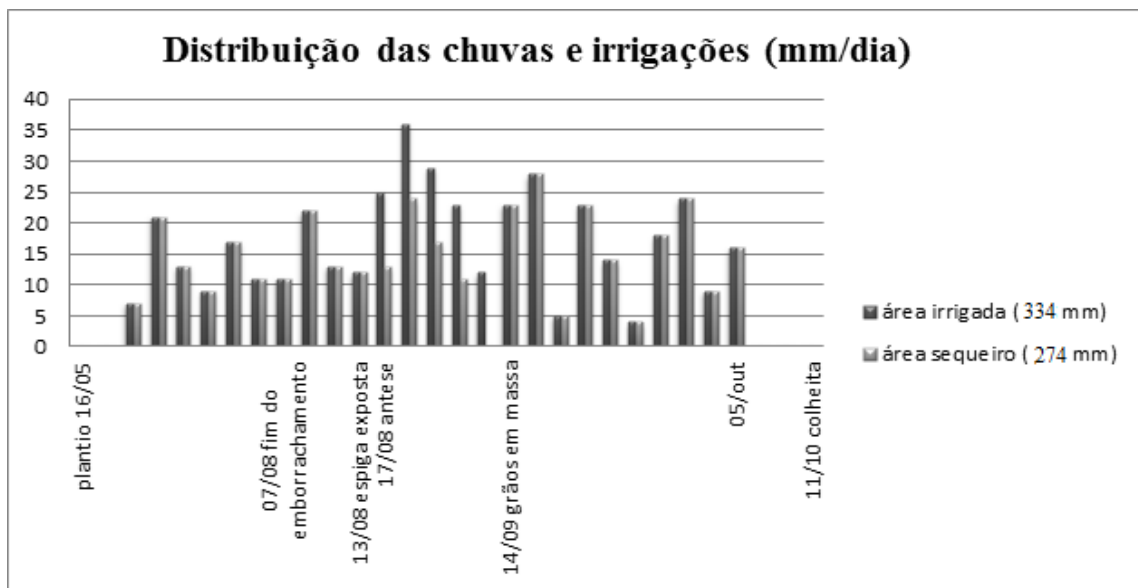


Figura 20. Precipitação (mm) e irrigação (mm) para a área irrigada e precipitação para a área de sequeiro no ano de cultivo de 2022, Buri – SP.

Fonte: Dados da Pesquisa

Em 2022, a temperatura média (°C) e a umidade relativa do ar (UR%) no período de maior favorabilidade ao desenvolvimento da doença (antese), ficaram em 24 °C e 86% respectivamente. As condições meteorológicas antes e após o florescimento ficaram fora da faixa ideal para o desenvolvimento da doença, o que pode ter reduzido os níveis de produção das estruturas reprodutivas e consequente níveis de infecção pelo fungo, como no ano de 2021 (figuras 21 e 22).

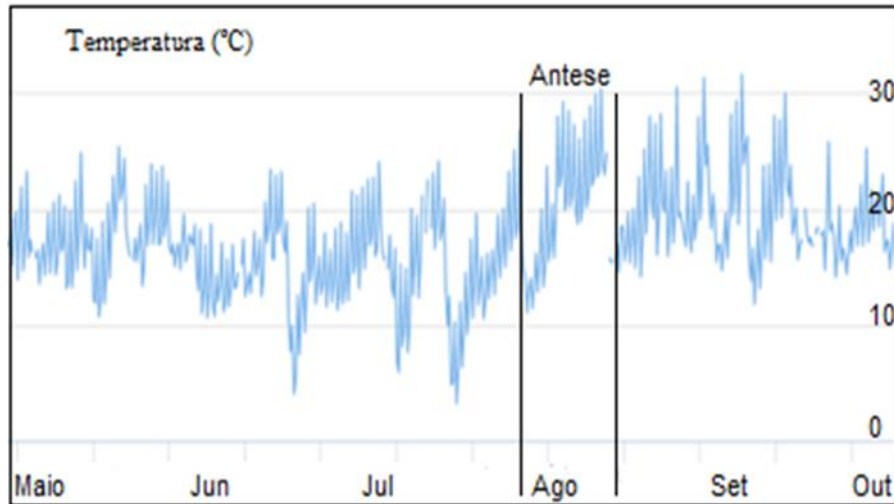


Figura 21. Temperatura (°C) no período de maio a outubro de 2022, Buri-SP.

Fonte: INMET (2022).

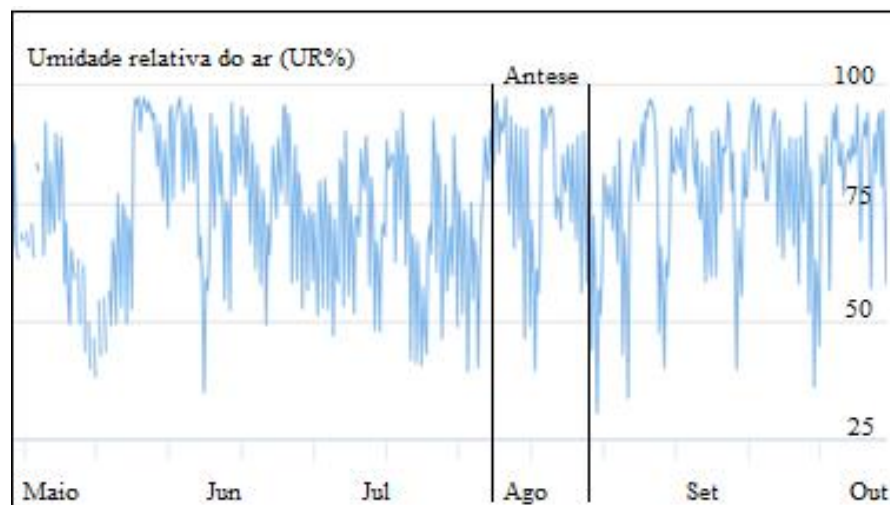


Figura 22. Umidade relativa do ar (UR%) no período de maio a outubro de 2022, Buri-SP.

Fonte: INMET (2022).

As diferenças climatológicas entre os dois anos de cultivo foram mais acentuadas no início do desenvolvimento das plantas até o término do perfilhamento, e no período reprodutivo. O afilhamento ou perfilhamento tem melhor desenvolvimento em temperaturas entre 15°C e 20°C, ocasionando um maior número de perfilhos. Entretanto, no segundo ano de experimento, a fase foi acometida por temperaturas acima dos 25°C, somado a um período de estiagem, ocasionando redução de até 50% no número de perfilhos (Figura 23).

A fase reprodutiva do trigo em 2022 (antese) teve 15 mm a mais de chuvas e temperatura média 3°C acima, quando comparado ao ano de 2021. O acúmulo em graus Celsius (°C/dia), somado a um menor índice pluviométrico nos 2/3 iniciais da cultura, fez com que a fase reprodutiva (antese) fosse um pouco mais curta em 2022, (14 dias em 2021 e 12 em 2022), assim como as demais fases.



Figura 23. Perfilhos ou afilhos em 2021(esquerda) e 2022 (direita), em plantas de trigo dos experimentos, Buri-SP.

Fonte: Dados da Pesquisa

Assim como em outras espécies vegetais anuais, as reduções nos volumes pluviométricos somados às temperaturas elevadas acarretam em distúrbios fisiológicos nas plantas, fazendo com que antecipem os processos de divisão meristemática e formação dos tecidos, reduzindo o tempo de desenvolvimento dos estádios fenológicos, decorrentes também da produção de hormônios de maturação (TAIZ & ZEIGER, 2013). Outro fator ligado ao estresse é o de alteração da vulnerabilidade das plantas ao fungo, como por exemplo, o nível de água presente nos tecidos, a formação da espessura da cutícula e a produção ou não de substâncias de resistência à infecção, como as fitoalexinas (SOUZA et. al., 2013; TAIZ & ZEIGER, 2013).

De mesma forma, como o clima influenciou no desenvolvimento das plantas entre os dois anos de cultivos, houve também diferenças na intensidade da giberela. De modo geral as variáveis relacionadas à intensidade da doença, foram menores em 2022.

Segundo Amorim et. al., (2018) as condições climatológicas influenciam o desenvolvimento do patógeno. As ações diretas do ambiente podem interferir nos processos de sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução dos fungos. De maneira geral a temperatura está relacionada ao tempo de germinação e esporulação de *Fusarium*, sendo, a umidade resultante de chuvas, deposição de orvalho e irrigação, fator importante para a germinação e penetração no hospedeiro, iniciando os processos de infecção. Assim, períodos favoráveis ou não aos patógenos que antecedem ou subsequentes à antese, podem aumentar ou reduzir os níveis de infecção e conseqüentemente a intensidade observada da giberela (MORAES, 2021; KITAMI, 2005).

6.2 Efeito dos tratamentos sobre a giberela e a produção de micotoxinas

Nos dois anos de cultivo, o índice de giberela (IG) foi menor que sete, que para alguns autores indica baixa intensidade, o que pode ser explicado devido às condições meteorológicas durante a fase de suscetibilidade à infecção por *Fusarium* spp (MACHADO et. al., 2016; PANISSON et. al., 2003). Nos dois anos as parcelas que não receberam aplicações de fungicidas (tratamento T1) apresentaram maiores médias de índice de giberela (IG) e danos nos grãos (D) de até 115,5%, quando comparadas às médias das parcelas que receberam os demais tratamentos, tanto na área irrigada, quanto sequeiro. De mesma forma, as aplicações após a antese (tratamento T4), objetivadas a campo em função curativa, também apresentaram maiores médias de índice de giberela, superiores aos demais tratamentos com aplicações em pré-antese ou na antese. Quanto ao acúmulo geral das micotoxinas, não houve o mesmo comportamento observado quanto à intensidade da doença, em que alguns tratamentos tiveram maiores níveis quando comparados ao tratamento sem aplicação de fungicida (Tabelas 2 e 3). Aumentos nos níveis de micotoxinas devido a aplicações de fungicidas foram observados em pesquisas, em que a administração sobre o fungo com as moléculas presentes nos produtos comerciais acaba por estimular a biossíntese pelos patógenos (BISSONNETTE et. al., 2018; SCAGLIONI, 2017; RAMIREZ et. al., 2003).

Tabela 2. Índice de Giberela (IG), quantificação dos danos causados pela doença (D) e concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas deoxinivalenol e derivados (DON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Variáveis	IG		D %		DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)	
	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado						
T1	3,19a	3,39a	12,1a	10,3a	740b	929bc
T2	1,36bc	2,18b	2,3b	1,4b	2341a	352c
T3	0,23c	2,47ab	1,9b	1,1b	341b	846bc
T4	0,33c	3,4a	1,1b	9,1a	1256ab	1847a
T5	0,46c	0,38c	1,9b	1,4b	1727ab	1566a
T6	0,86c	3,27a	1,5b	5b	128b	0,0d
T7	1,23bc	1,99b	2b	1,8b	1618ab	1181b
T8	0,29c	0,48c	1,8b	0,4b	1262ab	1637ab
Sequeiro						
T1	3,95a	3,99a	13a	13,7a	1694ab	746b
T2	0,88bc	0,36b	2,3bc	1,5c	915b	572b
T3	0,55c	2,28a	3,4bc	4,9b	1167b	204b
T4	2,47ab	3,48a	6b	5,6b	1581ab	839b
T5	1,29b	2,89a	4,8b	7,3b	2662a	2292a
T6	0,36c	0,66b	5,6b	8,7ab	1711ab	1860a
T7	0,99bc	1,77ab	4,8b	2,2c	1399ab	1385a
T8	0,44c	0,34b	0,8c	0,9c	801b	1445a

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

De forma geral, os tratamentos com aplicações em pré-antese e antese tiveram menores níveis de intensidade de giberela, observados nos dois anos de cultivo. Bolanos-Cariel et. al. (2020) utilizando cultivares moderadamente resistente e suscetível, aliado aos fungicidas à base de triazois em condições de irrigado e sequeiro, relataram que as aplicações em pré-antese e na antese foram mais eficientes quanto às aplicações realizadas 12 dias após a antese, diminuindo a intensidade da doença. Ainda no mesmo estudo, demonstraram que no cultivar suscetível a intensidade da doença foi maior, tendo na condição de irrigado, o maior

desenvolvimento. No presente estudo, as variáveis de índice de giberela (IG) e danos causados pela doença (D) nos cultivares apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com fungicidas, em que a aplicação diminuiu a intensidade da giberela.

Tabela 3. Índice de Giberela (IG), quantificação dos danos causados pela doença (D) e concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Variáveis	IG		D %		DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)	
	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado						
T1	2,64a	3,19a	11,9a	10,9a	1022a	446bc
T2	1,0b	0,99c	3,5b	3,4b	824b	1608a
T3	0,76b	0,9c	2,1b	2,4b	914b	1047ab
T4	1,6b	1,62bc	2,4b	2,7b	388bc	964b
T5	0,71b	0,55d	2,8b	3,6b	468bc	1385a
T6	0,59c	0,7d	2,3b	4,1b	139c	163c
T7	0,99b	0,88cd	1,9b	2,3b	420bc	960b
T8	0,36d	0,27d	2,3b	1,6b	1413a	311c
Sequeiro						
T1	2,51a	2,79a	12,3a	11,7a	3456a	2395a
T2	1,0b	1,38b	2,4b	2,1b	933b	1457ab
T3	0,9b	1,33b	2,6b	3,1b	726b	931b
T4	2,3a	2,64a	4,1b	5,9b	797b	1454ab
T5	0,88b	0,84c	3,8b	4,3b	866b	588b
T6	1,08b	0,96bc	3,5b	3,8b	307bc	715b
T7	1,23b	0,83c	1,6b	2,3b	46c	555b
T8	0,99b	0,48c	1,9b	1,1b	75c	535b

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

Paul et. al. (2018) demonstraram que aplicações de fungicidas a partir da antese, tiveram melhores resultados no controle do desenvolvimento da giberela, quando comparado a aplicações mais tardias ou curativas. A combinação de resistência genética e diferentes números de aplicações de fungicidas afetaram diferentemente o desenvolvimento e a intensidade da giberela. De maneira geral, obtiveram-se melhores resultados, nas

combinações com mais de uma aplicação. Santana et. al. (2016) observaram menores valores de severidade de giberela quando aplicaram fungicidas na fase de florescimento, comparado à testemunha sem aplicação. Wesp et. al. (2016) também evidenciaram maiores índices de giberela, entre 3,3 e 3,6, nos tratamentos que não receberam aplicação de fungicidas, com maiores danos nas espigas.

Além disso, as maiores médias de índice de giberela (IG) dos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) sob os tratamentos e em ambas as condições, irrigado e sequeiro, seguiram-se das maiores médias de danos nos grãos (D). Desta forma, tais variáveis foram submetidas ao teste de coeficiente de correlação de Spearman (ρ). Os níveis de danos nos rendimentos dos grãos (D) foram fortemente associados á intensidade da doença (IG), em que [D ($\Delta\delta$ /variável) de IG] nos dois anos de cultivo, apresentando ($\rho = 0,82$ em 2021 e $\rho = 0,77$ em 2022, onde, $\rho =$ ou $> 0,70$ indica correlação forte) (Figura 24). A relação entre o índice de giberela e os níveis de grãos danificados foram relatados em trabalhos realizados por Wengulo et. al. (2009) e Menniti et. al. (2003), demonstrando ainda a redução da intensidade da doença com uso de fungicidas aplicado na antese.

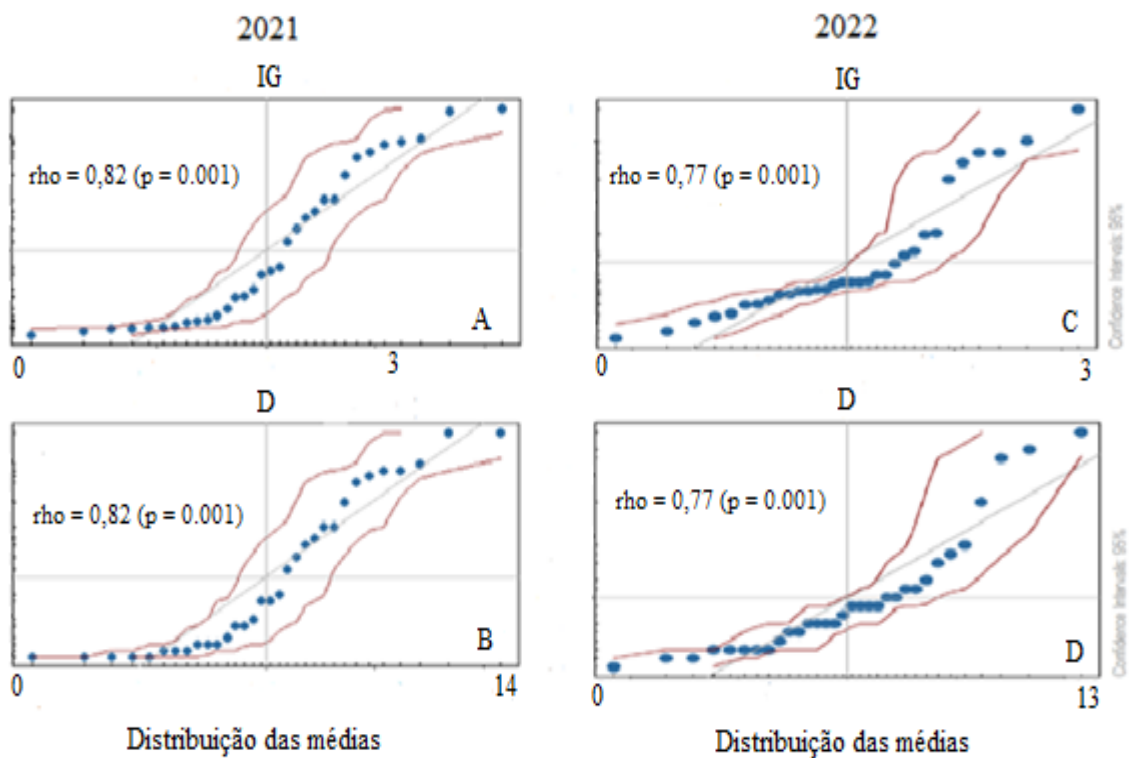


Figura 24. Distribuição das médias e correlação entre o índice de giberela (IG) e os danos nos grãos (D) nos dois anos de cultivo 2021 e 2022, Buri-SP.

A intensidade da giberela foi reduzida pelo uso da mistura comercial de (trifloxistrobina + tebuconazol), que foi significativo em ambas as condições de cultivos (irrigado e sequeiro) e nos dois anos. Os fatores ambientais que não podem ser controlados como ventos, umidade, precipitação e temperaturas, entre outros, afetam diretamente o desenvolvimento do patógeno, o que pode explicar a baixa intensidade da doença e os diferentes níveis de acúmulos de micotoxinas DON sob os tratamentos. A concentração de DON e derivados apresentaram variações em relação aos tratamentos, no ano de 2021, os tratamentos (T2) no (MR) na condição de irrigado e (T5) (MR) e (AS) na condição de sequeiro apresentaram maiores níveis de acúmulo (2341, 2662 e 2292 ug/kg^{-1}), respectivamente, e em 2022, o tratamento (T1) (MR) e (AS) na condição de sequeiro, (3456 e 2395 ug/kg^{-1}), ambos ultrapassaram os limites regulatórios determinados pela ANVISA para trigo como matéria prima. Os demais tratamentos estariam dentro do limite máximo permitido de (2000 ug/kg^{-1}) considerando a somatória total de DON e derivados.

6.3 Parâmetros produtivos

6.3.1 PH do trigo (kg/hct^{-1} peso hectolítrico)

A avaliação da qualidade e quantidade dos grãos é indispensável para assegurar a viabilidade técnica e econômica na realidade produtiva, a fim de garantir os parâmetros mínimos exigidos de comercialização do trigo.

Na pesquisa, foram analisados a densidade dos grãos (kg/hct^{-1} peso hectolítrico) também conhecida como PH do trigo, e a quantidade, pela estimativa de toneladas por hectare (t/ha^{-1}). Segundo instrução normativa (MAPA, 2010), dentre os fatores de classificação do trigo, o peso hectolítrico está entre as avaliações determinantes para o enquadramento em tipos, sendo: Tipo 1 - kg/hct^{-1} mínimo de 78; Tipo 2 - kg/hct^{-1} mínimo de 75; Tipo 3 - kg/hct^{-1} mínimo de 72; e Fora de Tipo kg/hct menor que 72. Tais parâmetros impactam diretamente o valor pago ao produtor.

No ano de cultivo de 2021, não houve diferença significativa no peso hectolítrico decorrentes das combinações de tratamentos. Porém, os valores observados classificam as amostras de trigo quanto ao enquadramento de classificação do trigo. Dessa forma, no material moderadamente resistente (MR), apenas uma média, com valor de 75,6 kg/hct^{-1} no tratamento (T1) na situação de sequeiro, se enquadra na classificação de trigo tipo 2. As

demais médias ficaram acima do valor mínimo exigido de 78 kg/hct⁻¹ para enquadramento em trigo tipo 1.

Para o material altamente suscetível (AS) observou-se três médias acima do valor mínimo exigido de 78 kg/hct⁻¹ para trigo tipo 1, três médias acima do valor mínimo para trigo tipo 2 (75 kg/hct⁻¹) e três médias para trigo tipo 3 (mínimo de 72 kg/hct⁻¹), em ambas as situações de cultivo. As demais médias se enquadraram em trigo fora de tipo.

Em 2022, de mesma maneira, não houve diferença significativa entre os tratamentos propostos. Levando em consideração a classificação do trigo, o material moderadamente resistente (MR) apresentou o mesmo desempenho quanto ao peso hectolítrico, obtendo-se apenas uma média se enquadrando em trigo tipo 2 (77,4 kg/hct⁻¹ – tratamento T1) igualmente na situação de sequeiro como na primeira época de cultivo, tendo os demais tratamentos classificados em trigo tipo 1. Para o material altamente suscetível (AS) verificou-se maiores diferenças, tendo, quatro médias classificadas em trigo tipo1, quatro médias em trigo tipo 2, quatro médias trigo em tipo 3 e quatro médias em trigo fora do tipo (Tabela 4).

O peso hectolítrico pode ser afetado por fatores bióticos e abióticos. Ambos os efeitos podem ter influenciado, deteriorando mais rapidamente as plantas e, conseqüentemente, os grãos. Mesmo não havendo diferença estatística entre os tratamentos e os cultivares de trigo quanto ao peso hectolítrico, os níveis de resistência podem explicar as diferenças das médias frente à classificação de enquadramento em tipo. Um fator relevante são os níveis pluviométricos na fase de maturação das plantas, em que a presença elevada de umidade nas espigas corrobora com a proliferação fúngica e conseqüente degradação. Nos dois anos de cultivos os maiores índices pluviométricos se concentraram no período de senescência das plantas e maturação dos grãos, como mostrado nos dados climatológicos. A acumulação pluviométrica na fase de maturação pode reduzir o peso hectolítrico (kg/hct⁻¹) dos grãos, devido a fatores como diminuição da concentração de amido por aumento dos processos enzimáticos, ações fermentativas favorecidas pela alta umidade, consumo do amido por enzimas germinativas do embrião e o desenvolvimento de doenças de final de ciclo (REIS et. al., 2019; TORRES et. al., 2009).

6.3.2 Produtividade

A produtividade do trigo pode ser influenciada por diversas causas, mais uma vez, assim como citado no peso hectolítrico, os fatores abióticos e bióticos são decisivos. Nos dois

anos de cultivo, os parâmetros fitotécnicos e fitossanitários indicados para a cultura do trigo, do pré-plantio até a colheita, foram cumpridos, distinguindo quanto às aplicações de fungicidas, sendo dessa forma a única diferença no manejo das parcelas.

Seguindo a metodologia de Bach et. al. (2020), a estimativa produtiva foi realizada assumindo a homogeneidade dos cultivos em cada situação (irrigado e sequeiro). Cada parcela amostral foi composta por seis fileiras aleatórias de 1 m (metro) de comprimento, dentro de cada subparcela, onde foram coletadas todas as espigas de cada repetição por tratamento (total de três repetições) e posteriormente debulhadas manualmente e pesadas.

Em 2021, as médias de produtividade foram maiores quando comparadas às médias do ano de 2022 (Tabela 4). Tal fato pode estar relacionado às diferenças climatológicas entre os períodos, somadas ao melhor desenvolvimento das plantas em 2021. As menores médias obtidas no primeiro ano de cultivo no material moderadamente resistente (MR) foram observadas nos tratamentos T1 (sem aplicação de fungicidas) e T4 (aplicação sete dias após a antese), em ambas as situações de cultivo.

No ano de 2022, no material moderadamente resistente (MR), observaram-se as maiores médias, nos tratamentos T6 (aplicações na pré-antese e sete dias após a antese), T7 (aplicações na antese e sete dias após a antese) e T8 (aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese), em ambas as situações de cultivo. Para o material altamente suscetível (AS), na situação de irrigado, as maiores médias foram observadas nos tratamentos T5 (aplicações na pré-antese e na antese), T6 (aplicações na pré-antese e sete dias após a antese), T7 (aplicações na antese e sete dias após a antese) e T8 (aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese); e na situação de sequeiro, a maior média no tratamento (T8), (Tabela 4).

Algumas pesquisas envolvendo tratamento químico em trigo mostram diferentes respostas aos fungicidas em função dos níveis de resistência das plantas às doenças, à combinação de grupos e moléculas químicas e a condições climatológicas. Lenz et. al. (2011) observaram que as parcelas que não receberam tratamento com fungicidas, apresentaram menores índices produtivos; ainda no mesmo estudo, evidenciaram maiores ganhos produtivos nos tratamentos que utilizaram mistura de triazois e estrobilurinas, quando comparado à utilização dessas moléculas individualmente.

Os índices de rendimento produtivo são influenciados pelas aplicações de fungicidas à medida que se promove a sanidade vegetal, tendo maior eficiência fotossintética e consequente acúmulo de compostos de carbono. Fochesatto et. al. (2020), verificaram que, com a aplicação de fungicidas no cultivo do trigo, os resultados produtivos em kg/ha⁻¹ obtidos foram superiores aos da testemunha, sem aplicação, apresentando também, maiores índices de severidade de doenças. A utilização de fungicidas em momentos propícios à infecção por *Fusarium* pode resguardar o potencial produtivo das plantas e a qualidade dos grãos, já que o fungo pode afetar negativamente estes parâmetros produtivos.

Tabela 4. Peso hectolítrico (kg/hct⁻¹) e produtividade toneladas por hectare (t / ha⁻¹) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) nas áreas de irrigado e sequeiro, nos experimentos conduzidos em 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Variáveis	2021		2022		2021		2022	
	kg/hct ⁻¹		kg/hct ⁻¹		t/ ha ⁻¹		t/ ha ⁻¹	
Tratamentos	MR	AS	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado								
T1	81,1*ns	71,1*ns	79,3*ns	70,3*ns	2,8b	3,1ab	2,6b	2,6b
T2	83,6	70,2	81,4	79	3,3ab	3,8a	2,8ab	2,4b
T3	85,3	75,7	81,3	74,7	3,5a	3,6a	2,8ab	2,5b
T4	83,1	70,6	82,1	71,7	2,6b	2,9b	2,6b	2,7b
T5	81,1	71,2	79,5	77,1	3,0b	3,1ab	2,8ab	3,1a
T6	85,4	72,3	83,3	72,3	4,0a	3,3a	3,1ab	3,2a
T7	87,9	73,2	84,7	73,1	3,9a	3,5a	3,5a	3,4a
T8	83,3	79,3	84,2	75,2	4,1a	3,7a	3,6a	3,7a
Sequeiro								
T1	75,6*ns	83*ns	77,4*ns	73,7*ns	2,7b	2,7b	2,4b	2,3b
T2	82,4	78,9	79,6	75,4	3,4a	3,6a	2,7b	2,1
T3	83,3	75,4	80,2	75,7	3,1a	3,3a	2,8ab	2,1b
T4	82,3	70	83,8	71,3	2,7b	2,9a	2,2b	2,1b
T5	80,2	77,3	81,4	73,4	2,9a	2,9a	2,8ab	2,5b
T6	84,9	71,2	83,3	81,2	3,5a	3,2a	3,1a	2,2b
T7	81,1	72,3	83,9	83,3	3,1a	3,1a	3,1a	2,5b
T8	83,6	71,3	83,7	81,4	3,5a	3,1a	3,4a	3,1a

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (* ns, não significativo na coluna).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

A não variação significativa nos níveis de peso hectolítrico (kg/hct^{-1}) e a significância dos níveis produtivos em toneladas por hectare (t / ha^{-1}) sob as aplicações de fungicidas, torna-se importante à medida que se permite a racionalização no uso destes compostos químicos, reduzindo as chances de contaminações ambientais e residuais na cadeia produtiva do trigo

6.4 Micotoxinas

As avaliações realizadas nos campos de cultivos, durante os dois anos da pesquisa, constataram a presença da giberela do trigo e as diferentes respostas do seu desenvolvimento em decorrência dos tratamentos. Dessa forma, foram determinadas as micotoxinas e as respectivas concentrações dos quimiotipos de DON e derivados resultantes da infecção por *Fusarium* spp sob os respectivos tratamentos.

6.4.1 Concentração e determinação dos tricotecenos tipo B, DON e derivados

No presente estudo, por meio da metodologia utilizada (QuEChERS e HPLC-PDA) Cerqueira et. al. (2022) analisou-se a ocorrência natural de tricotecenos, detectando, classificando e quantificando DON e seus derivados. A necessidade de protocolos e metodologias apuradas para a detecção de tricotecenos é fundamental para correta avaliação e monitoramento desses compostos. Trabalhos de revisão bibliográfica destacam inúmeras pesquisas contraditórias quanto ao controle e/ou diminuição dos níveis de DON, uma vez que se baseiam em metodologias que não objetivam ou não competem à detecção das formas derivadas de DON, mascarando os reais níveis presentes e acumulados dos tricotecenos (KAMLE et. al., 2022; KHANEGHAH et. al., HORKY et. al., 2018). Li et. al. (2023) relatam ainda sobre a importância da evolução técnica-científica e os entendimentos das formas presentes de DON, e ainda, sobre os meios com que se ocorre a detoxificação e degradação destas substâncias.

Os resultados observados em decorrência dos tratamentos sobre os níveis de controle e desenvolvimento da giberela, não tiveram a mesma relação quanto às micotoxinas. Os manejos de resistência genética e combinações de fungicidas não inibiram a produção desses compostos (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Concentração ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) dos tricotecenos, deoxinivalenol-3-glicosídeo DON-3-Glc (D3G), deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15ADON), 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Tratamentos	DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		15ADON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		3ADON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		D3G ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)	
	MR	AS	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado								
T1	339a	171c	270b	618b	0*ns	0*ns	131b	140a
T2	234ab	0d	1973a	352c	0	0	134b	0b
T3	0c	329a	132b	846b	0	0	0c	209a
T4	0c	0d	1256a	1847a	0	0	0c	0b
T5	0c	0d	1563a	1566a	0	0	164b	0b
T6	128	0d	0	0d	0	0	0c	0b
T7	267ab	266b	257b	1181a	0	0	109b	0b
T8	201b	119c	172b	1316a	0	0	889a	202a
Sequeiro								
T1	138b	155b	1556ab	591b	0*ns	0b	0c	0b
T2	246a	146b	248c	426b	0	0b	421b	0b
T3	0c	0c	1167ab	204b	0	0b	364b	0b
T4	195b	0c	1386ab	476	0	0b	0c	363a
T5	284a	136b	2154a	2156a	0	0b	224b	0b
T6	134b	311a	233c	1274ab	0	0b	1344a	275a
T7	176b	233ab	928bc	788b	0	0b	295b	364a
T8	154b	258ab	377c	1187ab	0	239a	270b	0b

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (* ns, não significativo na coluna).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

Os tricotecenos e os níveis totais encontrados nas amostras dos grãos de trigo, cultivo 2021, foram: 15ADON maior concentração, seguido por D3G e DON, sendo o 3ADON detectado em limite de quantificação apenas no tratamento (T8) no material altamente suscetível (AS) na condição de sequeiro. Ressalta-se que, em 2021, os níveis de concentração dos tricotecenos foram maiores no material moderadamente resistente (MR) na condição do cultivo em sequeiro, e para, o material altamente suscetível (AS), os maiores índices

observados dos tricotecenos, foram: 15ADON na condição de irrigado e DON, D3G e 3ADON na condição de sequeiro (Figura 26).

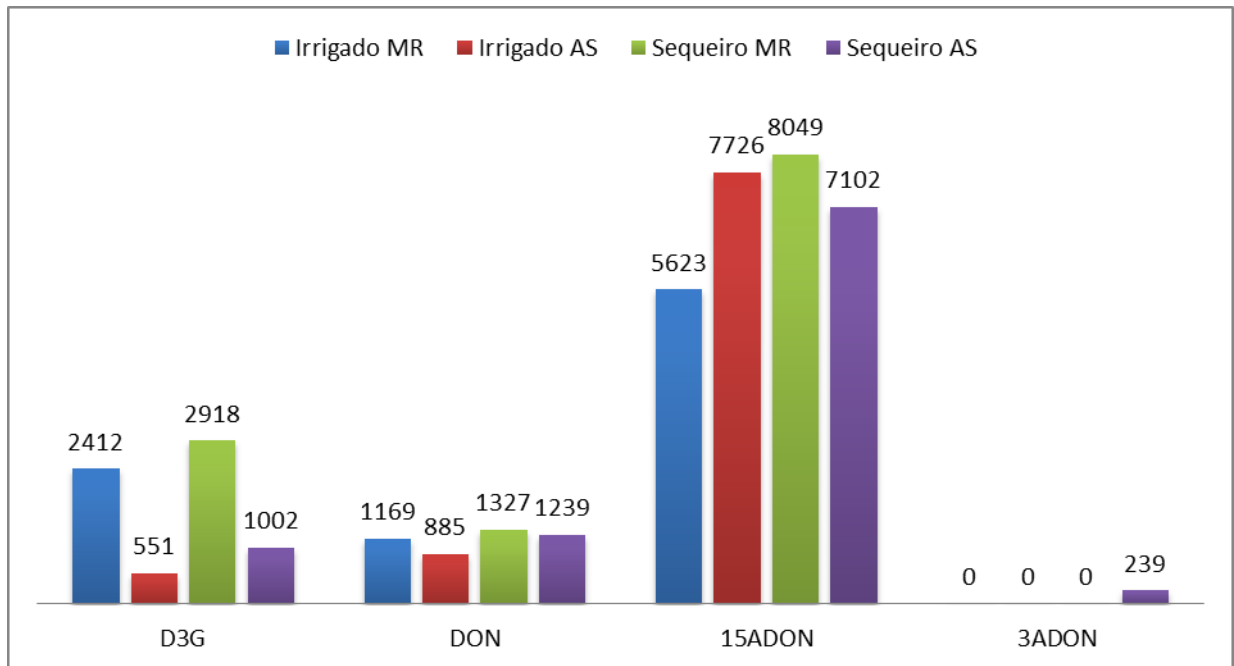


Figura 26. Níveis totais (ug/kg^{-1}) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) no ano de 2021, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Em 2022, assim como em 2021, os tratamentos apresentaram efeitos diversos sobre as micotoxinas (tabela 6). Considerando os resultados obtidos pela metodologia aplicada, a concentração dos tricotecenos foi variável em função da resistência genética e aplicações de fungicidas. Comparativamente, os níveis de resistência genética não foram efetivos quanto ao controle de micotoxinas, assim como os fungicidas. Os níveis de resistência genética podem proporcionar barreiras frente à infecção e colonização dos tecidos pelo fungo, fazendo com que o patógeno produza micotoxinas para poder metabolizar o substrato (MORAES, 2021; BISSONNETTE et. al., 2018; PURI & ZHONG, 2010).

No presente estudo, nos dois anos de cultivo, os valores das concentrações dos tricotecenos em função dos tratamentos propostos, não comprova a viabilidade técnica nas condições de cultivo para o controle destes compostos tóxicos, comparando-se os níveis de micotoxinas acumuladas nos cultivares que receberam fungicidas àquele que não receberam. Considerando as médias das parcelas que não receberam aplicações de fungicidas, nota-se que a eficiência das aplicações dos fungicidas não demonstrou o mesmo comportamento quando à

redução da intensidade de giberela. Esses resultados indicam que a aplicação em maiores quantidades não tem eficiência sobre o controle da produção de micotoxinas.

Tabela 6. Concentração ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) dos tricotecenos, deoxinivalenol-3-glicosídeo DON-3-Glc (D3G), deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15ADON), 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) nos oito tratamentos, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, no experimento conduzido no ano de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Tratamentos	DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		15ADON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		3ADON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		D3G ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)	
	MR	AS	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado								
T1	552a	446b	308ab	0d	0b	0*ns	163b	0d
T2	217b	528b	241b	182c	0b	0	366a	898a
T3	251b	444b	198bc	429ab	296a	0	169b	174b
T4	147c	116c	241b	644a	0b	0	0c	204b
T5	191bc	787a	277b	291b	0b	0	0c	307b
T6	139c	0d	0d	163c	0b	0	0c	0d
T7	95c	650ab	133c	0d	0b	0	192b	310b
T8	577a	202c	472a	0d	0b	0	364a	109c
Sequeiro								
T1	577a	676a	0b	196b	0*ns	0*ns	2879a	1523a
T2	363b	503ab	211a	138b	0	0	359b	816b
T3	310b	311b	237a	390a	0	0	179c	230c
T4	338b	646a	298a	374a	0	0	161c	434bc
T5	0d	220bc	312a	274ab	0	0	554b	94c
T6	211bc	344b	0b	371a	0	0	96c	0d
T7	46c	185c	0b	127b	0	0	0d	243c
T8	75c	194c	0b	179b	0	0	0d	162c

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (* ns, não significativo na coluna).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

Os níveis encontrados dos tricotecenos em 2022 foram: D3G em maior concentração, seguido por DON e 15ADON, sendo o 3ADON detectado apenas no material moderadamente resistente (MR) na condição de irrigado no tratamento T3. De forma geral, os níveis totais encontrados foram 44% menores do que o cultivo de 2021, e o acúmulo geral, somando-se

todos os tricotecenos, foram iguais para cada cultivar, não havendo significância. Na figura 27 se encontram as concentrações dos tricotecenos nos cultivares de trigo e em cada situação de cultivo, observados no ano de cultivo de 2022.

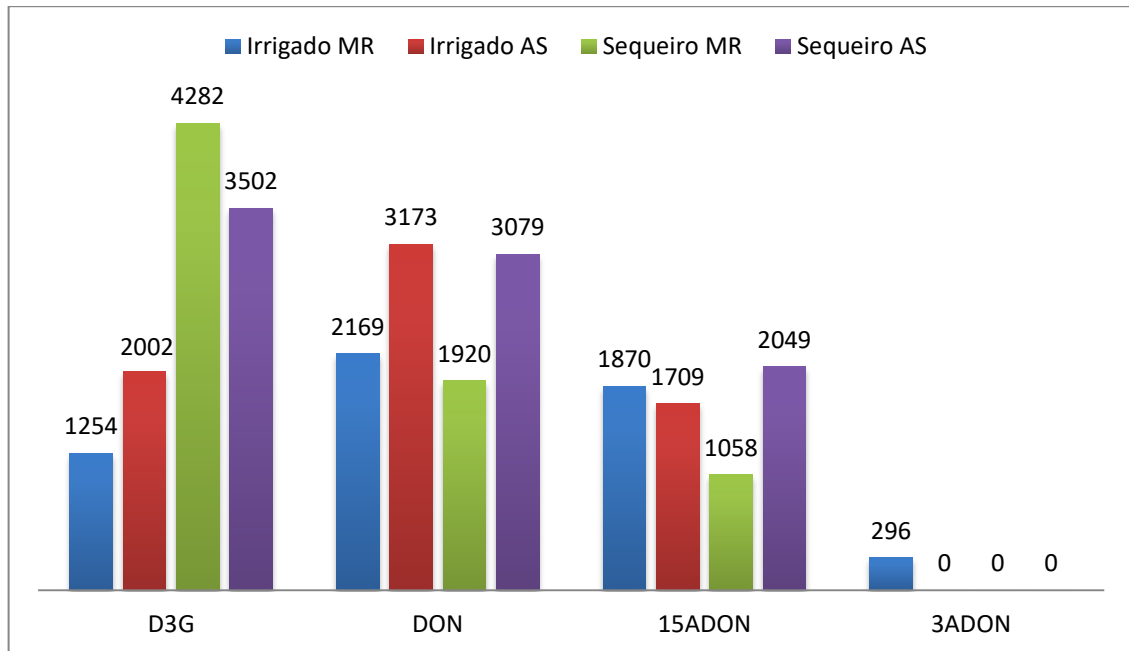


Figura 27. Níveis totais (ug/kg^{-1}) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) no ano de cultivo de 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

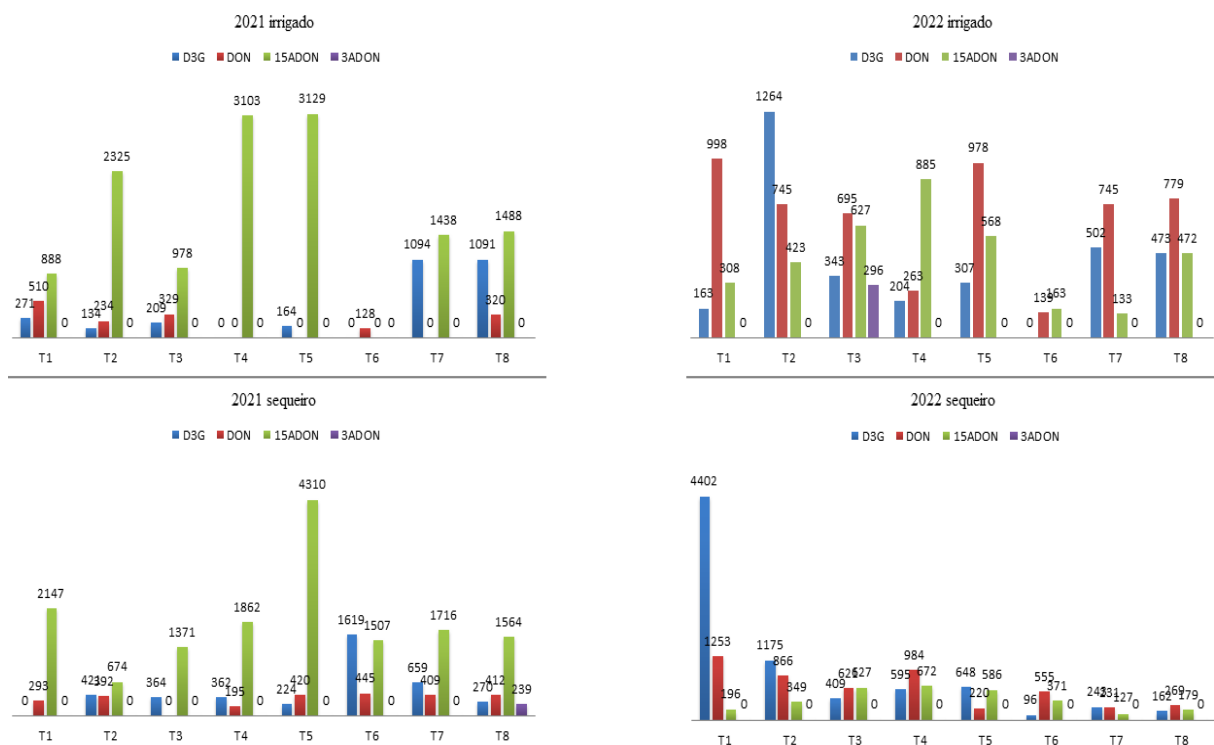
Pesquisas demonstraram que a utilização de fungicidas (triazóis e estrobilurinas) reduziram o crescimento de *F.graminearum*, porém, não surtiram efeitos significativos sobre a diminuição da produção de micotoxinas e/ou acabaram por estimular a biossíntese desses compostos (BISSONNETTE et. al., 2018; SCAGLIONI, 2017; RAMIREZ et. al., 2003). Outro apontamento demonstrado é a pouca efetividade significativa quanto à acumulação de micotoxinas em função dos níveis de resistência das plantas de trigo ao *F. graminearum* (BOLANOS-CARRIEL et. al., 2021; BISSONNETTE et. al., 2018; VALENTINI et. al., 2017; HEIDTMANN-BEMVENUTI et. al., 2016; PURI & ZHONG, 2010; BLANDINO et. al., 2006).

Ramirez et. al. (2003) relataram que a taxa de crescimento de *F. graminearum* foi inibida à medida que se aumentou a concentração de fungicidas ($0,5 \text{ ug}/\text{g}^{-1}$ a $5\text{ug}/\text{g}^{-1}$ dos princípios ativos) quando comparado ao desenvolvimento do fungo sem aplicação de fungicidas, porém, ao analisarem os níveis de DON, o acúmulo foi maior com os tratamentos utilizando fungicidas. A relação do aumento da concentração de micotoxinas em decorrência

da aplicação de fungicidas é discutida em diversas pesquisas, evidenciando ainda que, os fungicidas com princípio ativo à base de estrobilurinas acarretam em maiores níveis, quando comparados aos triazóis (PAUL, et.al., 2018; SCAGLIONI, 2017; ZHANG et. al., 2009, BLANDINO et. al., 2006; MESTERHÁZY et. al., 2003).

Estudos que demonstraram a redução dos níveis de DON, a partir do uso de níveis de resistência de cultivar associado a fungicidas, tiveram fundamentação sob os resultados dos níveis absolutos analisados apenas sobre deoxinivalenol (DON), não se classificando e demonstrando as demais formas (glicosiladas e acetiladas) (LI et. al., 2023; KAMLE et. al., 2022; HORKY et. al., 2018; KHANEGHAH et. al., 2018; PAUL, et.al., 2018; WILLYERD et. al., 2012; WEGULO et. al., 2011; PAUL et. al., 2008). Os níveis totais dos tricotecenos tipo B encontrados nas amostras de trigo sob a influência dos diferentes tratamentos com as combinações e épocas de aplicação de fungicidas, se encontram na Figura 29.

Figura 29. Concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) de tricotecenos (D3G, DON, 15ADON, 3ADON) nos oito tratamentos e nas duas condições de cultivo (irrigado e sequeiro) em ambos os materiais, moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS) nos anos de cultivo 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP



Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

As contaminações pela giberela nas áreas de cultivo ocorreram de forma natural. No ano de cultivo de 2021, a presença em maior quantidade da micotoxina 15ADON, em ambos os materiais e nas duas situações de cultivo, demonstra a presença predominante do *F. graminearum*, espécie portadora do gene da biossíntese desse tricoteceno, e também, a espécie mais descrita em áreas tritícolas do Brasil (DEL PONTE et. al., 2012, SCOZ et. al., 2009). Pesquisa realizada por Tralamazza (2015), em amostras de trigo das regiões tritícolas do estado de São Paulo, constatou 100% de detecção do tricoteceno 15ADON, decorrente da infecção por *F. graminearum*.

Nas áreas de cultivo de 2022, foi observado em maior concentração o deoxinivalenol-3-glicosídeo (DON-3-Glc / D3G), forma de DON conjugada com glicose. Comparado ao ano de cultivo de 2021, os níveis de D3G foram 45,87% maiores. Essa molécula pode ser formada pelo hospedeiro, em metabolismo de detoxificação, transformando DON em D3G em reação enzimática através das enzimas glicosiltransferases presentes nas plantas (LI et. al., 2023; KAMLE et. al., 2022; MORAES, 2021; BERTHILLER et. al., 2013). No primeiro ano de cultivo, os níveis de D3G foram maiores no cultivar moderadamente resistente (MR), nas duas situações de cultivo (irrigado e sequeiro). No segundo ano (2022), não houve diferença significativa entre os níveis de D3G acumulados em ambos os cultivares de trigo.

Nas amostras de trigo de 2021, o tricoteceno DON em sua forma não conjugada teve médias menores, que pode ser explicado pela capacidade da planta em detoxificar gerando D3G. No mesmo ano, observando os níveis de D3G, notam-se médias maiores para o material moderadamente resistente (MR), que pode estar ligado à capacidade de resistência da planta. Nas amostras de 2022, o acúmulo de D3G entre os cultivares de trigo foi ligeiramente maior no material moderadamente resistente (MR). Estudos apontam que os níveis de resistência do trigo ao desenvolvimento da giberela e a capacidade de detoxificação podem ser eficazes na diminuição dos níveis de DON e suas formas acetiladas, já que o fungo utiliza de mesma rota bioquímica para a produção dos demais tricotecenos (MORAES, 2021; BISSONNETTE et. al., 2018; PURI & ZHONG, 2010; MUDGE et. al., 2006).

Mesmo com a redução dos níveis de DON a partir dos processos enzimáticos de detoxificação, produzindo deoxinivalenol-3-glicosídeo (DON-3-Glc / D3G), não há garantias que reduzam a exposição de humanos e animais às micotoxicoses causadas pelos tricotecenos. Devido aos processos que envolvem a cadeia do processamento do trigo, principalmente, os térmicos, acabam por quebrar a ligação com a glicose, o que leva ao aumento da concentração

de micotoxinas pela conversão de D3G em DON (LI et. al., 2023; KAMLE et. al., 2022; MORAES, 2021; KOSTELANSKA et. al., 2011).

Quanto aos níveis do tricoteceno 3ADON detectados nos dois anos de cultivo, mesmo que inferiores aos demais tricotecenos, pode indicar a presença de outras espécies pertencem ao complexo de espécies de *F. graminearum* (FGSC) na região da pesquisa. Segundo estudo de genótipos presentes no gênero *Fusarium* no Brasil, Del Ponte et. al. (2013) identificaram a presença predominante do gene para a síntese de 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) nas espécies *F. cortaderiae* e *F. austroamericanun*.

As diferenças entre os anos de cultivo foram afetadas por fatores ambientais, não controláveis. Apesar dos diferentes níveis de resistências dos cultivares de trigo à giberela, os dados obtidos a partir das análises, não justificam a escolha dos materiais em função do acúmulo de micotoxinas, presentes em maior quantidade no material moderadamente resistente (MR). Ambos os cultivares se mostraram efetivos quanto à produtividade, não demonstrando mesmo comportamento no controle das micotoxinas ligadas ao estabelecimento e sobrevivência do fungo, podendo corresponder aos níveis de estresse impostos pelos fungicidas e a interação com o hospedeiro e fatores climáticos (MORAES, 2021; BISSONNETTE et. al., 2018; PURI & ZHONG, 2010; MUDGE et. al., 2006).

Os níveis de concentração de deoxinivalenol (DON), quando analisados individualmente, não ultrapassariam os limites regulamentados pela ANVISA, o que poderia conduzir a uma interpretação errônea quanto aos níveis de micotoxinas encontradas no trigo, porém, analisando os demais tricotecenos, facilmente excederiam os limites regulamentados para o teor de micotoxinas envolvidos para os limites máximos nos grãos e para a transformação em farinhas integrais, e estariam impróprios para o consumo e comercialização, ratificando assim, a importância de métodos de detecção, quantificação e classificação, não só da micotoxina DON, e sim, das demais formas presentes.

Tabela 7. Concentração total ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$) das micotoxinas de deoxinivalenol (DON) e derivados, e variações em aumento (+) ou diminuição (-) nos oito tratamentos, utilizando (T1) como controle, nos cultivares moderadamente resistente (MR) e altamente suscetível (AS), nas áreas, irrigado e sequeiro, nos experimentos conduzidos nos anos de 2021 e 2022, Campus Lagoa do Sino-UFSCar, Buri-SP.

Variáveis	2021				2022			
	DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		Variação %		DON ($\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$)		Variação %	
	MR	AS	MR	AS	MR	AS	MR	AS
Irrigado								
T1(controle)	740b	929bc	--	--	1022a	446bc	--	--
T2	2341a	352c	+217	-61	824b	1608a	-24,1	+260
T3	341b	846bc	-54	-8,9	914b	1047ab	-22,8	+135
T4	1256ab	1847a	+70	+98,9	388bc	964b	-163,5	+116
T5	1727ab	1566a	+134	+68,6	468bc	1385a	-118,5	+211
T6	128b	0,0d	-82,6	0	139c	163c	-635	-174
T7	1618ab	1181b	+118,7	+27,2	420bc	960b	-143,5	+115
T8	1262ab	1637ab	+70,6	+76,3	1413a	311c	+38,3	-43,5
Sequeiro								
T1(controle)	1694ab	746b	--	--	3456a	2395a	--	--
T2	915b	572b	-46	-23,2	933b	1457ab	-270	-64,5
T3	1167b	204b	+31	-72,6	726b	931b	-376	-157,2
T4	1581ab	839b	+6,7	+12,5	797b	1454ab	-334	-65
T5	2662a	2292a	+57,5	+207,3	866b	588b	-290	-307
T6	1711ab	1860a	+1,1	+149,4	307bc	715b	-1026	-235
T7	1399ab	1385a	-17,4	+85,7	46c	555b	-7584	-331
T8	801b	1445a	-52,7	+93,8	75c	535b	-4510	-348

Para cada variável analisada e em cada situação de cultivo (irrigado e sequeiro) as médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). (* ns, não significativo na coluna).

Tratamentos: T1- sem aplicação de fungicida; T2-aplicação na pré-antese; T3-aplicação na antese; T4-aplicação sete dias após a antese; T5- aplicações na pré-antese e na antese; T6- aplicações na pré-antese e sete dias após a antese; T7- aplicações na antese e sete dias após a antese; T8-aplicações na pré-antese e na antese e sete dias após a antese.

7. CONCLUSÕES

A integração de resistência genética somada às aplicações de fungicida foi efetiva no controle da giberela do trigo;

Aplicações de fungicidas pós-antese foram menos eficientes no controle da giberela e não proporcionaram efeito curativo;

Os tricotecenos encontrados pela metodologia aplicada foram: deoxinivalenol (DON), 15-acetil-desoxinivalenol (15ADON), 3-acetil-desoxinivalenol (3ADON) e deoxinivalenol-3-glicosídeo DON-3-Glc (D3G);

Os níveis totais de micotoxinas foram maiores no material moderadamente resistente à giberela;

A qualidade e a quantidade de grãos de trigo foram afetadas pelos níveis de intensidade da doença;

As condições de cultivo (irrigado e sequeiro) não diferenciaram quanto os parâmetros analisados;

As combinações de resistência genética e aplicações de fungicidas não controlaram a produção das micotoxinas.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN Nº 160, DE 1º DE JULHO DE 2022. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos, para alterar os LMT da micotoxina deoxinivalenol (DON) em trigo e produtos de trigo prontos para oferta ao consumidor e os prazos para sua aplicação. **Diário Oficial da União**: Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_160_2022_.pdf. Acesso em: 7 de Abr. 2023.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5 ed. Porto Alegre, Rio Grande do sul: Editora da UFRGS, 2004. 120p.

AMARASINGHE, C.C.; TAMBURIC-ILINC, L.; GILBERT, J.; BRÛLE-BABEL, A.L.; FERNANDO, W.G.D. Evaluation of different fungicides for control of *Fusarium* head blight in wheat inoculated with 3ADON and 14 ADON chemotypes of *Fusarium graminearum* in Canada. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Canadá, v.35, n.2, p.200-208. 2013

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. **Fenologia, patometria e quantificação de danos**. In: AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; J. A. M., REZENDE. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 4ª ed. São Paulo. Agronômica Ceres. 2011. p. 517- 540.

ANGELOTTI, F.; TESSMANN, D. J.; ALVES, T. C. A.; VIDA, J. B.; JACCOUD FILHO, D. de S.; HAKAKAVA, R. Morphological characterization and molecular identification of *Fusarium graminearum* isolates associated with *Fusarium* head blight in wheat and triticale in Southern Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 32, n. 2, p.177-179, 2006

AOKI, T.; WARD, T. J.; KISTLER, H.C.; O'DONNELL, K. Systematics phylogeny and trichothecene mycotoxin potential of *Fusarium* head blight cereal pathogens. **Mycotoxins**, v. 62, n.2. 12p, 2012.

ASTOLFI, P.; REYNOSO, M. M.; RAMIREZ, M. L.; CHULZE, S. N.; ALVES, T. C. A.; TESSMANN, D. J.; DEL PONTE, E. M. Genetic population structure and trichothecene genotypes of *Fusarium graminearum* isolated from wheat in southern Brazil. **Plant Pathology**, v. 61, n. 2, p. 289-295, 2012.

BACH, C.L.; NESI, C.N.; TAFFAREL, E.; CHIAPINOTTO, I.C. (Orgs.). **Metodologia para estimativa de produtividade em lavouras de milho, trigo, soja e feijão**. Florianópolis, SC: Epagri, 2020. 28p. (Boletim Técnico, 193)

BAI, G.; SHANER, G. Management and resistance in wheat and barley to *Fusarium* Head Blight. **Annual Review of Phytopathology**. v. 42, p.135-161, 2004.

BAIDYA, T. K. N; AIUDE, F.A. **Introdução à microeconomia**. São Paulo: Atlas, 1999. 313 p. BANZATO, D. A.; KRONKA, S. **Introdução**. In. **Experimentação Agrícola**. 4ª Ed.. Jaboticabal-SP: Funep. 2006. 237p.

BERGAMIN FILHO, A.; KITAMI, H. Importância das doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A. et al. (eds). **Manual de fitopatologia**. V. 1, princípios e conceitos. 3º edição. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, SP. 1995.

BERTHILLER, F.; CREWS, C.; DALL'ASTA, C.; SAEGER, S. de; HAESAERT, G.; KARLOVSKY, P.; OSWALD, I. P.; SEEFELDER, W.; SPEIJERS, G.; STROKA, J. Masked mycotoxins: A review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 57, n. 1, p. 165-186, Jan. 2013.

BIANCHINI, A; HORSLEY, R; JACK, M. M.; KOBIELUSH, B.; RYU, D., TITTEMIER, S.; WILSON, W. W.; ABBAS, H. K.; ABEL, S.; HARRISON; G.; MILLER, D.; SHIER, T.; WEAVER, G. DON occurrence in grains: a north american perspective. **Cereal Foods World**. V. 60, n1.2015. 25p.

BLANDINO, M.; MINELLI, L.; REYNERI, A. Strategies for the chemical control of Fusarium head blight: effect on yield, alveographic parameters and deoxynivalenol contamination in winter wheat grain. **European Journal Agronomy**. v. 25, 2006. P. 193–201.

Bolanos-Carriel, C.; Wegulo, S. N.; Hallen-Adams, H.; P.; Baenziger, H. P.; Eskridge, K. M.; Funnell-Harris, D. F.; McMaster, N.; G. Schmale, D. G. Effects of field-applied fungicides, grain moisture, and time on deoxynivalenol during postharvest storage of winter wheat grain. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 100, 3 ed, 2020. p.304-313.

CARNEIRO, A. P. S.; RIBEIRO JUNIOR, J. I.; SANTOS, S. T.; FILHO, S. M. ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL. **Introdução a Experimentação**. Universidade Federal de Viçosa. 2010.p.30-32.

CASA, R.T.; REIS, E.M.; BLUM, M.M.C.; BOGO, A., ; SCHEER, O. & ZANATA, T. Danos causados pela infecção de Gibberella zeae em trigo. **Revista de Fitopatologia Brasileira** v.29, p. 289-293. 2004.

CEOLIN, M.; LIMA, M. I. P. M. Protocolo desenvolvido na Embrapa Trigo para avaliar resistências à giberela em trigo. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15.; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TRIGO, 12., 2020, Passo Fundo. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa, p. 35, 2021.

COWGER, C.; ARELLANO, C. *Fusarium graminearum* infection, and deoxynivalenol concentrations during, development of wheat spikes. **Phytopathology**, v.103, p. 406-471, 2013.

CUSTÓDIO, F. B.; ANDRADE, P. D.; RIBEIRO, D. H. B. **Avaliação de risco da exposição humana ao deoxinivalenol (DON) pela dieta no Brasil**. Brasília: ANVISA, 2016.

DEL PONTE, E. M.; GARDA, B. J.; BADIALE, F. E. Deoxynivalenol and nivalenol in commercial wheat grain related to Fusarium head blight epidemics in southern Brazil. **Food Chemistry**, v. 132, n. 2, 2012. p. 1087-1091.

DEL PONTE, E. M.; TESSMANN, D. J.; SPOLTI, P.; KUHNEM, P. R.; DA SILVA, C. N. Species identification, genetic diversity and phenotypic variation studies on the Fusarium graminearum complex populations from Brazil. In: MAGLIANO, T. M. A.; CHULZE, S. N. (ed.). **Fusarium head blight in Latin America**. Dordrecht: Springer, 2013. p. 15-29.

DESJARDINS, A. E. Fusarium Mycotoxins. Chemistry, Genetics and Biology. **American Phytopathological Society**. v.1, 2006. 260p.

DEUNER, C. C.; VIANA, E.; CAMERA, J. N.; REIS, E. M. Resistência de cultivares de trigo à giberela mediante inoculação artificial em espiguetas. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 3, 2015. p. 202-206.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de Produção Embrapa - Cultivo de Trigo**. 2016. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/resultadobusca?p_p_id=resultadobuscaportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&_resultadobuscaportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet_buscakeywords=TRIGO. Acesso em: 12 Dez. 2022.

ENGLE, J. E., LIPPS, P. E.; MILLS, D. Fusarium head blight severity scale for winter wheat. Ohio State University Extension Fact Sheet. **Anais**, Fusarium Head Blight Forum. 2003.

FOCHESATTO, M.; GALLINA, A.; MEZOMO, M. M.; STEFFEN, P. R.; FAVARETOO, L. A.; TONIN, R. J.; MILANESI, P. M. Aplicação de fungicidas visando o controle de mancha amarela e ferrugem da folha em trigo. *Revista Científica Rural*, v. 22, n. 2, 2020. 14p.

FREIRE, F. C. O.; VIEIRA, I. G. P.; GUEDES, M. I. F.; MENDES, F. N. P. **Micotoxinas: importância na alimentação e na saúde humana e animal**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 110), 48 p. 2007.

GONÇALVES, E.; LORENZI, H. **Morfologia Vegetal**. Nova Odessa – SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2007. 416p

HEIDTMANN-BEMVENUTI, R.; TRALAMAZZA, S. M.; FERREIRA, C. F. J.; CORRÊA, B.; BADIALE-FURLONG, E. Effect of natural compounds on *Fusarium graminearum* complex. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 96, n. 12, p. 3998-4008, 2016.

HORKY, P.; SKALICKOVA, S.; BAHOLET, D.; SKLADANKA, J. Nanoparticles as a solution for eliminating the risk of mycotoxins. *Nanomaterials*, v. 8, n. 9, 2018. p. 727.

IAC - Instituto Agrônômico: **Solos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>>. Acesso em: 07 Jun. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Produção Agrícola Municipal-Sidra**. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>>. Acesso em: 06 Jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estações convencionais: gráficos: ano de 2021. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/porta/index.php?r=https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A001>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

INSTITUTO BIOLÓGICO DE SÃO PAULO. AVALIAÇÃO MORFOLOGIA E MOLECULAR PARA IDENTIFICAÇÃO DE FUSARIUM SP. Disponível em:< http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/V81_1/ca944888-18a7-44ba-895f-d72f37b59535.pdf. >. Acesso em: 06 Mar. 2023.

KAMLE, M.; MAHATO, D.K.; GUPTA, A.; PANDHI, S.; SHARMA, B.; DHAWAN, K.; MiSHRA, S.; KUMAR, M.; TRIPATH, A.D.; RASANE, P. Deoxynivalenol: An Overview on Occurrence, Chemistry, Biosynthesis, Health Effects and Its Detection, Management, and Control Strategies in Food and Feed. **Microbiology Research**. v,13. 2022. p. 292–314.

KHANEGHAH, A. M.; MARTINS L. A.; Hertwig A. M.; Bertoldo, R. A. SANT’ANA, A. S. Anderson S. Sant’AnaDeoxynivalenol and its masked forms: Characteristics, incidence, control and fate during wheat and wheat based products processing - A review, **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, 2018. 13p.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN, A. F.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia**, vol. 2, doenças das plantas cultivadas 4º ed., São Paulo: Agronômicas Ceres, 2005. p. 321-328.

KOSTELANSKA, M.; DZUMAN, Z.; MALACHOVA, A.; CAPOUCHOVA, I.; PROKINOVA, E; SKERIKOVA, A.; HAJLSLOVA, J. Effects of milling and baking

technologies on levels of Deoxynivalenol and its masked form Deoxynivalenol-3-Glucoside. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 17, p. 903-912, 2011.

LI, Y.; GAO, H.; WANG, R.; XU, Q. Deoxynivalenol in food and feed: Recent advances in decontamination strategies. **Front Microbiol Journal**. v.14. 2023. 15p.

LIMA, M. I. P. M.; TIBOLA, C. S.; CASTRO, R. L. de; PIRES, J. L. F.; SCHEEREN, P. L.; CAIERAO, E.; CLEBSCH, C. C.; KOVALESKI, M. **Avaliação de giberela e deoxinivalenol em cultivares de trigo do Ensaio Estadual de Cultivares de Trigo - EECT, na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, em 2020 e 2021**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 76). 11p.

LIMA, M. I. P. M.; TIBOLA, C. S.; SILVA, M. P.. Quantificação de giberela na pré-colheita e em etapas do beneficiamento de sementes de trigo. In: **REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE**, 8.; SEMINÁRIO TÉCNICO DO TRIGO, 9., 2014, Canela; REUNIÃO DA COMISSÃO.

MACHADO, F. J.; ARRUDA, R.; GRUPPI, G. P.; SILVA, C. N.; TESSMANN, D. J.; MIZUBUTI, E. S. G.; DEL PONTE, E. M. Sensitivity to tebuconazole and carbendazim fora *Fusarium graminearum* species complex population causing fusarium head blight of wheat in Southern 48 *Capítulo 3* Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL MPOSIUM ON FUSARIUM HEAD BLIGHT, 5.; INTERNATIONAL WORKSHOP ON WHEAT

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Brasil. **Sistema integrado de Legislação. Instrução normativa 38/2010**. Disponível em:< <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

MENDES, G. R. L.; REIS, T. A.; CORRÊA, B.; FURLONG, B. E. Mycobiota and occurrence of Fumonisin B1 in wheat harvested in Southern Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, 2015. p.1050-1057.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos. 2007. 206p.

MENNITI, A. M.; PANCALDI, D.; MACCAFERRI, M.; CASALINI, L. Effect of fungicides on Fusarium head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain. **Eur J Plant Pathology**, 109, 2003. p. 109–115.

MESTERHAZY, A. Fungicide control of Fusarium scab and impact on toxin contamination. In: DUBIN, H.J. et al. (Eds.). **Fusarium head scab: global status and future prospects**. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1996.

MESTERHÁZY, Á.; BARTOK, T.; LAMPER, C. Influence of wheat cultivar, species of Fusarium, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of Fusarium head blight. **Plant Dis.** v. 8, 2003, p. 1107–1115.

MIEDANER, T. Breeding wheat and rye for resistance to Fusarium diseases - a review. **Plant Breeding**, v. 116, p. 201-220, 1997.

MORAES, W. B. Sampling for Fusarium Head Blight (FHB) Index Estimation and Quantifying the Effects of Environmental Conditions on FHB Development, Mycotoxin Contamination of Grain, and their Management in Wheat." **Doctoral dissertation**, Ohio State University – OSU, 2021.408p. Disponível em :< https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1629659737186095>. Acesso em 11 de Jun. 2023.

MUDGE, A. M.; DILL-MACKY, R.; DONG, Y.; GARDINER, D. M., WHITE, R. G.; MANNERS, J. M. 2006. A role for the mycotoxin deoxynivalenol in stem colonisation during crown rot disease of wheat caused by *Fusarium graminearum* and *Fusarium pseudograminearum*. **Physiology Molecular Plant Pathology**. v. 69, 2006, p. 73-85.

PANISSON, E.; REIS, E.M. & BOLLER, W. Quantificação de danos causados pela giberela em cereais de inverno, na safra 2000, em Passo Fundo, RS. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v.28, n.2, p.189-192, 2003.

PAUL, P. A.; BRADLEY, C.; MADDEN, L. V.; DALLA LANA, F.; BERGTROM, G. C.; DILL, M. R.; WISE, K. A.; ESKER, P.; MCMULLEN, M. P.; GRYBAUKAS, A. Effects of preand post-anthesis applications of demethylation inhibitor fungicides on Fusarium head blight and deoxynivalenol in spring and winter wheat. **Plant Diseases**, 2018, p. 2500–2510.

PAUL, P.A., LIPPS, P.E., MADDEN, L.V. Relationship between visual estimates of Fusarium head blight intensity and deoxynivalenol accumulation in harvested wheat grain: **A meta-analysis, Phytopatology**. 2005.

PAUL, P.A.; BRADLEY, C.A.; MADDEN, L.V.; DALLA LANA, F.; BERGTRON, G.C.; DILL-MACKY, R.; ESKER, P.D.; WISE, K.A.; MCMULLEN, M.; GRYBAUSKAS, A.

Meta-Analysis of the Effects of QoI and DMI Fungicide Combinations on Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol in Wheat. *Plant Dis.* V.102, 2018, p. 2602–2615

PAUL, P.A.; LIPPS, P.E.; HERSHMAN, D.E.; MCMULLEN, M.P.; DRAPER, M.A.; MADDEN, L.V. Efficacy of triazole-based fungicides for Fusarium head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis. **Phytopathology**, **Phytopathology** vol. 98, 2008. p. 999–1011.

PEREIRA, C. B.; WARD, T. J.; DEL PONTE, E. M.; MOREIRA, G. M.; BUSMAN, M.; MCCORMICK, S.; FEKSA, H. R.; TESSMANN, D. J. Five-year survey uncovers extensive diversity and temporal fluctuations among Fusarium Head Blight pathogens of wheat and barley in Brazil. **OSF Preprints**, 2020. 28p.

PURI, K. D.; ZHONG, S.. The 3ADON population of *Fusarium graminearum* found in North Dakota is more aggressive and produces a higher level of DON than the prevalent 15ADON population in spring wheat. **Phytopathology**. v. 100, 2010, p. 1007-1014.

REIS, E. M.; CASA, R. T. Doenças do trigo. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Eds.). *Manual de Fitopatologia - Doenças das Plantas Cultivadas*, v. 2. Ouro Fino: Ceres. 2016. p. 737-744

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. **Controle de doenças: Trigo – Safra 2019**. 2. ed. – Passo Fundo: Berthier, 2019. 52 p.

RIBEIRO, A.; PAIVA, Y. G.; BAESSO, R. C. E.; ALMEIDA, A. Q.; OLIVEIRA, A. S.; OLIVEIRA, R. A.; HAMAKAWA, P. J.; SILVA, M. P. Eucalipto. In: **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1. Ed. Brasília: Instituto Nacional e Meteorologia, 2009. p. 407-423.

SALGADO, J. D.; MADDEN, L. V.; PAUL, P. A. Efficacy and economics of integrating in field and harvesting strategies to manage Fusarium head blight of wheat. **Plant Disease**. V. 98, 2014. p.1407-1421

SALGADO, J.D.; WALLHEAD, M.; MADDEN, L.V.; PAUL, P. Grain harvesting strategies to minimize grain quality losses due to *Fusarium* head blight in wheat. **Plant Disease**, v.95, p.1448-1457. 2011.

SANTANA, F. M.; LAU, D.; SBALCHEIRO, C. C.; SCHIPANSKI, C. A.; VENANNCIO, W. S.; DALLAGNOL, L. J.; GUTERRES, C. W.; KUHNEM JÚNIOR, P. R.; CHAGAS, D. **F. Eficiência de fungicidas para controle de giberela do trigo: resultados dos Ensaio Cooperativos** - Safra 2018. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. 20p. (Embrapa Trigo, Circular Técnica 52).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. 2018. Embrapa Solos. Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

SCAGLIONI, P. T. IMPACTO DA APLICAÇÃO DE EXTRATOS FENÓLICOS MICROALGAIS NA CONTAMINAÇÃO POR FUNGOS DO COMPLEXO *Fusarium* E NA PRODUÇÃO DE MICOTOXINAS EM CAMPOS DE TRIGO E MILHO. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. Rio Grande do Sul/ RS, 2017. 190p.

SCHEEREN, P. L. **Informações sobre o trigo (*Triticum* spp.)**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA-CNPT, 1986.34 p. (Série Documentos, 2).

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de; CAIERAO, E. **Botânica, morfologia e descrição fenotípica**. n: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). Trigo: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. Cap. 2, p. 35-55

SCOZ, L. B.; ASTOLFI, P.; REARTES, D. S.; SCHMALE III, D. G.; MORAES, M. G.; DEL PONTE, E. M. Trichothecene mycotoxin genotypes of *Fusarium graminearum* sensu stricto and *Fusarium meridionale* in wheat from southern Brazil. **Plant Pathology**, v. 58, n. 2, p. 344-351,2009.

SOUZA, M. A. Trigo Irrigado no Brasil central: realidade e perspectiva. **Revista da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, Rio Grande do Sul, n. 81, p. 26, 2009.

SOUZA, V.C.; FLORES, T.B.; LORENZI, H. **Introdução à Botânica – Morfologia**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora; 2013. 223p.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Introdução ao estudo da experimentação**. In. Experimentação Vegetal. 3 ed. . Santa Maria-RS: editora UFSM. 2016. 198p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª Edição. Artmed Editora S.A., 2013. 918p.

TORRES, G. A. M.; SANTANA, F. M.; FERNANDES, J. M. C.; SÓ E SILVA, M. **Doenças da espiga causam perda de rendimento em trigo nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, em 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 10 p.

TRALAMAZZA, S. M. **Diversidade fúngica, análise polifásica do gênero Fusarium e determinação de desoxinivalenol e zearalenona em grãos de trigo de diferentes regiões do Brasil**. 2015, 98f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos - **Campus-Lagoa do Sino**. Disponível em: <<https://www.lagoadosino.ufscar.br/o-campus>>. Acesso em: 07 Jun. 2022.

URECH, P. A. Fungicide resistance management: needs and success factors. In: HEANEY, S., et al (eds). **Fungicide resistance**. Nottingham Major Print Ltda. 1994.

VALENTINI, B. A., ZILIO, M., MANTOVANI, A., & GUGINSK Piva, C. A. Efeito da aplicação de fungicidas sobre Desoxinivalenol em grãos de trigo. **Unoesc & Ciência - ACBS**, v.8, 2017. p.35–42.

VOLPATO, G. L. **Planejamento da Pesquisa**. In. **Ciência: da filosofia à publicação**. 6 ed. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2013b. p. 213-258.

WEGULO, S. N.; BREATHNACH, J., BAENZIGER, P. S. Effect of growth stage on the relationship between tan spot and spot blotch severity and yield in winter wheat. **Crop Prot**, 28, 2009, p. 696–702.

WEGULO, S. N.; ZWINGMAN, M. Z.; BREATHNACH, J., BAENZIGER, P. S. Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. **Crop Prot**, v.30, 2011 p. 685-692.

WEGULO, S.N.; BOCKUS, W.W.; NOPSA, J.H.; WOLF, E.D.; ESKRIDGE, K.M.; PRIRIS, K.H.S.; DOWELL, F.E. Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on Fusarium Head Blight and deoxynivalenol in winter wheat. **Plant Disease**. V.95. 2011. p. 554–560.

WESP-GUTERRES, C.; BRUINSMA, J. S.; SEIDEL, G. Assessment of fungicide performance to control fusarium head blight in wheat and to reduce the production of

deoxynivalenol. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FUSARIUM HEAD BLIGHT, 5.; INTERNATIONAL WORKSHOP ON WHEAT BLAST, 2., 2016, Florianópolis, SC. **Book of Abstracts...** Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2016. p. 92.

WILLYERD, K.T.; LI, C.; MADDEN, L.V.; BRADLEY, C.A.; BERGSTORM, G.C.; SWEETS, L.E.; MCMULLEN, M.; RANSON, J.K.; GRYBAUSKAS, A.; OSBRONE, L.; WEGULO, S.N. Efficacy and stability of integrating fungicide and cultivar resistance to manage Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat. **Plant disease**, v. 96, 2012. p. 957–967.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**. V.14, p.415-421, 1974.

ZAMBERLAM, J.; FRONCHETI, A. **Agricultura Ecológica: preservação do pequeno agricultor e do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Vozes. 2007. 214 p.

ZHANG, Y.J.; FAN, P.S.; ZHANG, X.; CHEN, C.J.; ZHOU, M.G. Quantification of Fusarium graminearum in harvested grain by real-time polymerase chain reaction to assess efficacies of fungicides on Fusarium head blight, deoxynivalenol contamination, and yield of winter wheat. **Phytopathology**. p. 95-100. 2009.